

УДК 632.935.4:621.396.652

## **МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ВИРОБНИЦТВА В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ ЗА ДОПОМОГОЮ НАНОЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ**

Никифорова Л.Є., д.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Загінайлов В.І., д.т.н.

*ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»*

Тел. (495)9761053

E-mail: energo-mgau@mail.ru

**Анотація** - В статті проаналізовано сучасний стан створення агротехнологій, визначено основні їх недоліки та наведено шляхи переходу від техногенно – інтенсивних технологій – до інформо – комунікаційних. Показана роль нанотехнологій в енергозбереженні при агровиробництві.

**Ключові слова** – наноелектротехнології, низькоенергетичні електромагнітні поля, біоб'єкт.

*Постановка проблеми.* Енергетика була і є головною передумовою розвитку економіки, основою забезпечення усіх видів життєдіяльності суспільства. На даний час в галузі склалась критична ситуація з постачанням сировини та платою за її споживання, і енергозбереження - єдиний шлях до покращення цієї ситуації [1]. Керівництво України затвердило концепцію цільової економічної програми впровадження в агропромисловому комплексі новітніх технологій виробництва сільськогосподарської продукції на період до 2016 року. Метою цієї програми є підвищення ефективності виробництва та конкурентоспроможності сільськогосподарської продукції на внутрішньому та зовнішньому ринку за рахунок зменшення питомих витрат палива на 26 -40%, праці – 30 – 60%, прямих експлуатаційних витрат – 22 – 50%, підвищення врожайності сільськогосподарських культур на 30 – 40 %, підвищення валового виробництва зерна на 10 – 15 млн. тон, м'яса – до 5,1 та молока – до 20 млн. тон шляхом впровадження зонально адаптованих ресурсозберігаючих екологічно безпечних технологій виробництва сільськогосподарської продукції в рослинництві та тваринництві.

*Аналіз останніх досліджень.* Аналіз досліджень показав, що пріоритетним напрямком розвитку агропромислового виробництва є створення нових енергозберігаючих технологій, автоматизованих електротехнологій та електрофізичних методів впливу на біологічні об'єкти (рослини, тварини, продукцію, ґрунт, повітряне середовище), адаптованих у сучасні технології виробництва продукції [1, 3].

До сільськогосподарських технологій відносять технології виробництва продукції рослинництва, тваринництва та птахівництва.

Об'єктом керування в цих технологіях є сукупність біологічного об'єкта з ґрунтом, при виробництві продукції рослинництва у відкритому ґрунті, через яку в основному й забезпечується керування даною технологією; з ґрунтом й технологічним об'єктом керування (приміщеннями теплиць, парників) при виробництві продукції рослинництва в закритому ґрунті, через які забезпечується керування даною технологією (вплив на культурні рослини); з технологічним об'єктом керування - закритими приміщеннями (фермами, птахофермами, свинофермами) при виробництві продукції тваринництва та птахівництва.

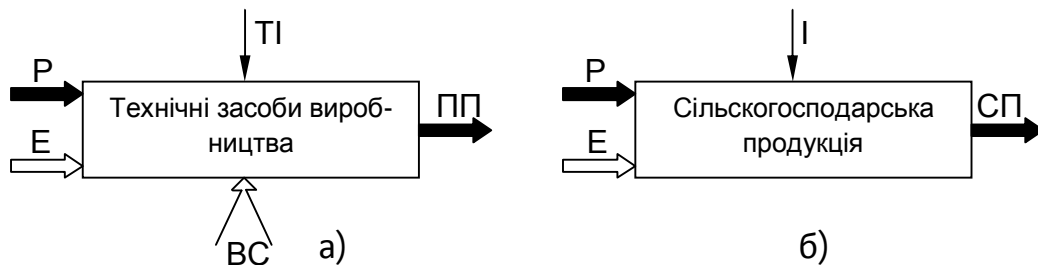
Об'єднує всі ці технології те, що їх об'єктом контролю та керування є сільськогосподарська продукція, яка складається з біологічних об'єктів (БО).

Якщо для отримання промислової продукції (ПП) необхідні технічні засоби виробництва (ТСВ), виробничі сили (ВС), речовина (Р), енергія (Е) та технічна інформація (ТІ, проекти, документація), то сільськогосподарська продукція (СП) може бути отримана при наявності речовини, енергії та інформації (І), що отримує біологічний об'єкт про зміну параметрів оточуючого середовища (рис.1 б) – за рахунок процесів метаболізму під впливом власних генетичних систем регулювання. Кількості сільськогосподарської продукції, що виробляється в біогеоценозах не достатньо для задоволення потреб суспільства, тому її виробництво відбувається на промисловій основі (рис. 1а) Отже сучасне агровиробництво має інтенсивний напрям розвитку, що приводить до безконтрольного засвоєння природних ресурсів, промислових катастроф, викидів та стоків, застосуванню у необґрунтованій кількості мінеральних добрив, забрудненню оточуючого середовища.

*Формулювання мети статті.* Отже метою даної роботи є аналіз сучасного агровиробництва та визначення пріоритетних напрямків в методиці побудови новітніх енергозберігаючих сільськогосподарських технологічних процесів.

*Основна частина.* Вихід із стану, що створився, у переході від техногенно – інтенсивних технологій – до інформо – комунікаційних. Одним з шляхів такого переходу є використання природних чинників впливу на БО, з метою покращення їх якісних та кількісних характеристик та в застосуванні електрофізичних методів та засобів контролю

та керування сільськогосподарськими технологіями, створення на їх основі інформаційно – керованих систем, що працюють з урахуванням власних механізмів регуляції живих організмів, які відновлюють себе в процесі обміну з оточуючим середовищем у відповідності до генетичної програми, яка закладена в них природою.



а) – промислова, б) – сільськогосподарська

Рис. 1. Схеми виробництва продукції.

В даний час безпосередні впливи ЕМП на БО з метою змінення сільськогосподарської продукції відносяться до електротехнологій. Треба відзначити, що недавно з'явився новий міжнародний термін – «нанотехнології», який поки що не затвердився в Україні. Замість нього використовуються десятки аналогічних за функціональним поняттям та призначенню, наприклад: квантова, лазерна, хвильова, мікрохвильова терапія в медицині; використання електричних, магнітних, оптичних випромінювань; електромагнітних високо- та надвисокочастотних полів в технологіях сільського господарства [2].

Під терміном «наноелектротехнологія» в сільськогосподарському виробництві науковці ведучих країн світу розуміють електрофізичний вплив на БО та їх складові елементи (на рівні біоклітин та їх структур). Тому, у вирішення поставленої мети зі створення новітніх ресурсоощадних, екологічно безпечних технологій виробництва сільськогосподарської продукції в рослинництві та тваринництві, головне місце належить використанню наноелектротехнологій.

В близькому майбутньому електроенергія буде основним джерелом практично усіх енергетичних потреб людства. Вона дозволить перевести велику кількість технологічних процесів в сільському господарстві на енергозберігаючі наноелектротехнології, в яких електрика стане робочим органом. Ми ще не можемо в повній мірі уявити, які можливості вона таїть у собі на базі використання електромагнітних полів різних частот (від 10 до  $10^{22}$  Гц) [3].

Це пов'язано із тим, що: по-перше, весь всесвіт (в тому числі тваринний та рослинний) історично зароджувався, розвивався та функціонує у взаємозв'язку із зовнішніми та внутрішніми електромагнітними полями; по-друге, встановлено, але мало вивчене, що клітини та окремі органи тварин, мікроорганізмів та рослин володіють електрич-

ними зарядами та власними електромагнітними полями (біопотенціалами). Це фізиками не визнавалося ще чверть сторіччя тому. Біологічні об'єкти приймають та випромінюють в оточуючий простір електромагнітне випромінювання в широкому частотному діапазоні. При цьому параметри полів випромінювання та електропотенціали біологічних об'єктів залежать від фізіологічного стану клітини, органу та організму в цілому; по-третє, наукою та практикою доказана наявність інформаційних зв'язків не тільки між органами та клітинами живого організму, але й між окремими індивідами на несвідомому рівні потужність в декілька електрон-вольт ( $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Вт}$ ); по-четверте, найбільш ефективні біоелектромагнітні взаємодії низькоенергетичного ( $10^{-12} \dots 10^{-2} \text{ Вт/см}^2$ ) та інформаційного (менш  $10^{-12} \text{ Вт/см}^2$ ) рівней проявляються на резонансних частотах, коли частота зовнішнього ЕМП співпадає або кратно частоті власного ЕМП живої клітини. При цьому спостерігається найбільша чутливість біологічного об'єкта та найменші витрати енергії на взаємодію на високій та надвисокій частотах (НВЧ) ЕМП.

Встановлено три види дії НВЧ ЕМП: діелектричний нагрів, зміна провідності біологічних мембран клітин електричною напруженістю ЕМП та прояв резонансних інформаційних взаємодій зовнішнього електромагнітного поля з власним полем («біополем») об'єкту.

Головні переваги НВЧ – нагріву матеріалу, що обробляється: теплова без інерційність розігріву об'єкту «всередині»; високий ККД перетворення електричної енергії в теплову (до 85 %); рівномірність нагріву по всій масі продукту та його вибірковість у випадку недорівнювання параметрів  $\varepsilon$  (діелектрична проникненість),  $\text{tg } \delta$  (тангенс кута діелектричних втрат) та  $E$  (напруженість) окремих частин матеріалу, що нагрівається; безконтактний підвід енергії: висока концентрація НВЧ – енергії в малих об'ємах. Інформаційні та резонансні взаємодії ЕМП НВЧ діапазону з біооб'єктами довгий час біофізики та біологи не визнавали.

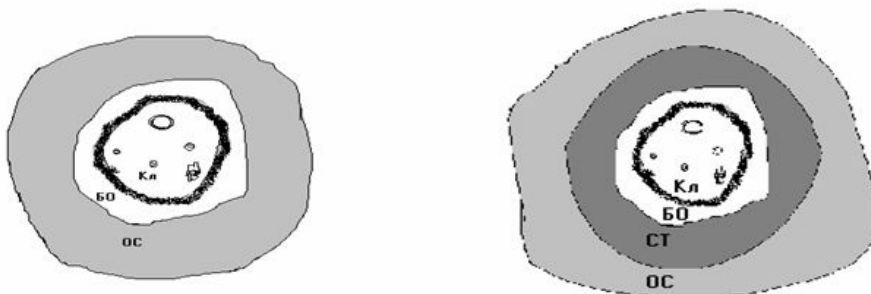
Наприкінці 80-х років минулого сторіччя у зв'язку з успіхами біології було визнано можливість передавання сигналів (обміну інформацією) на рівні живих клітин, органів та організмів. Експериментально доведена реальність нетеплової дії на біологічні системи низькоенергетичних резонансних електромагнітних хвиль частотою  $10^{-11} \dots 10^{-12} \text{ Гц}$ . Характерними особливостями даного виду впливу є можливості дистанційного управління життєдіяльністю БО на резонансних частотах (при кратності або співпаданні частот зовнішнього ЕМП з частотами власних полів біооб'єкта). Розмір необхідної питомої потужності для інформаційного впливу складає менш  $10 \text{ мВт/см}^2$ . Вплив такими малими потужностями отримав назву інформаційні, а сукупність електромагнітних полів живого об'єкту – називають біополем.

Воно утворюється в результаті змін електропотенціалів електричних зарядів на мембранах клітин та їх складових елементів.

Можливість керування НВЧ ЕМП насінням рослин перевірялось нами в виробничих умовах теплиць України, Росії, Біларусі .

В результаті проведених експериментів було виявлено резонансні частоти, на яких відбувається найбільший ефект стимуляції росту клітин насіння різноманітних культур (37 – 45 ГГц) на різних етапах органогенезу. При стимуляції насіння посівні їх якості підвищились всередньому: схожість – 15 – 20 % , сила росту – 30%; врожайність – 32% . Питомі витрати електроенергії на НВЧ стимуляцію в 1,5 тисяч разів менші за теплову обробку насіння. Ці дані підтверджують перспективність використання низькоенергетичних електромагнітних технологій в сільському господарстві не тільки для стимуляції та управління життєдіяльністю рослин, але й для інших наноелектротехнологій. З метою визначення основних принципів побудови енергоощадних технологій с.г. виробництва, нами було проаналізовано технологію створення БО. Слід зазначити, що одна з перших технологій виробництва була створена біологічними клітинами (Кл). В процесі еволюції з'явилися багатоклітинні організми – БО (рис.1 а), що забезпечили їм більш комфортні умови для існування в оточуючому середовищі (ОС). Сільськогосподарські технології (СТ) переслідують ту ж саму ціль – обмеження впливу відхилень дії оточуючого середовища, але вже тепер на БО сільськогосподарської продукції (рис. 1).

Головною задачею любой технології сільськогосподарського виробництва є забезпечення оптимальних умов для життєдіяльності БО (окремих рослин, тварин), і реалізація ними свого генетичного потенціалу при мінімальних речовинних та енергетичних затратах.



а) біологічний об'єкт б) сільськогосподарська технологія  
Рис. 2. Принципи побудови технологій виробництва.

*Висновки.* Отже використання низькоенергетичних електромагнітних полів у якості керуючого впливу на життєдіяльність БО сільськогосподарського призначення може бути одним з основних шляхів забезпечення реалізації основних принципів побудови енергозберігаючих наноелектротехнологій у сільськогосподарському виробництві.

## Література

1. Гальчинська В. А. Напрями підвищення конкурентоспроможності овоченасінневої продукції / В. А. Гальчинська // Економіка АПК. – К., 2002. – №5. – С. 49-51.
2. Загинайлов В. И. Автоматизированные биоинформационные системы точного земледелия и животноводства [Текст] / В. И. Загинайлов // Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве : труды 5-й Международной научно-технической конференции. – Ч. 5. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2006. – С. 28–34.
3. Агробиологические основы производства хранения и переработки продукции растениеводства [Текст] / В. И. Филатов и др. ; под ред. В. И. Филатова. – М. : Колос, 2003. – 724 с.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ  
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА В  
АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ С ПОМОЩЬЮ  
НАНОЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ**

Л.Е. Никифорова, В.И. Загинайлов

**Аннотация** - В статье проанализировано современное состояние создания агротехнологий, определены их основные недостатки и приведены пути перехода от техногенно – интенсивных технологий к информо – коммуникационным. Показана роль нанотехнологий в энергосбережении при агропроизводстве.

**DESIGN AND PROSPECTS OF CREATION  
ENERGY-SAVINGS PRODUCTIONS IN AGROINDUSTRIAL  
COMPLEX FOR HELP NANOELEKTROTEKHNOLOGIY**

L. Nikiforova, V.Zaginaylov

*Summary*

**The modern state of creation of is analysed in the article, their basic failings are certain and transition ways are resulted from technogenic – intensive technologies to informatively by communication. The role of nanotechnologies is rotined in an energy-savings at a agra-production.**

УДК 631.316.022

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ МОБИЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ АГРЕГАТОВ

Судник Ю. А., д.т.н.,

Гаврилин П. А. асп.\*

ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»

Тел. (495)9761053

**Аннотация** - в статье изложены принципы и подходы в решении проблемы моделирования экологически безопасных мобильных сельскохозяйственных агрегатов.

**Ключевые слова** – моделирование, аграрное производство, мобильная техника, технические системы

*Постановка проблемы.* Современный парк мобильных сельскохозяйственных агрегатов (МСА) наряду с полезными их функциями оказывает многообразие вредных воздействий на экологию окружающей среды, растительности и человека. В немалой степени этим негативным явлениям способствуют низкая эффективность реальных систем управления работой МСА, а также несовершенные методы их анализа и проектирования.

*Анализ последних исследований.* В настоящее время известны достаточно эффективные методы проектирования технических систем [1,2]. Такие методы базируются на стоимостном, системном и функциональном подходах.

Отправная идея последнего состоит в том, что для разработчика ценным является не сама система (средства) по себе, а те функции, которая она выполняет.

При таком методе (у пользователя расширяется творческое воображение, поскольку он абстрагируется от конкретного предметного подхода) система описывается не только структурой её частей, но и содержанием выполняемых ею функций. И новые эффективные решения для систем находят с целью выполнения требуемых потребителю функций наиболее экономично, т.е. с минимальной стоимостью.

Однако, ориентация только на стоимостные, системные и функциональные критерии нередко препятствует обоснованному принятию

---

\*Научный руководитель: д.т.н., проф. Ю.А.Судник

© д.т.н. Судник Ю. А., асп. Гаврилин П. А.

решений, выбору наиболее перспективной концепции проекта с точки зрения его экологической безопасности и эксплуатационной надёжности систем.

Неучёт негативных последствий (для природы и человека) на этапе проектирования с ориентацией только на полезные функции способствует, как показывает практика, возникновению серьёзных экологических проблем на всех этапах жизненного цикла систем.

*Формулирование целей статьи.* Целью данной работы является разработка модели функционально-экологического анализа (ФЭА) технических систем.

*Основная часть.* Разработанная модель функционально-экологического анализа (ФЭА) технических систем (в частности, систем управления МСА) синтезируют принципы стоимости, системности, функциональности, структурности и экологичности.

Рассмотрим основные принципы ФЭА.

1. *Системный подход* предполагает рассмотрение системы как элемента надсистемы (системы более высокого порядка) и как системы, состоящей из подсистем (взаимосвязанных элементов);

2. *Функциональный подход* предполагает рассмотрение функций системы, её компонентов (элементов) с целью наиболее полного удовлетворения заданных требований

(включая работоспособность) и обеспечения эффективных (экономных) путей реализации функций.

3. *Экологический подход* к оценке степени влияния системы на окружающую среду, работоспособность и здоровье человека.

4. *Социально-экономический подход* предусматривает конкурентоспособность, оценку потребительских свойств системы с учётом затрат на разработку, производство и использование системы.

5. *Принцип соответствия полезности ( вредности ) функций* предполагает их соотнесение затратам на реализацию функций.

6. *Принцип коллективного творчества* предусматривает использование экспертных методов качественной и количественной оценок вариантов решений, а также методов поиска и принятия новых технических решений.

По сравнению с традиционными методами функциональный подход создаёт предпосылки для уточнения и дополнения существующей системы показателей качества систем, являющихся решающим фактором уровня их конкурентоспособности.

Рассмотрим социально - экономические последствия воздействия МСА на окружающую среду, работоспособность и здоровье человека.

1. Вредное влияние отработавших газов дизельного двигателя.



В атмосферный воздух такими двигателями выбрасывается огромное количество различного вида вредных веществ и их соединений. По количеству и токсикологическим показателям наибольший ущерб окружающей среде и человеку наносят: окись углерода ( $CO$ ), двуокись углерода ( $CO_2$ ), углеводороды ( $C_xH_y$ ), окислы серы, окислы азота, твердые частицы (пыль, сажа), альдегиды.

Выброс в атмосферу токсичных продуктов сгорания от дизельных двигателей тракторов достигает 5 тыс. тонн в год. Так, максимальные суточные выбросы оксидов азота и серы, попадающих в атмосферу вместе с отработавшими газами двигателей тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин, составляют существенную долю общей массы выбросов промышленных предприятий этих веществ в атмосферу, и по отдельным загрязнениям (например, азот) намного превышают их суточные выбросы. Плотность таких оксидов (охлажденных), включая и углеводороды, бензопирен и др., существенно превышает плотность воздуха, в силу чего они оседают и сохраняются длительное время в почве.

По результатам расчетов на различных энергоемких операциях для тракторов МТЗ-80 и Т-150К концентрация загрязняющих веществ в слое (до 10 м) атмосферного воздуха над почвой существенно колеблется.

Содержание в воздухе (в зоне кабины водителя - оператора) оксидов углерода (II) ниже нормы (в 2-5 раз), в то время как оксид азота выше нормы (до 4 раз). Норматив содержания оксидов серы (в зоне кабины оператора) отсутствует.

Серьезный вред приносят загрязняющие вещества для растительности. Так, они могут вызывать у растений видимые острые и хронические (некроз тканей) и невидимые заболевания.

При наличии последних у растений накапливаются токсины, которые небезопасны при употреблении в пищу. Растения обладают гораздо большей чувствительностью, чем человек, к оксидам серы (в 25 раз), азота (в 4 раза), и практически не чувствительны к оксидам углерода. Многие из вредных примесей выхлопных газов, попадая в почву, образуют соединения, обладающие канцерогенными свойствами.

Ориентировочные разовые предельные допустимые воздушные концентрации вредных веществ составляют для оксидов азота -  $1,25 \text{ мг/м}^3$ , серы -  $0,4 \text{ мг/м}^3$ , что намного превышает расчетные величины соответствующих концентраций загрязняющих веществ, выбрасываемых тракторами в атмосферу.

По воздействию на человека компоненты выхлопных газов подразделяются на:

- токсичные (окись и двуокись углерода, окислы азота, серы, углеводороды, альдегиды);

- канцерогенные (бензопирен);
- ухудшающего действия (углекислый газ);
- раздражающего действия (акролеин, формальдегид, окислы серы, углеводороды);
- надоедающие (альдегиды, углеводороды, сажа, смолы, минеральные аэрозоли, частицы и испарения топлива, масел).

Влияние перечисленных компонентов отработавших газов на организм человека зависит от их концентрации в атмосфере и продолжительности воздействия. Окись углерода при вдыхании проникает в кровь и образует комплексное соединение с гемоглобином - карбоксигемоглобин. Окись углерода реагирует с гемоглобином в 210 раз быстрее, чем кислород, что приводит к развитию гипоксии (кислородной недостаточности), признаками которой являются нарушения в центральной нервной системе, поражения тканей дыхательной системы, снижение остроты зрения и т. д. Увеличенные среднесуточные концентрации СО способствуют возрастанию риска сердечно-сосудистых заболеваний.

Негативное воздействие на здоровье и работоспособность человека наносят и другие компоненты выхлопных газов: окислы азота, сернистый ангидрид, акролеин, углеводороды, бензопирен, сажа.

2. Воздействие транспортного шума и вибраций. Источником шумов, различных звуков являются колеблющиеся твёрдые, жидкие и газообразные тела. Вибрации машин и механизмов возникают под действием периодических (вращающихся или возвратно-поступательно движущихся частей) или случайных возмущающих сил. Двигатель МСА является основным источником вибраций и внутреннего, и внешнего шума МСА.

Изменение частоты вращения коленчатого вала двигателя от минимально устойчивых до максимальных приводит к увеличению шума на 10 - 30 дБ. Увеличение же нагрузки на двигатель влечёт рост уровня интенсивности шума на 2- 3дБ.

Шум на организм человека проявляется воздействием на органы слуха, функции отдельных органов и систем (серечно-сосудистой, пищеварительной, эндокринной, мышечной, вестибулярного аппарата и др.), организм в целом (в частности, на высшую нервную деятельность и вегетативные системы).

Общая вибрация вызывает многочисленные функциональные изменения в организме человека и характеризуется состоянием основных нервных процессов в центральной нервной системе (возбуждения и торможения, реакцией со стороны сердечно-сосудистой системы (изменение сердечной деятельности), общим состоянием - утомлением, появлением болей и других симптомов (зуда, тошноты, ощущением тряски внутренних органов и др.).

Локальные вибрации опасны для развития вибрационной болезни, сопровождающейся спазмом кровеносных сосудов конечностей.

Вибрации и шум обычно приводят к снижению производительности труда. Установлено, что производительность труда снижается на 30 % при повышении уровня шума с 70 до 100 дБ, а процент брака увеличивается в течение рабочей смены, и тем интенсивнее, чем выше уровень шума.

Нормированные значения уровней шума и вибраций отражены в государственных и отраслевых стандартах, санитарных нормах (Сан-ПиН) и строительных нормах и правилах (СНиП).

Уровни шума и вибраций МСА и интенсивность их составляющих изменяются в широких пределах и определяются:

- режимом работы двигателя и скоростью движения мобильного агрегата;
- мощностью двигателя и частотой вращения его коленчатого вала; особенностями микрорельефа поля;
- габаритными размерами МСА, конструкциями его силовой передачи и ходовой части;
- мастерством вождения;
- излучением акустической энергии панелями кузова, обшивки МСА (колебания панелей являются одним из источников инфразвука, особо опасного для водителей - операторов МСА).

3. Воздействие движителей. Серьезный вред почве наносит повышенное буксование движителей. Так, рост буксования приводит к нестабильным условиям, резкому снижению удельной тяговой силы (отношения тяговой силы к вертикальной нагрузке на колесо), разрушению структуры и распылению верхнего слоя почвы.

Уровень воздействия на почву движителей у большинства МСА значительно (в 2-3 раза) превышает допустимый, при этом нередко физические характеристики почв (определяющие их продуктивность) не восстанавливаются на протяжении нескольких лет. Глубина уплотненного слоя почвы достигает 0,4-0,6 м. Ежегодные потери урожая по этой причине только зерновых культур по стране достигают 10-15 млн. т. К тому же, увеличение плотности и твердости почв под воздействием движителей определяет соответствующий рост их связности и сопротивления резанию, а также возрастание непроизводительных энергозатрат на оборот пласта почвы и перемещение самого МСА.

Загрязнение почвы. Низкая надежность отдельных узлов с.-х. техники вызывает также существенное загрязнение окружающей среды. Так, неполадки гидравлических и топливных систем приводят к потере смазочных масел, рабочих жидкостей и топлив. Из-за аварийных и эксплуатационно-технологических разливов топлива и ма-

сел ежегодно загрязняется около 2 тыс. га пашни и теряется свыше 3 млн. тонн с.-х. продукции.

Предлагаемая модель функционально-экологического анализа систем управления режимами работы МТА синтезирует принципы стоимости, системности, функциональности и экологичности. Коэффициент экологичности таких систем определяется отношением суммы всех полезных к сумме всех вредных функций.

Важно отметить, что на различных этапах жизненного цикла ТС (этапы проектирования, эксплуатации до проведения ремонта, эксплуатации после проведения ремонта и др.) такой коэффициент по своей величине изменяется и, как правило, его проектируемое значение не соответствует значению на этапах эксплуатации до и после ремонта.

При реализации предлагаемого метода основным критерием адекватности затрат на осуществление требуемых функций является интегральная (для окружающей среды и человека) экологичность системы.

Основой анализа является построение функционально-экологической диаграммы, в которой совокупным затратам на полезные функции ставятся в соответствие показатели расплаты за ухудшение их экологичности.

Технология проведения ФЭА включает ряд этапов:

- целеполагания и постановки задачи;
- структурно-функционального анализа;
- анализа ресурсов;
- диагностического анализа;
- функционально-идеального моделирования и принятия решений.

Целеполагание и постановка задачи должны предопределить цель проектирования, название и условия использования ТС.

Структурно-функциональный анализ рассматривает взаимодействие и связи между компонентами ТС, а также совокупность выполняемых ими функций (абстрагируясь от вещественного воплощения последних).

Такой анализ позволяет построить структурную модель ТС в виде таблицы и графа взаимосвязей компонентов, корректно сформулировать их функции, определить их ранги, на основе чего сформировать функциональную модель ТС в виде причинно-следственных цепочек функций.

В ФЭА функции (позволяющие глубже и объективнее различить полезные и вредные действия компонентов ТС) выступают как сущности ТС, а различные технологии, конструкции, структуры, организации и т. п. - как формы их проявления. Функция - это центральное понятие в ФЭА.

На этом этапе анализ полезных и вредных действий ИС и её компонентов позволяет выявить ряд задач и сформулировать первичные предложения по увеличению коэффициента безопасности ТС.

Анализ ресурсов по функциям позволяет оценить качество выполнения компонентами своих функций путём сравнения фактических значений параметров, характеризующих эти функции, с имеющимися, требуемыми. Различают нормальный, избыточный и недостаточный ресурсы по функциям. Результатом анализа ресурсов является перечень задач и предложений по устранению недостатков, связанных с избыточным или недостаточным уровнем выполнения компонентами своих функций.

Диагностический анализ способствует оперативному нахождению в ТС нежелательных веществ, полей, потоков информации (негативно влияющих на природу и человека) и формулированию предложений по их устранению.

На этом этапе, как правило проводящимся экспертами, оценивается проблемная, экологическая значимость отдельных компонентов, недостатки которых существенно волнуют экспертов, а также определяется функциональная значимость каждого компонента в выполнение главной функции ТС, оценивается экологический вред компонентов с вредными функциями и находятся элементы с избыточным уровнем экологического вреда, а также определяются суммарная экологическая и стоимостная значимость компонентов.

На основе анализов экологической, функциональной и затратной значимостей строятся диагностические таблицы и диаграммы: функционально-экологические и функционально - стоимостные. Такие таблицы и диаграммы позволяют оперативно находить элементы ТС с большими и малыми уровнями экологического вреда, величинами их стоимости.

Функционально-идеальное моделирование является процедурой анализа, направленной на повышение идеальности и экологичности ТС за счёт эффективного выполнения её полезных функций с минимальными экологическим вредом и числом компонентов ТС.

При ликвидации компонента его функция либо также ликвидируется, либо передаётся оставшимся компонентам ТС или её надсистеме.

Результатом работы на этом этапе является построение функционально-идеальной модели и определение перечня наиболее значимых и отвечающим критериям первого этапа предложений, необходимых для реализации построенной совершенной функционально-идеальной модели ИС.

*Выводы.* Таким образом, реализация перечисленных этапов позволяет осуществить проектирование технической системы с макси-

мальным коэффициентом безопасности и оптимальными экологическими и экономическими характеристиками.

Метод ФЭА формализован, разработана его компьютерная версия, создан определённый объём базы данных (видов и результатов вредных воздействий, причин их появления, ресурсов и способов снижения влияния вредных эффектов, средств маскировки и предотвращения вредных воздействий, явлений, типовых ошибок и примеров построения экологических ТС) для моделирования таких систем. Метод прошёл успешную апробацию на системах управления режимами работы МСА.

#### Литература

1. *Богатов О.А.* Определение потребности в ремонте при различных стратегиях его проведения // Труды ГОСНИТИ / *О. А. Богатов, А.С. Гальперин, Л.С. Либов, И.В. Шишков.* – М.: ГОСНИТИ, 1974. – Т.39. – С. 30-39.

2. *Сушко О.В.* Підвищення ефективності ремонту дизелів транспортних засобів оптимізацією ремонтно-обслуговуючих дій : дис... канд. техн. наук / *О.В. Сушко.* – К. : [б. в.], 2007. – 167 с.

## МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ МОБІЛЬНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ АГРЕГАТІВ

Ю. А. Суднік, П. А. Гаврилин

**Анотація** - в статті викладені принципи і підходи в вирішенні проблеми моделювання екологічно безпечних мобільних сільськогосподарських агрегатів.

## MODELLING ECOLOGICALLY SAFE MOBILE AGRICULTURAL UNITS

Y. Sudnik, P. Gavrilin.

#### *Summary*

**In article principles and approaches in the decision of a problem of modelling of ecologically safe mobile agricultural units are stated.**

УДК 631.171+[621.37/39:631.145]

## МОДЕЛИРОВАНИЕ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ АГРОБИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Башилов А.М., д.т.н.,

Загинайлов В.И., д.т.н.

*ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»*

Тел. (495)9761053

E-mail: energo-mgau@mail.ru

**Аннотация** - в статье изложены принципы и подходы в решении проблемы моделирования системной сложности агробиотехнических систем и организации управления с учётом природных законов и механизмов самоорганизации.

**Ключевые слова** – моделирование, аграрное производство, система, управление, самоорганизация.

*Постановка проблемы.* Агробиотехнические системы имеют уникальные функционально-структурные особенности взаимодействия объектов естественной (растения, насекомые, животные, микроорганизмы, группы людей и др.) и искусственной жизни, созданной человеком (автоматизированные технологические процессы, информационно - коммуникационные системы, интеллектуальные компьютерные сети, сенсоры, исполнительные механизмы и др.).

Взаимодействие объектов естественной и искусственной жизни осуществляется как путём «сопряжения-субординации», так и путём «вложения-подчинения».

Взаимодействие объектов может быть гармоничным (с первого раза, с минимальными потерями, быстро и т.д.) или деформированным, как по связям между собой, так и по пространственно-временным параметрам. Ещё больший интерес представляют процессы синергетического взаимодействия, когда в результате взаимодействия образуется новая целостность объектов с максимальным положительным эффектом или когда в процессе перекомбинации взаимодействий (изменения отношений взаимодействия) образуется новая функционально - структурная совокупность с эмерджентным (кооперативным, соборным) эффектом, превышающим суммарный эффект.

Свойство целостности связано с целью, для выполнения которой самоорганизуется и целеорганизуется агробиотехническая система.

При этом цель может быть задана или чётко наблюдаться, а может не обнаруживаться в явном виде. В таком случае целевую функцию или системообразующий критерий можно определить путём изучения причин появления целостности.

Одна из закономерностей проявления целостности проистекает из наблюдения того, что любая развивающаяся система имеет возможность перехода из состояния абсолютной целостности к состоянию абсолютной аддитивности и наоборот. Без обеспечения целостности в системе не могут возникнуть эмерджентные, общесистемные свойства, полезные для её сохранения и развития, однако в случае жёсткой целостности система будет подавлять свойства объектов и может даже утратить часть из них, в том числе полезных [1].

Синергетическая организация агробиотехнических систем - это оптимальное сочетание единичных, групповых и коллективных действий объектов естественной и искусственной жизни при взаимонастройке к внутренним (самоорганизация) или внешним (реорганизация) целям в условиях динамически изменяемой внешней среды, при максимально возможном функциональном использовании материальных объектов, различных видов энергии, разнообразных знаний и опыта, но при минимально достаточном расходовании перечисленных ресурсов в процессе реализации поставленной цели. Внешним признаком проявления цели может быть притяжение объектов системы к соответствующим центрам порядка и структурирования.

В агропроизводственной системе, объединяющей сложноорганизованное множество объектов разнообразной природы, управленческие решения в основном принимаются путём устранения противоречий различных специалистов, возникающих в условиях неопределённости (недостаточно целенаправленная мотивация, локальный характер располагаемой информации, неполнота и неточность информации, случайные воздействия среды). Агропроизводственные системы, имея структуру большой сложности имеют не высокую точность описания (моделирования). Знания в таких системах принципиально являются неполными, неточными и противоречивыми, а принимаемые решения строятся не на основе логически строгих понятий и суждений, а исходя из меняющихся индивидуальных мнений и неоднородных коллективных идей (целей).

Эффективное взаимодействие между специалистами в такой информационно нестабильной (адаптирующейся, обучающейся), самоорганизующейся и реорганизующейся системе не возможно без помощи интеллектуально управляющих компьютерных связей. Для максимального использования опыта и знаний, максимального энер-



горесурсосбережения и максимальной адаптации к динамически изменяющейся среде необходим соответствующий высокоинтеллектуальный уровень моделирования естественной и искусственной жизни объектов агробиотехнической системы.

*Анализ последних исследований.* Наиболее приоритетным и фундаментальным подходом в решении такого рода задач является использование общей теории и методов системного моделирования искусственного интеллекта. Такое направление в настоящее время интенсивно развивается в нашей стране и за рубежом [2-3].

Основными итогами научно-исследовательских работ в данном направлении стали: создание программно-инструментального обеспечения иерархических, многоуровневых систем управления; интегрированных, гибридных систем управления; многоагентных распределённых систем управления; интеллектуальных систем управления виртуальными организациями.

При этом особое распространение получили решения задач когнитивного (целеадаптивного), эволюционного (развивающего) и сенсорно-рефлексивного (ситуационного) моделирования на основе методов распознавания, нечёткой логики, оптимизации, гомеостатики и самоорганизации.

*Формулирование целей статьи.* Задача целеадаптивного моделирования – поиск стратегии управления, позволяющей перевести ситуацию неопределенности в желаемое целевое состояние. Такой переход возможно осуществить двумя взаимнообратными путями или изменением управляющих факторов под реализацию цели или изменением цели при ограниченности ресурсов управления (целенаправленность, многофункциональность, непрерывность).

Задача эволюционного моделирования – поиск способов и средств управления процессами самосовершенствования, саморегуляции и максимальной адаптации действий объектов системы в условиях динамически изменяющейся среды (прогрессивность, синергетизм, оптимальность).

Задача сенсорно-рефлексивного моделирования – поиск способов принятия оперативных решений и выполнения упреждающих действий на основе многопараметрической информации представляемой в реальном масштабе времени (робастность, моторность, автоматизм).

Формулировка цели и представление о дереве целей зависит от стадии познания сложности агробиотехнической системы и по мере развития представления о ней цель может переформулироваться, а по мере апробации способов и средств её реализации должна делаться более реалистичной. Формирование цели изнутри системы – целепо-

лагание, подчинение поставленной извне – целеустремление, изменение цели из внутренних или внешних побуждений - целеадаптация.

Формирование цели в агробиотехнических системах обусловлено наличием разнообразных популяций объектов как живой так и неживой природы. Популяции объектов живой природы имеют свою внутреннюю целе-адаптивную, генно-фенотипическую функцию поведения, которая может находиться или в противоречии или в коалиции с активной целевой функцией техногенного управления.

Сведение целе-адаптивных функции живых систем и целевых функций техногенного управления к единой (обобщенной, синергетической) цели и её последующая структуризация - центральная проблема формулировки «дерева целей».

*Основная часть.* Может ли возникнуть и сформулироваться подобная цель у руководителя или у других специалистов принимающих управленческие решения в агропроизводственной системе? Может, но только в виде некоторого размытого образа, не воспринимаемого коллективом специалистов.

Требуется детализация, разбиение образа общей цели на взаимосвязанные подцели, которые делают её более конкретной и понятной для всех участников процесса целеобразования. Дерево целей вырисовывается в результате многократных (итеративных и интерактивных) интеллектуальных процедур выявления структуры «сверху» (системный анализ концепции развития аграрного предприятия) и «снизу» (системного синтеза основной и организационно-управленческой деятельности аграрного предприятия), композиции и декомпозиции структуры в пространстве и времени, апробации и оценки различных методов описания структуры.

Процесс целеобразования при использовании концептуального метода описания можно представить в виде функционала стремящегося к идеалу:

$$S \equiv F(A, R, Z, C, T) \rightarrow \text{идеал «синергетика ЕЖ и ИЖ»}, \quad (1)$$

где  $S$  – структура цели;  $A$  – множество объектов системы;  $R$  – множество связей между объектами;  $Z$  – множество композиций связанности;  $C$  – среда;  $T$  – период существования системы; ЕЖ – естественная жизнь; ИЖ – искусственная жизнь.

Основной признак идеала «синергетика» - уникальная взаимосвязь объектов агробиотехнической системы в результате которой обеспечивается увеличение общего положительного эффекта ( $\mathcal{E}_M$ ) до величины большей, чем сумма положительных эффектов  $\Sigma(\mathcal{E}_M)$  этих объектов, действующих независимо.

$$\mathcal{E}_M > \Sigma(\mathcal{E}_M) \quad (2)$$

Синергетический эффект имеет двойственное значение: при практической реализации он проявляет себя в виде положительного

(полезного) результата (результатирующего эффекта), а при сохранении алгоритма и условий его проявления в виде знаний он содержит положительную ценность как отложенный (закреплённый в памяти) будущий результат (целенаправленный эффект). При многократном воспроизведении и тиражировании (размножении и эволюции) синергетического эффекта вторая составляющая приобретает наибольшую значимость и доводится до автоматизма. Общий эффект мультипликативно прогрессирует.

$$\mathcal{E} > \mathcal{E}_M + \mathcal{E}_I = \Sigma(\mathcal{E}_M) + (\mathcal{E}_I)^N \quad (3)$$

где  $N$  – степень приумножения эффекта за счёт интеллектуальной составляющей;  $\mathcal{E}_I$  – положительный эффект от интеллектуальной составляющей.

Приведем некоторые примеры закрепления синергетических эффектов в природе (естественной жизни):

- устойчивое пространственно-временное воспроизведение поведения живых объектов во внешней среде (гомеостатичность);
- наличие периодических или аperiodически повторяющихся поведенческих актов (цикличность);
- быстрая сигнально опережающая реакция на повторяющиеся изменения внешней среды (рефлексивность);
- поиск, прогнозирование, предвидение будущего полезного результата (осознанность);
- самонаведение объекта на синергетический эффект (самодостаточность);
- приспособительная активность живых объектов посредством сенсорно-моторной или нервно-психической деятельности (адаптивность).

Аналогичные проявления феномена закрепления способностей (информационно-аналитических программ, алгоритмов, способов, методов и методик) к конкретной познавательной-практической деятельности имеются в технических и социальных системах.

Соответственно в агробиотехнических системах синергетический эффект должен проявляться не только на первом материальном уровне, но и на втором - энергетическом и на третьем - интеллектуальном уровне, наблюдаемом как у живых объектов так и у искусственных. Чтобы правильно управлять живыми объектами, надо хорошо знать не только визуально материализующиеся действия, но также и их собственные, органические функции энергосбережения, самоорганизации и самоуправления, которые не следует дублировать или нарушать функциями искусственного неорганического противодействия, энергоснабжения и управления.

Закономерности проявления синергетических эффектов наиболее отчётливо наблюдаются в динамических процессах самоорганиза-

ции, организации и реорганизации естественных и искусственных составляющих агробиотехнических систем.

Самоорганизация - процесс приобретения системной связанности объектов «снизу»→«вверх» (изнутри), организация – «сверху»→«вниз» (извне). Саморазрушение и дезорганизация - процессы нарушения системной связанности, обратные самоорганизации и организации. Самореорганизация и реорганизация – процессы, где происходит чередование самоорганизации-саморазрушения, организации-дезорганизации. В том случае, когда все рассмотренные процессы отсутствуют или «спят» в системе, она находится в гомеостатическом состоянии. При любых внутренних или внешних воздействиях гомеостатическая система не изменяет свою структурную сложность, такая система становится консервативной, условно закрытой [4].

Агробиотехническая система имеет гибридную структуру, в ней существует весь спектр рассмотренных процессов (колебательных осцилляций) имеющих разнообразные темпо-ритмические параметры и их эволюцию в акто-онто-филогенезе. Актогенез – эволюция при повторных актах, онтогенез – эволюция в течение жизненного цикла (поколения), филогенез – в течение периода существования от поколения к поколению.

Очевидно, чем быстрее и чем интенсивнее процесс эволюции путем нарастания положительного синергетического эффекта и снижения отрицательного, тем совершеннее агробиотехническая система, тем ближе она к идеалу открытой динамически (рефлексивно) приспособляющейся (преобразующейся) системы.

На рис.1 приведена схема процесса когнитивно-эволюционного моделирования при самоорганизации, организации и реорганизации агробиотехнических систем.

Основная задача имитационного моделирования поиск устойчивой целе-адаптивной организации биотехнической системы путём различных типов синергетической оптимизации (идентификации и унификации разнородности объектов, структуризации и реструктуризации, адаптации и разграничения с внешней средой системы объектов естественной и искусственной жизни).

Процесс организации - синтез и анализ системы, процесс реорганизации – анализ и синтез системы. Формирование цели, поиск и установление оптимального соотношения со структурой и адаптивной функцией системы происходят в процессе многократных процедур организации и реорганизации.

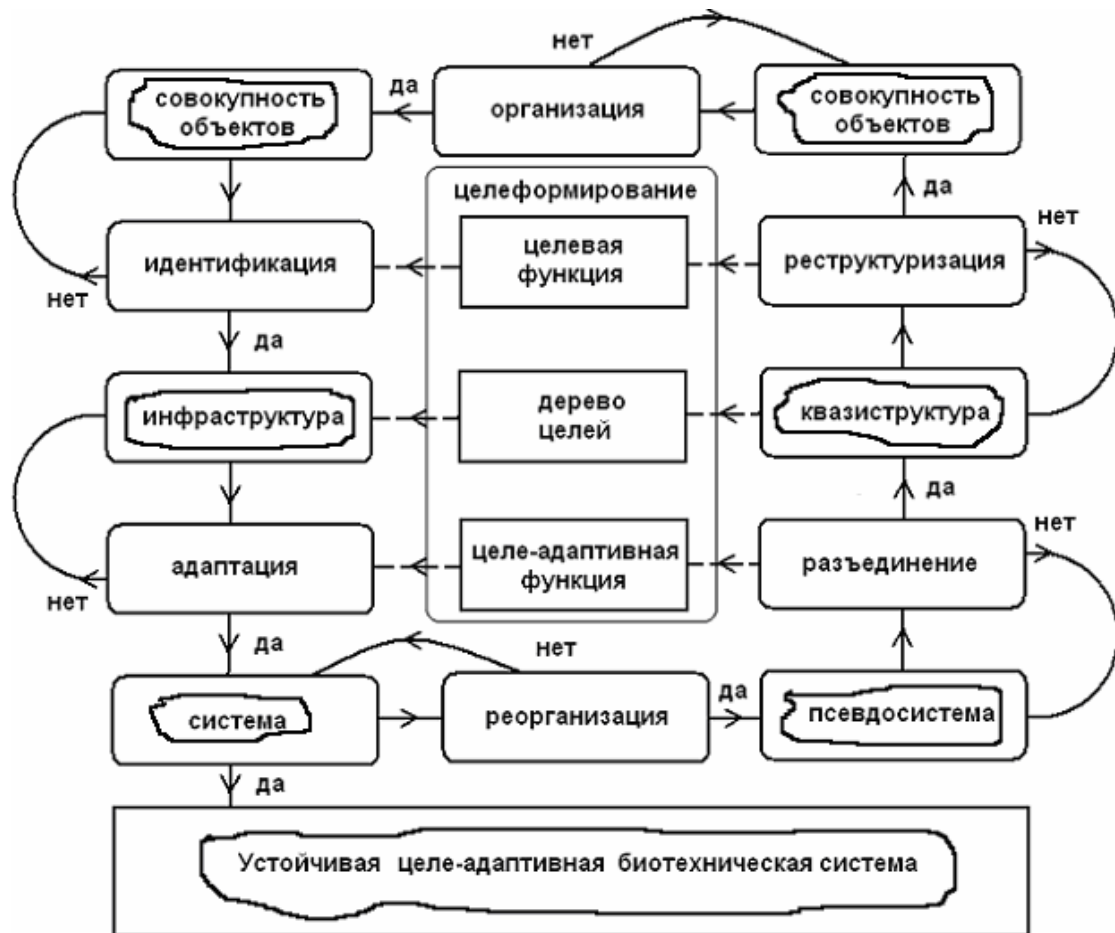


Рис. 1. Схема проектирования устойчивой целе-адаптивной биотехнической системы на основе когнитивного и эволюционного моделирования.

#### Выводы.

1. Разработка модели самоорганизующегося аграрного производства обладает научной новизной и стратегической перспективой развития.
2. Главной задачей системометрии аграрного производства является определение целеадаптивных функций и синергетических эффектов взаимодействия объектов природной, биологической и техногенной среды.
3. Для практической реализации модели самоорганизующегося агропроизводства имеются все необходимые современные технические средства и возможности.

#### Литература

1. А.М. Башилов Электронно-оптическое зрение в аграрном производстве. Системотехника построения и применения информационных оптических технологий / Башилов А.М. // М.:РАСХН, 2005 - 312 с.
2. А.М. Башилов Визуализация и наблюдение системной сложности точного земледелия / Башилов А.М., Загинайлов В.И. //Труды

Международной научно-технической конференции «Интеллектуальные системы» (AIS'05). Научное издание в 3-х томах.– М.:Физматлит, 2005. - Т.1. - С.12-20.

3. *А.М. Башилов* Когнитивное и эволюционное моделирование синергетической организации биотехнических систем/ *Башилов А.М., Загинайлов В.И.* // Труды X Международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении», СПбГПУ, 2006. - Т. 2. - С. 257-267.

4. *А.М. Башилов* Системологический анализ и определение самоорганизующегося агропроизводства/ *Башилов А.М.* // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ им. В.П. Горячкина». – 2006. –Вып. №5(20). – С. 6-12.

## **МОДЕЛЮВАННЯ САМООРГАНІЗОВУЮЧИХСЯ АГРОБІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

А.М. Башилов, В.І. Загінайлов

**Анотація** - у статті викладені принципи і підходи у вирішенні проблеми моделювання системної складності агробіотехнічних систем і організації управління з урахуванням природних законів і механізмів самоорганізації.

## **MODELLING SELF-ORGANIZATION AGROBIOTECHNICHESKY SYSTEMS**

A. Bashilov, V. Zaginailov

### ***Summary***

**The article describes the principles and approaches in addressing the problem of modeling the system complexity agrobiotekhnicheskikh systems and management organization of natural laws and mechanisms of self-organization.**

УДК 621.311:631.3

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРООЗОНУВАННЯ КАРТОПЛІ В СХОВИЩІ

Овчаров В.В., д.т.н.,

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Чапний М.В., к.т.н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України.*

E-mail: chapnijj@rambler.ru

**Анотація** - Розглянута схема автоматизації процесу озонування насипу картоплі заданою концентрацією озону в повітрі. Досліджено залежність ступеню очистки повітря від концентрації озону.

**Ключові слова:** автоматизація, іонізація, озонування, картопля.

*Постановка проблеми.* Проблема підвищення збереженості картоплі під час довготривалого зберігання потребує використання озону для обробки картоплі та повітря в помірній бульбовому просторі. Вирішення проблеми пропонується досягти застосуванням обладнання, що використовується при зберіганні сільгосппродукції та додаткового введення іонізатора повітря, за допомогою якого виробляється озон і подається в насип картоплі [1, 2, 3]. Під час довготривалого періоду зберігання картоплі виникають проблеми, пов'язані з втратами продукції через хвороби та гнилі [4,5].

*Аналіз останніх досліджень.* Аналіз літературних джерел показав, що існуючі системи озонування плодоовочевої продукції [6, 7] передбачають тільки ручний режим управління електроозонуванням картоплі під час зберігання, що призводить до перевитрати енергоресурсів.

*Формулювання мети статті.* Метою досліджень є зменшення непродуктивних витрат енергії шляхом виявлення факторів, які треба оптимізувати при озонуванні картоплі під час зберігання.

*Основна частина.* Створено електротехнічний комплекс для озонування картоплі під час зберігання за допомогою коронного розряду. При іонізації повітря одночасно з озоном може утворюватися азот, який осідає на поверхні бульб і викликає утворення перекисі водню, чим сприяє гальмуванню утворення гнилі. Окрім того, азот може реагувати з молекулами озону, утворюючи окис азоту.

При цьому перекис водню обмежує доступ озону до поверхні бульб. Але озон має більше ефективних факторів впливу на картоплю, таких як: ширший спектр знищення фітопатогенних мікробів, дезактивація отрутохімікатів накопичених в бульбах під час вирощування, затримка проростання бульб, зниження вмісту цукрів та інш. Тому електротехнічний комплекс повинен працювати в режимі, коли буде відбуватися іонізація кисню з утворенням озону і при цьому зведеться до мінімуму іонізація азоту. А це цілком можливе з огляду на те, що при напруженості електричного поля до 20 кВ (перша ступінь іонізації) енергія іонізації азоту складає 15,58 еВ, а кисню – 12,08 еВ. В той же час при напруженості електричного поля вище 20 кВ (друга ступінь іонізації) енергія іонізації азоту складає 29,6 еВ, а кисню – 35,12 еВ. Тобто, можна зробити наступний висновок по визначенню першого фактору, який необхідно оптимізувати: для обмеження іонізації атомів азоту та іонізації атомів кисню для отримання необхідної концентрації озону, необхідно обмежити напругу на іонізаторі повітря величиною до 20 кВ. Або знайти спосіб поглинання іонів азоту до моменту його попадання в насип картоплі, що зберігається.

Експериментальна установка для створення і перевірки системи автоматичного управління процесом озонування наведена на рис.1.



Рис. 1. Експериментальна установка для перевірки роботи САУ.



Схема працює в імпульсному режимі, коли імпульс струму в залежності від між електродної відстані триває 1...3 мікросекунди, амплітуда імпульсу струму – 30 мА, а частота послідовності імпульсів – 50 кГц. Застосована система електродів вістря - площина. Швидкість повітря – 5 м/с необхідна для того, щоб іони, які не встигли вступити в реакцію з молекулами повітря, осідали на катоді. Вище названі умови обов'язково необхідно враховувати при створенні системи управління роботою електротехнічного комплексу, тому що при надходженні малої кількості іонів в насип картоплі викличе передчасне проростання бульб. Передчасне проростання бульб потребує його сортування, а це додаткові витрати.

В залежності від кількості озону, введеного в середовище, що обробляється буде досягнута у встановленому режимі конкретна ступінь очистки за будь-яким забрудненням. При конкретному кількісному значенні величини озону, котра загалом може прямувати до нескінченності, подальше збільшення ступені очистки не буде відбуватися в силу фізико-хімічних закономірностей. Тобто, подальше збільшення кількості озону приведе до його непродуктивних витрат.

Ступінь очистки, яка відповідає дозі озону, вище якої не відбувається підвищення очистки, назовемо граничним ступенем очистки  $\eta_{\infty}$  для конкретної реалізації процесу.

На рис. 2 представлені залежності ступеню очистки від доз озонування:  $q_1 = 5\text{мг/м}^3$ ,  $q_2 = 8\text{мг/м}^3$ ,  $q_3 = 10\text{мг/м}^3$ .

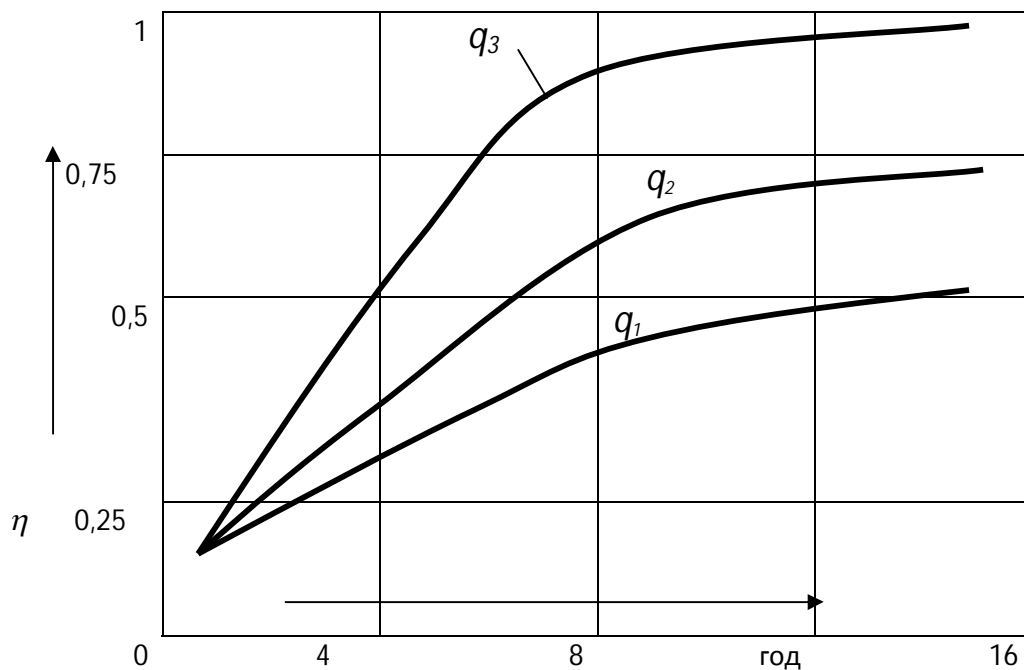


Рис. 2. Графіки зміни ступеню очистки повітря в сховищі при різних дозах озонування.

З наведеного рисунку можна побачити, що при збільшенні дози озону ступінь очистки повітря підвищується. Звідси вимальовується другий фактор, який треба оптимізувати: доза озонування.

Досягти оптимізації вищезазначених факторів можна використовуючи автоматичне управління величиною технологічних параметрів, таких як напруженість електричного поля та доза озонування.

Тому виникає необхідність впровадити систему автоматичного управління напругою іонізації та дозою озонування для оптимізації роботи електротехнічного комплексу.

З літературних джерел відомо, що на продуктивність іонізатора впливають також температура і вологість повітря, яке іонізується, але ці параметри задаються технологією зберігання коли  $\Theta = 2..4^{\circ}\text{C}$ , а  $\omega = 90..95\%$ .

Структурна функціональна схема системи автоматичного управління озонуванням картоплі представлена на рис. 3.

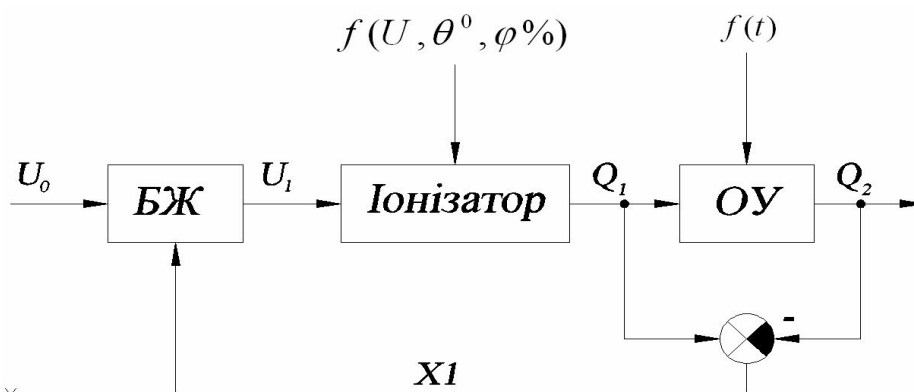


Рис. 3. Структурно-алгоритмічна схема САУ роботою іонізатора повітря.

На роботу іонізатора впливають температура і вологість повітря, що продувається крізь іонізатор, а також коливання напруги мережі електроживлення від якої живиться іонізатор. В той же час на об'єкт управління, яким є насип картоплі, діє задана концентрація озону та випадкова величина в ролі збурення – шкідливі мікроорганізми.

В наведеній системі автоматичного управління озонуванням картоплі присутній місцевий зворотній від'ємний зв'язок об'єкта управління, який дасть змогу слідкувати за концентрацією озону в насипі картоплі і при досягненні рівноваги кількості озону на вході в насип картоплі та кількості озону на виході завдяки наявності в системі одиначного головного зворотного зв'язку по сигналу розбігу показань концентрації озону (X1) подасть команду на відключення блока живлення (БЖ) іонізатора повітря.

Схематична реалізація системи автоматичного підтримання концентрації озону на заданому рівні зображена на рис. 4.

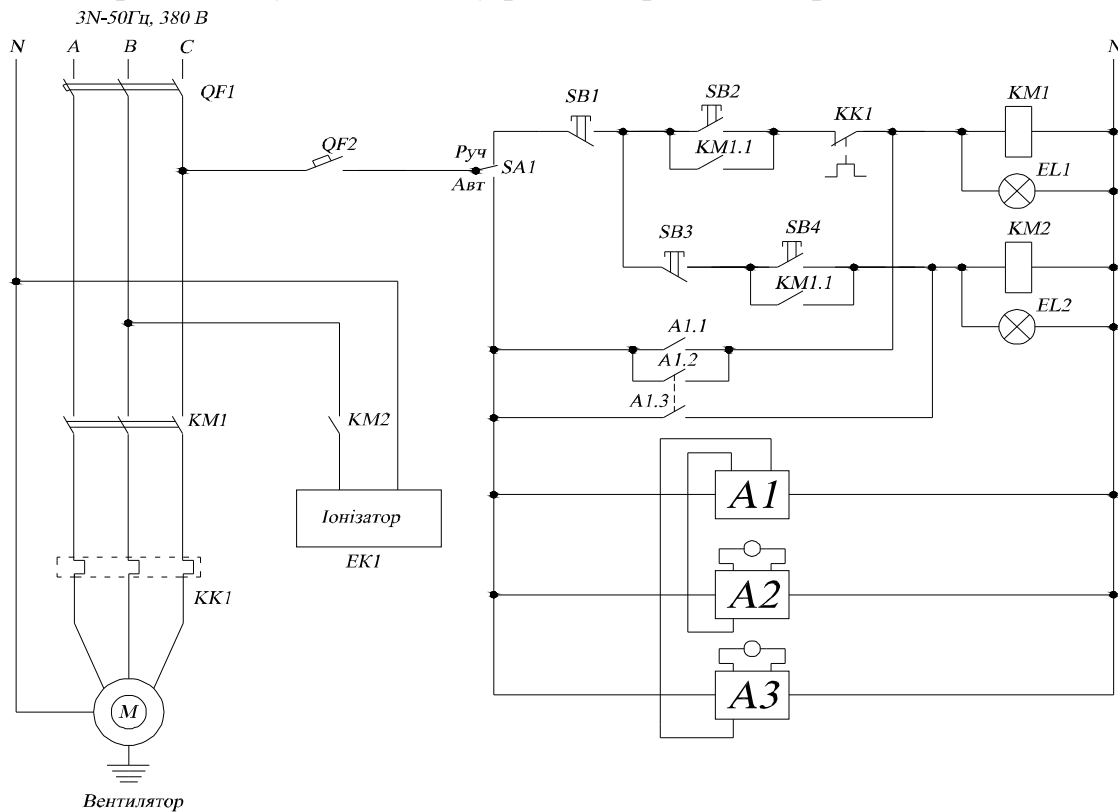


Рис. 4. Електрична принципова схема управління роботою електротехнічного комплексу.

Електрична принципова схема САР іонною обробкою картоплі (рис.5) складається з щита управління в якому встановлено кнопки SB1-SB4 для управління системою в ручному режимі, перемикача режимів роботи (ручний, автоматичний) системи SA1, магнітних пускачів KM1 та KM2 для запуску вентилятора та іонізатора. Також в щиті встановлюється мікроконтролер A1 для управління виконавчими механізмами в автоматичному режимі за допомогою релейних виходів контролера A1.1 – A1.3. Контакт A1.1 використовується для ввімкнення тільки вентилятора в ручному чи автоматичному режимі для перевірки системи вентиляції чи для виконання вентиляції по сигналу систем контролю вологості та температури.

Контакти A1.2 та A1.3 замикаються разом, тому, що система озонування може працювати правильно тільки при одночасній роботі вентилятора та іонізатора.

Датчики вимірювачів концентрації озону A2 та A3 встановлюють у вентиляційних каналах сховища і під'єднуються до інформаційних входів контролера A1 в щиті.

Електрична схема працює в автоматичному режимі по такому алгоритму: при ввімкненні системи контролер вмикає іонізатор та вентилятор, замикаючи контакти А1.2 та А1.3. На контролері задано значення концентрації озону на вході та виході бункера, і при досягненні заданих значень контролер розмикає контакти А1.2 та А1.3.

В електричній схемі передбачено захист від короткого замикання в колі управління QF1, в силовому колі QF2, від перевантаження двигуна вентилятора КК1 та сигналізація.

При роботі електроозонаторних установок в сільськогосподарських приміщеннях на некоронуючому електроді осідає шар пилу. Наявність пилу в розрядному проміжку і на некоронуючому електроді призводить до зміни параметрів вольт-амперної залежності. Це відображається на якості протікання технологічного процесу.

У зв'язку з цим виникає необхідність враховувати вплив пилу на вольт-амперну характеристику. В праці [8] отримана наближена вольт-амперна залежність, яка враховує об'ємний електричний опір шару пилу:

$$I = \left\{ \frac{1}{C} + (2U - U_0) \cdot R - \left\langle \left[ \frac{1}{C} + (2U - U_0) \cdot R \right]^2 - 4(U^2 - U \cdot U_0) \cdot R^2 \right\rangle \right\} \cdot (2R^2)^{-1}, \quad (1)$$

де  $C$  – постійна, яка залежить від геометрії між електродного проміжку;

$$R = \frac{\rho \cdot d}{S} \text{ - об'ємний електричний опір шару;}$$

$\rho$  - удільний електричний опір шару;

$d$  – товщина шару;

$S$  – площа поверхні некоронуючого електрода.

В діапазоні напруг від 15 до 20,0 кВ співпадання експериментальних та розрахункових значень струмів має задовільну похибку. Проте цей вираз не враховує геометричних параметрів розрядного проміжку, а також використовується тільки для дрових коронуючих електродів.

У зв'язку з цим було проведено експериментальні дослідження по впливу пилу на вольт-амперну характеристику електроозонатора (рис.5). Характеристики знімалися з електроозонатора, який протягом періоду зберігання працював в картоплесховищі. Із графічних залежностей при ввімкненому (1 і 1') та вимкненому (2 і 2') вентиляторі можна побачити, що при робочій напрузі (15,0 – 18,0 кВ) зниження струму відбулося в 2...4 рази. Це призвело до зниження потужності і

продуктивності електроозонаторів. На основі цих дослідів встановлено періодичність очистки електроозонаторів від пилу, яка складає 3,0 місяця.

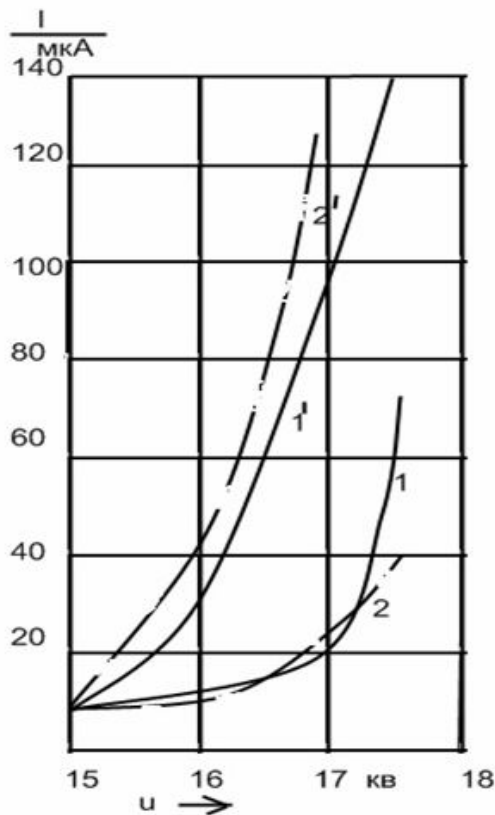


Рис. 5. Вольт-амперні характеристики виробничих електроозонаторів: 1, 2 – забруднені; 1', 2' - очищені від порохи.

#### Висновки.

1. До факторів оптимізації, які необхідно автоматизувати при озонуванні картоплі під час зберігання з використанням зазначеного електротехнічного комплексу відносяться: напруга живлення іонізатора та доза озонування.

2. Показники фактора забруднення некородуючого електроду автоматизувати в промислових умовах неможливо, тому очищення некородуючого електроду необхідно виконувати вручну через 3 місяця.

#### Література

1. Божко *И.В.* Исследование разрядного промежутка для плазмо-химического реактора на положительной стримерной короне / *И.В. Божко, И.С. Петухов* // Техн. электродинамика. – К. : ІЕД НАНУ, 2005. – №3. – С.17–21.

2. Божко *И.В.* Влияние конфигурации электродной системы на образование стримеров коронного разряда / *И.В. Божко, И.С. Петухов*

хов, Н.И. Фальковский // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2005. – №2(11). – С.41–44.

3. Божко И.В. Электродная система для разрядных устройств с положительной стримерной короной / И.В. Божко, И.С. Петухов, Н.И. Фальковский // Техн. електродинаміка. – К. : ІЕД НАНУ, 2006. – №3. – С. 9–12.

4. Дементьева М.И. Болезни плодов, овощей и картофеля при хранении / М.И. Дементьева. – М. : Агропромиздат, 1988. – 178 с.

5. Мелихов А.А. Хранение и переработка плодов и овощей: Учебное пособие / А.А. Мелихов. – Мн. : Урожай, 2000. – 160 с.

6. Иноземцев Г.Б. Установка аероіонізації плодоовочевої продукції при її збереженні / Г.Б. Иноземцев, О.В. Окушко // Електрифікація та автоматизація сільського господарства, 2002. - №1. – С 49-53.

7. Мартиненко І.І. Автоматизація технологічних процесів сільськогосподарського виробництва / І.І. Мартиненко, Б.Л. Головінський та інш. // Урожай, 1995 – С. 63-68.

8. Голего А.Н. Теоретическое изучение влияния аэрозольных частиц на характеристики коронного разряда / А.Н. Голего, В.В. Ушаков // Сборник научных трудов. – К. : КИИГА, 1971. – Вып. 7. – С.27-33.

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРООЗОНИРОВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ В ХРАНИЛИЩЕ**

В.В. Овчаров, М.В. Чапный

**Аннотация** - рассмотрена схема автоматизации процесса озонирования насыпи картофеля заданной концентрацией озона в воздухе. Исследована зависимость степени очистки воздуха от концентрации озона.

## **AUTOMATION OF ELEKTROOZONIROVANIYA KARTOFELYA IN DEPOSITORY**

V. Ovcharov, M. Chapnyu

### **Summary**

**It is considered the scheme of automatization of ozonation process of pile of potatoes by specified concentration of ozone in air. It is researched the dependence of the purification efficiency of air from the concentration of ozone.**

УДК 631.083

## **ОПТИМІЗАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОДЕРЖАННЯ ПРОДУКЦІЇ**

Червінський Л.С., д.т.н.,

Радько І.П., к.т.н.

*Національний університет біоресурсів природокористування України*

**Анотація** – розроблено метод багатокритеріальної оптимізації технологічного процесу одержання продукції тваринництва шляхом збирання часткових критеріїв в єдиний критерій системного значення на основі диференційних перетворень Пухова, що суттєво скорочує пошук оптимуму.

**Ключові слова** - технологія, технологічний процес, ефективність, керування, одержання продукції, оптимум.

*Постановка проблеми.* Сучасні технології одержання будь-якої продукції народного господарства направлені на підвищення якості та кількості цієї продукції при мінімальних матеріальних і енергетичних затратах із врахуванням їх екологічного впливу на навколишнє середовище. Їх реалізація можлива при чіткому визначенні всіх факторів, що впливають на продукцію, конкретизації їх взаємозв'язків і величин параметрів, ефективності та екологічності технології, що застосовується для отримання продукції.

*Аналіз останніх досліджень.* На рис.1 пропонується узагальнена топологічна схема поетапної розробки науково обґрунтованої високо-ефективної технології отримання продукції. Вона передбачає наступні етапи:

- визначення і дослідження параметрів фактору, що впливає на продукцію;
- визначення припустимих критичних значень зміни фактору та врахування його в технологічному процесі одержання продукції, шляхом розробки відповідного технічного обладнання;
- розробка автоматизованої системи керування багатofакторним технологічним процесом на основі підтримування зміни факторів в межах критичних значень.

*Формулювання цілей статті.* З метою підвищення ефективності технологічного процесу одержання продукції необхідно на основі

аналізу визначити та обґрунтувати критерії нормування факторів, що впливають на якісні і кількісні показники продукції. Для цього проводяться дослідження шляхів та механізмів дії кожного фактору на продукт в технологічному процесі отримання його товарної форми, визначаються допустимі критичні (мінімальне і максимальне) значення параметрів фактору з подальшою узагальнюючою систематизацією і нормуванням. Тобто, визначаються граничні значення параметрів фактору, які закладаються в програму роботи автоматизованої системи керування технологічним процесом і є вихідними даними для розробки технологічного обладнання поточкових ліній одержання продукції заданої якості і кількості.

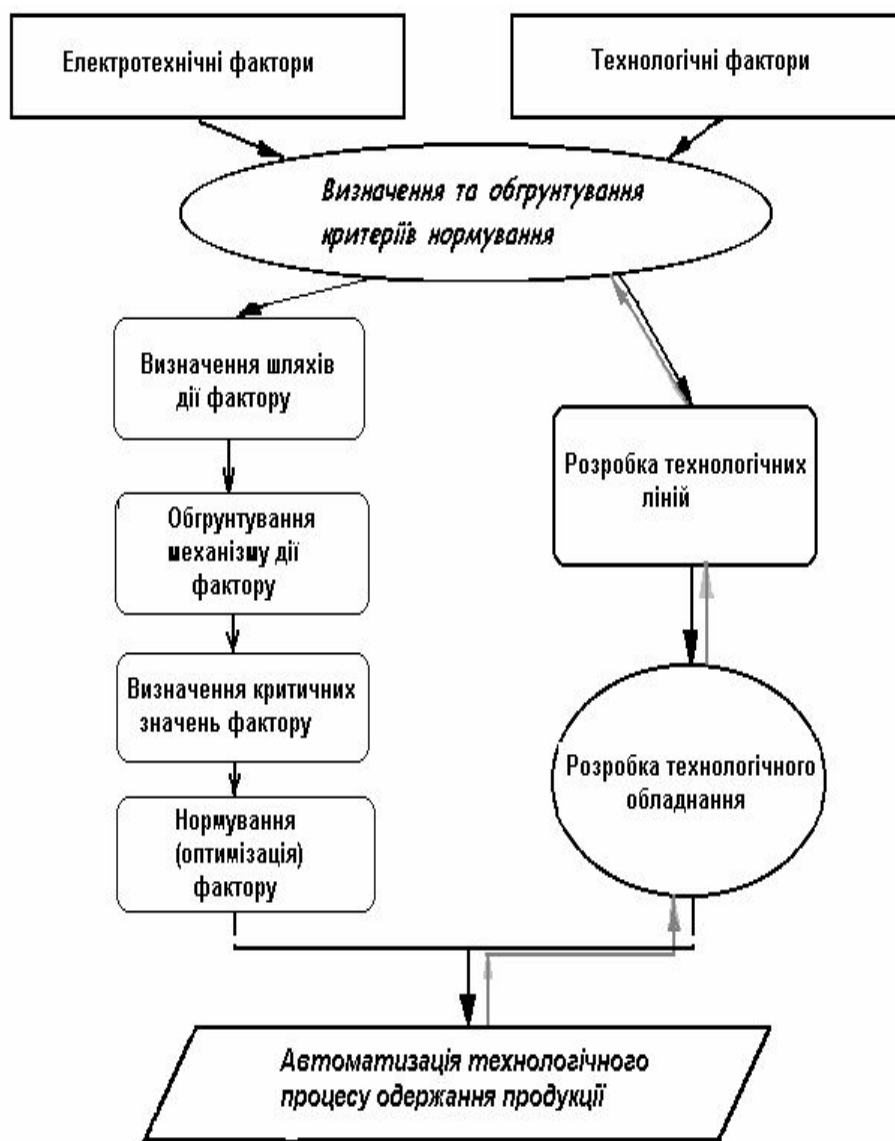


Рис. 1. Топологічна схема розробки науково обґрунтованої технології отримання продукції тваринництва.



*Основна частина.* Доцільно розрізняти технологічні і електротехнічні фактори впливу на продукцію. Розглянемо їх структуру на конкретному прикладі розробки високоефективної технології одержання продукції тваринництва. До технологічних факторів впливу на відносяться технологічні процеси, які обумовлюють фізіологічні потреби організму тварини та комфортні умови існування і подальшого розвитку: годівля, поїння тварин, прибирання гною, підтримання в приміщенні чистоти і оптимальних параметрів мікроклімату.

До електротехнічних факторів доцільно віднести фактори впливу електричної і променистої енергій. Електрична енергія використовується на вентиляцію та обігрів приміщення. Промениста енергія електромагнітного випромінювання різних діапазонів в технології одержання продукції тваринництва використовується на: штучне освітлення і бактерицидне знезаражування приміщень, ультрафіолетове опромінення та інфрачервоний обігрів тварин, електрофізичні методи стимуляції і терапії і т.п.

Одержання продукції тваринництва і птахівництва є багатофакторним технологічним процесом. Для розв'язування задач багатокритеріальної оптимізації технологічного процесу одержання продукції тваринництва (тобто, визначення величин і взаємозв'язку факторів, що забезпечують максимальний розвиток тварини – об'єкта керування) використаємо диференційні перетворення Пухова [1] на основі теорії оптимального керування Брайсона і Ю-Ші [2]. Зміна параметру фактора в часі описується векторним диференціальним рівнянням типу:

$$\frac{dx}{dt} = f(x, u, t), \rightarrow x(t_0) = x_0, \quad (1)$$

де  $x = x(t)$  –  $n$ -вимірний вектор стану фактора;  $u = u(t)$  –  $m$ -вимірний вектор керування ( $m < n$ );  $f$  – вектор-функція узагальненої сили, яка неперервна і неперервно диференційована за сукупністю змінних  $t, x, u$ ;  $t \in [t_0, T]$  – час, граничне значення якого  $T$  може бути задане як період часу до отримання продукції.

Якість керування технологією оцінюється сукупністю часткових критеріїв, що задані функціоналами:

$$I_j = \Theta_j[x(T), T] + \int_{t_0}^T \varphi_j(x, u, t) dt, \quad (2)$$

де  $j = 1, 2, 3, \dots, r$ ; функції  $\Theta$  та  $\varphi$  мають неперервні часткові похідні по  $x$  і  $u$ . Слід зазначити, що змінювані параметри  $U(t)$  повинні забезпечувати не один локальний мінімум, а задовольняти  $r$  - умовам глобальної оптимізації динамічних процесів розвитку об'єкта (тварин) в цілому. Багатокритеріальна задача синтезу оптимального керування динамічною системою (твариною) [3] полягає у визначенні екстремалей  $\{x^*(t), u^*(t)\}, u^* \in U, I^* \in I, t \in [t_0, T]$ , які при заданих диференціаль-

них зв'язках (1) оптимізують векторний функціонал (2), що характеризує ефективність впливу факторів на одержання продукції тваринництва в цілому.

Вважаємо, що векторний критерій є обмеженим допустимою областю  $I \in \Omega(I)$  і кожна компонента векторного критерію  $I$  описується функціоналом (2), визначеним на розв'язках векторного диференціального рівняння (1) з класу допустимих керувань  $u \in U$ . Необхідно визначити закон мінімізації векторного функціоналу  $I$ .

Згідно наведеної математичної моделі, допустима область його зміни задається системою обмежень

$$0 \leq I_j \leq A_j = I_j \sup, j \in [1, r], \quad (3)$$

де  $A_j$  – верхня межа допустимого значення компоненти  $I_j$  векторного критерію  $I$ .

Оптимальне адаптивне управління забезпечує досягнення сукупності визначених цілей оптимальним шляхом для всього класу режимних ситуацій. Конкретні поточні ситуації належать до класу, що визначається декартовим добутком  $\{S\} = X \times F$ , де  $X \supset \{x_i\}_{i=1}^n$  – простір стану об'єкта керування, на який впливають  $F \supset \{f_j\}_{j=1}^l$  – зовнішні фактори (тобто, інші: технологічні, електротехнічні...). Таким чином, багатокритеріальність технології обумовлена множиною цілепозначень, різноманітністю функціонування у різних режимах зв'язку із зовнішніми факторами. Ось чому відомий теоретичний принцип про неможливість існування абсолютного оптимума (тому, що завжди можливо визначити додатково нові часткові фактори і критеріальні значення їх параметрів) веде до використання алгоритмів обмеження числа факторів та застосування компромісних рішень.

Розглянемо особливості деяких відомих багатокритеріальних моделей. Згідно приведеної моделі, задача (1)-(2) зводиться до мінімізації лінійної форми складових векторного критерію із сталими ваговими коефіцієнтами (принцип лінійності Онзагера):

$$I_{M_i} = \sum_{j=1}^r a_j I_j, \quad (4)$$

Нажаль, проблематичним у даній моделі є вибір вагових коефіцієнтів  $a_j, j = \overline{1, r}$ .

В іншій моделі використовується ідеальна (утопічна) точка в просторі критеріїв якості керування. В її основі лежить принцип, що кожний функціонал (2) оптимізується окремо від інших. У результаті отримують  $r$  оптимальних керувань, що характеризуються векторами  $U^j, (j = \overline{1, r})$  і ідеальною точкою з координатами  $I_j^0(U^{(j)}), j = \overline{1, r}$ . Далі

ставиться задача мінімізації із диференційними зв'язками (1), наприклад у вигляді:

$$I_L = \left[ \sum_{j=1}^r \{I_j(u) - I_j^0(u^{(j)})\}^L \right]^{1/L}, L \geq 1 \quad (5)$$

Ця модель характеризується значною більшою обчислювальною складністю і потребує додаткової мінімізації суми квадратів відхилень функції (2). Тому пропонується вирішення багатокритеріальної задачі оптимізації на основі принципів квазіаналогового моделювання та застосування математичного апарату диференціальних перетворень Пухова [1] із заміною неперервної функції спектром дискретних значень:

$$x(t) \approx X(k) = \frac{h^k}{k!} \left[ \frac{d^k x(t)}{dt^k} \right]_{t=t_0}, \quad (6)$$

де  $x(t)$  – неперервна аналітична функція дійсного аргументу;  $X(k)$  – дискретна функція чисельного аргументу  $k = 0, 1, 2, \dots$ , яка називається диференціальним спектром функції  $x(t)$  в точці  $t=t_0$ ;  $h$  – масштабна стала, що має розмірність аргументу  $t$ . Вираз (6) дозволяє замінити оптимізаційні дослідження багатокритеріальної моделі (1)–(2) моделлю (4), еквівалентною відносно результатів розв'язку вихідної задачі класу аналітичних функцій типу  $u(t, C)$ . Де  $C = (c_1, c_2, \dots, c_N)$  – вектор вільних параметрів. Диференційні перетворення функції визначають її диференційний спектр при значеннях масштабної сталої  $h=T$  та  $t_0=0$  за виразом:

$$u(t, C) = U(k, C) = \frac{T^k}{k!} \left[ \frac{d^k u(t, C)}{dt^k} \right]_{t=0}, \quad (7)$$

На основі виразу (7) базові залежності (1) записуються у рекурентному вигляді:

$$X(k+1, C) = \frac{T}{k+1} f[X(k, C), U(k, C), t], X(0) = x_0, \quad (8)$$

Функціонал якості керування технологічним процесом (2), який характеризує і якість оптимізації технології, приводиться до функції часу і вектора вільних параметрів у вигляді:

$$I_j(T, C) = \Theta_j[x(T, C), T] + T \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\Phi[X(k, C), U(k, C), t]}{k+1}, j = 1, 2, \dots, r, \quad (9)$$

Із врахуванням виразу (9) базова модель технологічного процесу (4) запишеться у вигляді:

$$I_{M_i}(T, C) = \sum_{j=1}^r a_j I_j(T, C), \quad (10)$$

Необхідними умовами оптимальності даної математичної моделі є наступні залежності:

$$\frac{\partial I_{M_i}(T, C)}{\partial T} = 0, \quad \text{та} \quad \frac{\partial I_{M_i}(T, C)}{\partial C} = 0, \quad (11)$$

Таким чином, для визначення оптимальних параметрів факторів впливу на продукцію тваринництва є достатнім визначити із рівнянь (11) кінцевий час  $T$  та параметри впливу  $C_i$  - того фактора, якщо екстремум функції  $I_{M_i}(T, C)$  знаходиться усередині допустимої області, визначеної у (3).

*Висновки.* Даний підхід до визначення граничних значень параметрів факторів технологічного процесу одержання продукції тваринництва і розробки оптимізаційної моделі автоматичного керування технологією одержання максимальної кількості продукції може бути легко вирішений з використанням ПЕОМ та покладений в основу розробки сучасної технології.

#### Література

1. Пухов Г.Е. Дифференциальные преобразования функций и уравнений / Г.Е. Пухов - Киев: Наукова думка, 1980. - 419 с.
2. Брайсон А. Прикладная теория оптимального управления / А. Брайсон, Хо Ю-Ши. - М. : Мир, 1972. - 554 с.
3. Воронин А.И. Многокритериальный синтез динамических систем / А.И. Воронин. - К. : Наукова думка, 1992. - 160 с.

### ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДУКЦИИ

Л.С. Червинский, І. П. Радько

*Аннотация* - разработан метод многокритериальной оптимизации технологического процесса получения продукции животноводства путем сбора частных критериев в обобщенный критерий системного значения на основе дифференциальных преобразований Пухова, что существенно сокращает поиск оптимума.

### OPTIMIZATION GOING NEAR DEVELOPMENT HIGHLY PRODUCTIVE TECHNOLOGIES OF RECEIPT OF PRODUCTS

L. Chervinskiy I. Radko

#### *Summary*

The method of a multicriteria optimization of a manufacturing process of obtaining of production of animal industries is developed on the basis of differential transformations Puhova. The generalization in unified criterion of system value of partial criteria essentially reduces search of an optimum.

УДК 632.935.4:621.396.652

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ С БИОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Никифорова Л.Е., д.т.н.,

Богатырев Ю.О., инж.\*

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (097) 3780882

**Аннотация** - Получена математическая модель, позволяющая определить внутреннее электромагнитное поле семян с учетом деформации зерновки. Определены значения частоты электромагнитного поля для различных сельскохозяйственных культур, приводящего к их активации и увеличению всхожести.

**Ключевые слова** – биологический объект, электромагнитное поле, клетка.

*Постановка проблемы.* Современная наука позволяет ответить на многие вопросы о строении и свойствах различных объектов Вселенной. Несмотря на это, существует большой класс явлений, точное объяснение которых в рамках современных представлений естествознания пока является затруднительным. Так, несмотря на практические успехи электротехнологий, не в полной мере остаётся раскрыт электрофизический механизм воздействия на биологические организмы различных параметров их жизнеобеспечения, в том числе и электромагнитных полей в широком диапазоне амплитуд и частот их изменения. Отсутствует аргументированное объяснение, почему при малых дозах воздействия происходит стимуляция жизнедеятельности биологических объектов, а при значительных – их угнетение и гибель, иногда без разрушения мембран клеток [1].

*Анализ последних исследований.* Исследования последних лет показали, что в состоянии покоя клетка может быть стимулирована путем увеличения интенсивности её питания за счет изменения любого из параметров её жизнеобеспечения, в том числе любого из ионов элементов питания (увеличения снаружи и уменьшения внутри клетки). Стимуляция может быть осуществлена и внешним электромагнитным полем [1,2]. В состоянии возбуждения биологическая клетка (участок мем-

---

© д.т.н. Никифорова Л.Е., инж. Богатырев Ю.О.

\* Научный руководитель – д.т.н., доц. Никифорова Л.Е.

браны клетки) переходит, как правило, за счёт увеличения входных токов, вызванных возбуждением соседних клеток (участков мембраны), при этом происходит скачкообразное изменение проводимостей ионных каналов мембраны, вначале натриевых, а затем калиевых. За счёт электроэнергии мембран потенциал клетки мгновенно меняет полярность и в импульсе принимает положительное значение – генерируется потенциал действия, который передается от одного участка мембраны к другому. В состоянии возбуждения большинство клеток живых организмов испытывают стресс. Нервные клетки животных переходят в режим передачи информации, мышечные – выполнения работы. При продолжительном нахождении в состоянии возбуждения стресс вызывает большие энергетические затраты, вплоть до гибели клеток.

Многие физиологические процессы, получение и преобразование информации связаны с изменением собственных электромагнитных и акустических полей биологических объектов. Электромагнитные поля биологических объектов изменяются от низких до сверхвысоких частот, а также в области инфракрасного, видимого и ультрафиолетового диапазонов. Поэтому для жизнедеятельности сельскохозяйственных растений и животных значимость собственных электрических полей и токов трудно переоценить. Достаточно сказать, что при помощи воздействия внешних электромагнитных полей можно осуществлять управление жизнедеятельностью биологических объектов как растительного, так и животного происхождения. Повышение продуктивности объектов сельскохозяйственного назначения может осуществляться:

- при действии постоянного электрического поля за счет изменения величины электрической напряженности;
- на низких частотах за счёт изменения амплитуды, частоты и начальной фазы амплитуды электрической напряженности;
- на повышенных частотах – за счёт изменения амплитуды;
- на высоких и сверхвысоких частотах - за счет резонансных явлений, вызываемых совпадением частот диапазона (от  $10^6$  до  $10^{10}$  Гц) с частотами колебаний полярных белковых молекул мембран клеток, вращением и перемещением их фосфолипидных молекул;
- в оптическом диапазоне - за счёт резонансных явлений, вызываемых совпадением частот диапазона с частотами вращения ионов в ионных каналах при их перемещении через мембрану по ионным каналам.

Очевидно, что исследование этого процесса возможно только лишь в том случае, когда известно, как распределяются воздействующие электромагнитные поля внутри биологического объекта.

*Формулирование целей статьи.* Следовательно, для получения необходимых результатов должна быть построена математическая мо-

дель, позволяющая находить амплитуды внутренних электромагнитных полей в указанных структурах.

*Основная часть.* Нами получена математическая модель, позволяющая находить распределение электромагнитного поля внутри биологического объекта (на примере семян сельскохозяйственных растений) [2].

Семена были представлены в приближенном виде как сфера, которая заполнена эндоспермом с зерновкой внутри. Сфера окружена тонкой кожурой. Если рассматривать данную систему как низкодобротный резонатор, то очевидно, что она имеет спектр резонансных частот. Определение распределения электромагнитного поля внутри зерновки сводилось к решению задачи о рассеянии падающей электромагнитной волны на многослойной структуре, которая имеет форму вложенных сфер. Для получения необходимых результатов принималось, что центр семени совпадает с центром прямоугольной декартовой системы координат, а плоская волна распространяется нормально к поверхности семян, ее электрический вектор направлен по касательной к поверхности. Кроме того, для упрощения, было принято, что центр зерновки совпадает с центром семени. Каждый из слоев является однородным, т.е. имеет постоянную диэлектрическую проницаемость. Диэлектрическую проницаемость среды и кожуры обозначено как  $\epsilon_0$ , проницаемость эндосперма -  $\epsilon_1$ , а зерновки -  $\epsilon_2$ .

Для решения задачи падающее поле раскладывалось по двум векторными сферическими волновыми функциями  $\vec{M}$  и  $\vec{N}$ . Было получено выражение для определения внутреннего электромагнитного поля семян:

$$\begin{cases} \vec{E} = E_0 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (a_n \vec{M}_{no} - i b_n \vec{N}_{ne}); \\ \vec{H} = -\frac{k}{\omega \mu_0} E_0 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (b_n \vec{M}_{ne} + i a_n \vec{N}_{no}), \end{cases} \quad (1)$$

где  $a_n$  и  $b_n$  – коэффициенты прохождения электрической и магнитной составляющей падающего электромагнитного поля внутрь зерновки;

$n$  – номер гармоники падающего поля;

$E_0$  – амплитуда электрической составляющей падающего поля;

$i = \sqrt{-1}$ ;

$\omega = 2\pi f$  – круговая частота падающей волны;

$k$  – волновое число в окружающей среде зерновки;

$\mu_0$  – магнитная проницаемость среды.

*Выводы.* На основании данной математической модели, с учетом деформации зерновки, получены значения частоты электромагнитно-

го поля для різних сільськогосподарських культур, приводящої їх активзації і збільшенню схожості.

Оптимальне значення частоти електромагнітного поля різно для різних сільськогосподарських культур. Даний частотний діапазон лежить в області СВЧ і КВЧ випромінювань.

#### *Література*

1. Микроволнові технології в народному господарстві. Введення. Проблеми. Перспективи // Сб. науч. ст. (науч. ред. акад. МАИ Каменец Л.Г. ; Міжнародна акад. інформ. Український науково-технологічний центр. – К. : ТЕС, 2002. – Вип. 4. – 220 с.

2. Никифорова Л.Є. Моделювання взаємодії електромагнітного випромінювання НВЧ діапазону з насінням тепличних культур / Л.Є. Никифорова // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України : Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – Харків, 2009. – Вип. 86. – С. 127 – 130.

3. Никифорова Л.Є. Дослідження впливу низькоенергетичного електромагнітного випромінювання на насіння тепличних культур / Л.Є. Никифорова // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь : Люкс, 2008. – Вип. 8, Т. 4. – С. 117 – 125.

## **МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ З БІОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ**

Л.Є. Никифорова, Ю.О. Богатырев

**Анотація** - Отримана математична модель, яка дозволяє визначити внутрішнє електромагнітне поле насіння з урахуванням деформації зернівки. Визначені значення частоти електромагнітного поля для різних сільськогосподарських культур, які приводять до їх активзації і збільшення схожості.

## **DESIGN OF COOPERATION THE EXTERNAL ELECTROMAGNETIC FIELD WITH BIOLOGICAL OBJECTS**

L. Nikiforova, Y. Bogatyrev

#### *Summary*

**Mathematical model, allowing to define internal electromagnetic the fields of seed taking into account deformation of zernovki is got.**

**The values of frequency electromagnetic field for different agricultural cultures, resulting in their activating and increase of germination are certain.**



УДК.529.796+621.317.76.089.68

## МОДЕЛЬ ТРАВМОВАНОЇ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ ТВАРИН, ЩО ЗНАХОДИТЬСЯ ПІД ДІЄЮ НВЧ ОПРОМІНЕННЯ

Яковлєв В. Ф., к.т.н.,

Орел О. М., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (06192)42-11-74

**Анотація** – Робота присвячена теоретичному дослідженню взаємодії електромагнітного поля НВЧ – діапазону з тканинами тварин з ціллю визначення оптимальних параметрів діючого поля стимулюючого лікування кісткових захворювань тварин.

**Ключові слова** – електричний і магнітний вектор, вектор Пойтинга, поляризація, хвильове число, циліндрична система координат.

*Постановка проблеми.* Низкою досліджень встановлена висока ефективність лікування захворювань кісткової тканини тварин, у тому числі і переломів, за допомогою низькоенергетичних випромінювань НВЧ діапазону. Однак, у більшості випадків, як параметри діючого електромагнітного поля, так і використовувана для цієї мети апаратура вибирається досить довільно, що пояснюється відсутністю строгих теоретичних досліджень механізму взаємодії зазначених полів із тканинами тварин.

*Формулювання цілей статті.* Метою даної роботи є моделювання розподілу електромагнітних полів НВЧ діапазону в кінцівках тварин з метою визначення оптимальних параметрів поля, що впливає, стимулюючого процес лікування кісткових захворювань і, на цій основі, розрахунку конструктивних параметрів самого технічного засобу для лікування.

*Основна частина.* Як фізичну модель прийнято, кінцівка тварини, що являє собою нескінченний циліндр радіуса  $R$  поміщений у простір, який володіє діелектричною  $\epsilon_0$  і магнітної  $\mu_0$  проникністю.

Уздовж вісі циліндра його електромагнітні властивості не змінюються, а по радіусі він являє собою шарувату структуру з п'ятьма шарами, що відповідають кістковому мозку, кісті, м'язовій тканині, шкірі і вовняному покриву. При цьому кожний із шарів має свою діелектричну проникність  $\epsilon_i$ , де  $i = 1, 2, 3, 4, 5$ .

Що стосується магнітної проникності кожного шару кінцівці тварини, що моделюється, то циліндр і навколишнє його середовище, тобто повітря, є немагнітними, вона скрізь дорівнює магнітної проникності вільного простору, тобто  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м.

Нехай на розглянутий циліндр падає плоска електромагнітна хвиля, що поширюється в напрямку, перпендикулярному його вісі. При цьому можливі два випадки:

- вісі циліндра - рівнобіжний електричний вектор (Е- поляризація);
- вісі циліндра - рівнобіжний магнітний вектор (Н - поляризація).

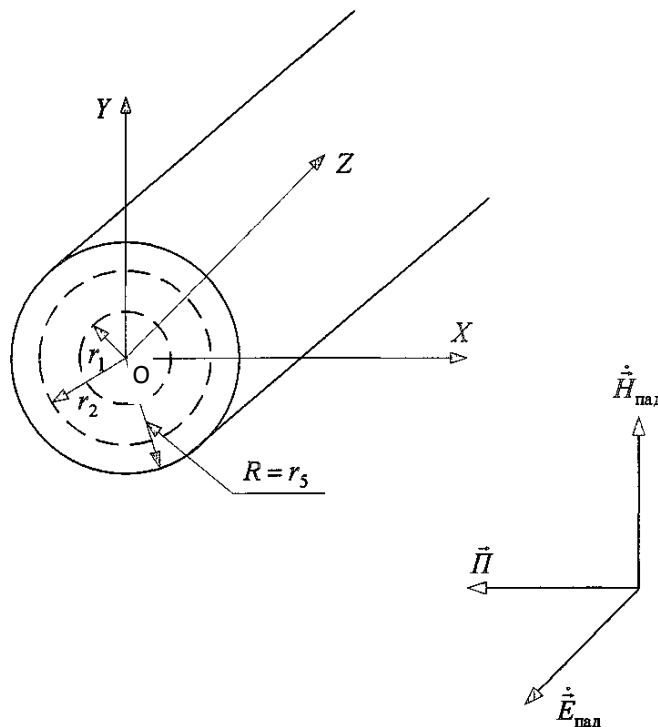


Рис. 1. Орієнтація складових падаючого ЕМП відносно кінцівок тварини.

Довільна орієнтація векторів електричної  $\vec{E}$  і магнітний  $\vec{H}$  складових падаючого електромагнітного випромінювання може бути отримана як суперпозиція цих двох випадків. Крапки над позначеннями векторів свідчать про те, що їхні амплітуди - комплексні величини. Для рішення задачі введена циліндрична система координат, у якої вісь  $OZ$  співпадає з віссю циліндра. Вектор Пойнтинга  $\vec{P}$  падаючої хвилі направлений в негативну сторону вісі  $OX$ . При цьому розглядатись буде Е- поляризація у відповідності з рис. 1.

Рішення задачі полягає в перетворенні електромагнітних полів усередині циліндра. При цьому перехід від Е- поляризації до Н- поляризації може бути зроблений за допомогою заміни  $\vec{E} \rightarrow \vec{H}$ ,  $\epsilon \rightarrow \mu$ . Нескінченність циліндра по вісі буде забезпечуватися в практичних випадках завжди, якщо його довжина принаймні на порядок буде біль-

ше радіуса циліндра, тобто коли можна зневажити крайовими ефектами на торцях. Крім того, перерозсіювання ЕМВ, що впливає на кінцівку тварини від поверхні землі, тулуба тварини й інших об'єктів можна не враховувати, що зв'язано з довжиною хвилі використовуваного випромінювання, а також можливим вибором конструкції антени.

Відповідно до вихідних умов падаюче поле при Е- поляризації буде мати вигляд [1, 2]:

$$\begin{aligned} \dot{E}_{x\text{пад}} = \dot{E}_{y\text{пад}} = 0; & \quad \dot{H}_{x\text{пад}} = \dot{H}_{z\text{пад}} = 0; \\ \dot{E}_{z\text{пад}} = \dot{E}_0 e^{jk_0 x}, & \quad \dot{H}_{y\text{пад}} = \dot{H}_0 e^{jk_0 x}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\dot{E}_0$  и  $\dot{H}_0$  – комплексні амплітуди електричного и магнітного поля, відповідно;

$k_0 = \omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$  – хвильове число в навколишньому середовищі циліндру;

$\omega = 2\pi f$  – кругова частота падаючого випромінювання;  
 $f$  – частота ЕМП.

Тут і далі часовий множник  $e^{j\omega t}$  пропущений.

Рішення задачі про розподіл електромагнітних полів у прийнятій фізичній моделі умовно можна розподілити на дві складові. Перша з них - це задача про визначення внутрішніх полів в суцільному однорідному біологічному об'єкті, що має циліндричну форму.

Строге рішення даної задачі зводиться до рішення рівнянь Максвелла при заданих граничних умовах для складових електромагнітного поля на поверхні циліндра з урахуванням умови випромінювання на нескінченності.

Присутність циліндра змінює поле як по напрямку розповсюдження (вісь ОХ, так і в перпендикулярному до нього напрямку (вісь ОУ). У напрямку вісі циліндра з урахуванням його однорідності поле не змінюється, тому в рівняннях Максвелла часна похідна по напрямку вісі дорівнює нулю ( $\frac{\partial}{\partial z} = 0$ ). В циліндричній системі координат с урахуванням вище сказаного і (1) рівняння Максвелла [1, 2]

$$\begin{cases} \text{rot } \dot{H} = j\omega \epsilon \dot{E}; \\ \text{rot } \dot{E} = -j\omega \mu \dot{H} \end{cases}, \quad (2)$$

приймає вид

$$\begin{cases} \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial \varphi} + j\omega \mu r \dot{H}_r = 0; \\ \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial r} - j\omega \mu \dot{H}_\varphi = 0; \\ \frac{1}{r} \left[ \frac{\partial}{\partial r} (r \dot{H}_\varphi) - \frac{\partial \dot{H}_r}{\partial \varphi} \right] - j\omega \varepsilon \dot{E}_z = 0. \end{cases} \quad (3)$$

З (3) випливає, що оскільки м'язова і кісткова тканина тварини ізотропна, то при наявності в падаючому полі тільки подовжньої складовий  $\dot{E}_z$  у розсіяному полі буде також присутня тільки повздовжня складова електричного поля.

У випадку однорідного діелектричного циліндра весь простір, у якому існує електромагнітне поле, розділимо на дві області: зовнішню і внутрішню стосовно циліндра.

В зовнішній області, що характеризується  $\varepsilon_0$  і  $\mu_0$ , існує падаюче поле  $\dot{E}_{z\text{пад}}$  і відбите  $-\dot{E}_{z\text{отр}}$ . У внутрішній області циліндра, що характеризується проникностями  $\varepsilon$  і  $\mu_0$ , існує тільки розсіяне всередину поле  $\dot{E}_z$ . При цьому  $\dot{E}_{z\text{пад}}$  визначається з (1), а  $\dot{E}_{z\text{отр}}$  і  $\dot{E}_z$  повинні відповідати системі (3). З сказаного витікає, що на границі між зовнішньою і внутрішньою областями, тобто на поверхні циліндра, поле повинно відповідати співвідношенням:

$$\dot{E}_z \Big|_{r=R} = \dot{E}_{z\text{пад}} \Big|_{r=R} + \dot{E}_{z\text{отр}} \Big|_{r=R}; \quad \dot{H}_\varphi \Big|_{r=R} = \dot{H}_{\varphi\text{пад}} \Big|_{r=R} + \dot{H}_{\varphi\text{отр}} \Big|_{r=R}. \quad (4)$$

Для рішення системи (3) виразимо  $\dot{H}_r$  і  $\dot{H}_\varphi$  з першого і другого рівнянь і підставимо в третє рівняння. Це дає:

$$\frac{\partial^2 \dot{E}_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \dot{E}_z}{\partial \varphi^2} + k^2 \dot{E}_z = 0, \quad (5)$$

де  $\dot{E}_z$  відповідає або розсіяному усередину або відбитому полю;  $k$  визначається  $\varepsilon_0, \mu_0$  або  $\varepsilon, \mu_0$  у залежності від області, у якій вирішується рівняння (5).

Диференціальне рівняння другого порядку в часних похідних (5) вирішується методом поділу перемінних [81]., З цієї ціллю позначимо

$$\dot{E}_z = P(r) \cdot \Phi(\varphi). \quad (6)$$

Підставляючи (6) у (5), одержуємо два незалежних звичайних диференціальних рівняння:

$$\frac{d^2 \Phi}{d\varphi^2} + m^2 \Phi = 0; \quad (7)$$

$$\frac{d^2 R}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dR}{dr} + \left( k^2 - \frac{m^2}{r^2} \right) R = 0, \quad (8)$$

де  $m$  - деяке число.

Враховуючи, що у циліндричній системі координат  $\dot{E}_{z\text{пад}}$  має вигляд:

$$\dot{E}_{z\text{пад}} = \dot{E}_0 e^{jk_0 x} = \dot{E}_0 e^{jk_0 r \cos \varphi}, \quad (9)$$

і є парною функцією куту  $\varphi$ , а початок координат розташований на вісі циліндру, вимоги до кінцівки поля на вісі циліндру, приймаючи до уваги функції Ханкеля, що відповідають хвилям, які йдуть з нескінченності  $H_m^{(1)}(kr)$  і навпаки, від циліндру на нескінченність  $H_m^{(2)}(kr)$ , для яких  $|kr| \gg 1$  і  $|kr| \gg m$ , виконуючи відповідні перетворення відповідно [3] задача про розсіяння електромагнітного поля на однорідному циліндрі приводить до отримання таких рівнянь, що описують три види хвиль:

- падаючу

$$\dot{E}_{z\text{пад}} = \dot{E}_0 e^{jk_0 r \cos \varphi}, \quad (10)$$

- відбиту

$$E_{z\text{отр}} = \sum_{m=0}^{\infty} \dot{C}_m H_m^{(2)}(k_0 r) \cos(m\varphi), \quad (11)$$

де  $\dot{C}_m = A_{1m} * A_{6m}$

- що пройшла всередину циліндра

$$\dot{E}_z = \sum_{m=0}^{\infty} \dot{B}_m J_m(kr) \cos(m\varphi) \quad (12)$$

де  $\dot{B}_m = A_{1m} * A_{3m}$ .

У (11), (12) проводиться підсумовування по  $m$ , тому що воно може приймати будь-які цілі значення. Виходить, загальне рішення повинне бути суперпозицією всіх можливих рішень. При цьому, з урахуванням парності розглянутої задачі, негативні значення  $m$  не беруться.

Таким чином, усередині циліндра буде існувати поле, яке визначається виразом (12), а поза циліндром –

$$\dot{E}_{z\text{пад}} + \dot{E}_{z\text{отр}} = \dot{E}_0 e^{jk_0 r \cos \varphi} + \sum_{m=0}^{\infty} \dot{C}_m H_m^{(2)}(k_0 r) \cos(m\varphi). \quad (13)$$

Величини невідомих коефіцієнтів  $\dot{B}_m$  і  $\dot{C}_m$  визначаються з граничних умов (4).

Першу граничну умову (4) отримаємо, дорівнюючи (12) и (13) при умові, що  $r = R$ :

$$\sum_{m=0}^{\infty} \dot{B}_m J_m(kR) \cos(m\varphi) = \dot{E}_0 e^{jk_0 R \cos \varphi} + \sum_{m=0}^{\infty} \dot{C}_m H_m^{(2)}(k_0 R) \cos(m\varphi). \quad (14)$$

Використовуючи положення теорії поля, функцій Бесселя [4] і враховуючи незалежність рішень для різних  $m$  отримуємо:

$$\dot{B}_0 J_0(kR) = \dot{E}_0 J_0(k_0 R) + \dot{C}_0 H_0^{(2)}(k_0 R), \quad (15)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{m=1}^{\infty} \dot{B}_m J_m(kR) \cos(m\varphi) = \\ & = 2\dot{E}_0 \sum_{m=1}^{\infty} (j)^m J_m(k_0 R) \cos(m\varphi) + \sum_{m=1}^{\infty} \dot{C}_m H_m^{(2)}(k_0 R) \cos(m\varphi). \end{aligned} \quad (16)$$

Виражаючи  $\dot{H}_\varphi$  через  $\dot{E}_z$  з (3) для другої граничної умови отримуємо вирази:

$$\dot{H}_{\varphi\text{пад}} = -j \frac{\dot{E}_0 k_0}{\omega \mu_0} \left[ -J_1(k_0 r) + 2 \sum_{m=1}^{\infty} (j)^m J'_m(k_0 r) \cos(m\varphi) \right], \quad (17)$$

відбите поле –

$$\dot{H}_{\varphi\text{отр}} = -j \frac{k_0}{\omega \mu_0} \sum_{m=0}^{\infty} \dot{C}_m H_m^{(2)'}(k_0 r) \cos(m\varphi), \quad (18)$$

поле, що пройшло всередину циліндра –

$$\dot{H}_\varphi = -j \frac{k}{\omega \mu_0} \sum_{m=0}^{\infty} \dot{B}_m J'_m(kr) \cos(m\varphi). \quad (19)$$

Підставляючи (17) - (19) у друге рівняння (4), отримуємо граничні умови для тангенціальних складових магнітного поля:

$$\begin{aligned} & k \sum_{m=1}^{\infty} \dot{B}_m J'_m(kR) \cos(m\varphi) = -\dot{E}_0 k_0 J_1(k_0 R) + \\ & + 2\dot{E}_0 k_0 \sum_{m=1}^{\infty} (j)^m J'_m(k_0 R) \cos(m\varphi) + k_0 \sum_{m=0}^{\infty} \dot{C}_m H_m^{(2)'}(k_0 R) \cos(m\varphi), \end{aligned} \quad (20)$$

що також приводить до двох рівнянь:

$$k \dot{B}_0 J_1(kR) = \dot{E}_0 k_0 J_1(k_0 R) + k_0 \dot{C}_0 H_1^{(2)}(k_0 R), \quad (21)$$

$$\begin{aligned} & k \sum_{m=1}^{\infty} \dot{B}_m J'_m(kR) \cos(m\varphi) = 2\dot{E}_0 k_0 \sum_{m=1}^{\infty} (j)^m J'_m(k_0 R) \cos(m\varphi) + \\ & + k_0 \sum_{m=0}^{\infty} \dot{C}_m H_m^{(2)'}(k_0 R) \cos(m\varphi). \end{aligned} \quad (22)$$

Рівняння (15), (21) утворюють неоднорідну систему лінійних алгебраїчних рівнянь відносно невідомих коефіцієнтів  $\dot{B}_0$  и  $\dot{C}_0$ . Її рішення має вид:

$$\dot{B}_0 = \dot{E}_0 k_0 \frac{J_1(k_0 R) H_0^{(2)}(k_0 R) - J_0(k_0 R) H_1^{(2)}(k_0 R)}{k J_1(kR) H_0^{(2)}(k_0 R) - k_0 J_0(kR) H_1^{(2)}(k_0 R)}, \quad (23)$$

$$\dot{C}_0 = \dot{E}_0 \frac{J_0(kR)J_1(k_0R) - J_0(k_0R)J_1(kR)}{kJ_1(kR)H_0^{(2)}(k_0R) - k_0J_0(kR)H_1^{(2)}(k_0R)}. \quad (24)$$

Для обчислення коефіцієнтів  $\dot{B}_m$ ,  $C_m$  спочатку перетворимо рівняння (16), (22), скориставшись ортогональністю функцій  $\cos(m\varphi)$  і  $\cos(n\varphi)$ , де  $m, n \in \mathbb{Z}$  [3]. З цією метою помножимо обидві частини зазначених рівнянь на  $\cos(n\varphi)$  і проінтегруємо їх по змінній  $\varphi$  у межах від  $-\pi$  до  $+\pi$ . Отримані інтеграли будуть дорівнюють нулю для всіх  $m \neq n$ , а при  $m=n$  дадуть  $\pi$ . Завдяки даній властивості рівняння (16), (22) перетворяться до виду, що дозволяє визначити необхідні коефіцієнти:

$$\dot{B}_m = 2\dot{E}_0(j)^m k_0 \frac{J'_m(k_0R)H_m^{(2)}(k_0R) - J_m(k_0R)H_m^{(2)'}(k_0R)}{kJ'_m(kR)H_m^{(2)}(k_0R) - k_0J_m(kR)H_m^{(2)'}(k_0R)}, \quad (25)$$

$$\dot{C}_m = 2\dot{E}_0(j)^m k_0 \frac{J_m(kR)J'_m(k_0R) - kJ'_m(k_0R)J_m(kR)}{kJ'_m(kR)H_m^{(2)}(k_0R) - k_0J_m(kR)H_m^{(2)'}(k_0R)}. \quad (26)$$

У результаті визначення коефіцієнтів  $\dot{B}_m$  і  $C_m$  величини відбитих від однорідного діелектричного циліндру і тих, що пройшли усередину електромагнітних полів, однозначно визначені.

*Висновки.* Таким чином, у випадку, коли об'єкт, що опромінюється, має циліндричну форму або близьку до неї, а саме таку форму мають кінцівки сільськогосподарських тварин, нульова гармоніка проникаючого усередину поля є такою ж самою, як і падаюча плоска хвиля і складається з двох складових:  $\dot{E}_z$  і  $\dot{H}_\varphi$ . Фазові співвідношення між цими складовими визначаються розмірами біооб'єкта і частотою падаючої хвилі. Це впливає з того, що коефіцієнт  $\dot{B}_m$  (25) є комплексною величиною, причому при заданому поперечному розрізі циліндра його фаза зв'язана з частотою падаючої хвилі. Це явище викликано резонансними процесами, що відбуваються усередині тіла, що опромінюється на різних довжинах хвиль. Загальна залежність  $\dot{E}_z$  і  $\dot{H}_\varphi$  від радіуса біооб'єкта визначається функціями Бесселя і Ханкеля відповідного порядку. Отже, зміна довжини падаючої хвилі повинна привести до поперечних резонансів полів, що викликає підвищення концентрації електромагнітного впливу в пучностях внутрішнього поля.

Вплив опромінення на біооб'єкт при резонансних явищах буде неоднорідним у поперечному перерізі. Отже, підбираючи частоту, можна вибірково впливати на визначені точки, якщо це необхідно, або навпаки, зменшувати ступінь ризику їхнього ушкодження, зрушуючи пучності електромагнітного поля убік.

## Література

1. Стрэттон Дж. А. Теория электромагнетизма / Дж. А. Стрэттон. – М. : ОГИЗ, 1948. – 539 с.
2. Никольский В. В. Электродинамика и распространение радиоволн / В. В. Никольский. – М. : Наука, 1978. – 543 с.
3. Тихонов А. Н. Уравнения математической физики / А. Н. Тихонов, Л. А. Самарский. – М. : Наука, 1966. – 742 с.
4. Янке Е. Специальные функции / Е.Янке, Ф. Леш. –М. : Наука, 1964. – 344 с.

**МОДЕЛЬ ТРАВМИРОВАННОЙ КОСТНОЙ ТКАНИ  
ЖИВОТНЫХ, КОТОРАЯ НАХОДИТСЯ ПОД  
ВОЗДЕЙСТВИЕМ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ**

В. Ф. Яковлев, А.Н. Орел

**Аннотация** – работа посвящена теоретическому исследованию взаимодействия электромагнитного поля СВЧ - диапазона с тканями животных, с целью определения оптимальных параметров действующего поля, стимулирующего лечение костных заболеваний животных.

**MODEL OF AN INJURED OSTEAL TISSUE ANIMAL, WERE  
UNDER A VERY HIGH FREQUENCY OF RADIANCE  
EFFECT**

V. Yakovlev, A. Orel

**Summary**

**The work is dedicated to analytical investigation of interaction of very high frequency range electromagnetic field with tissues animal with the purpose effecting field optimum parameters definition for challenging treatment of osteal diseases animal.**



УДК 004.94:681.5.017

## **ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ МАЛОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ**

Діордієв В.Т., к.т.н., проф.

Кашкар'єв А.О. асп.\*

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел.: (0619)425-797

**Анотація** – запропонований метод моделювання роботи технологічного комплексу виробництва комбікормів на основі мереж Петрі, програмне забезпечення для динамічного моделювання його роботи та вивчення можливості удосконалення системи управління.

**Ключові слова** – комплекс виробництва комбікорму, моделювання, автоматизована система управління, мережі Петрі.

*Постановка проблеми.* У періодичних виданнях можна знайти приклади вдалих інженерингових рішень модернізації або розробки автоматизації технологічних комплексів виробництва комбікормів, особливість яких полягає у відсутності типових проектів. Проектними організаціями реалізується індивідуальний підхід [1, 10, 11]. Такий підхід побічно обмежує функціональність та використання методів підвищення ефективності автоматизованих систем управління (АСУ) технологічним процесом (ТП). Частково це пов'язане з намаганням знизити собівартість проектних робіт, зміною та удосконаленням засобів автоматизації і менш швидким розвитком концепції управління та реалізації АСУ. Саме тому необхідно зосередити зусилля на пошуку, обґрунтуванні та реалізації методів АСУ технологічними комплексами (ТК) виробництва комбікормів малої продуктивності, що не можливо без вивчення засобів моделювання їх роботи [8].

Для розробки таких засобів необхідно враховувати широке різноманіття технологічних схем, характеру ієрархічних зв'язків між обладнанням та режимів роботи самого комплексу (періодична, неперервна), які обумовлені діяльністю господарств [2]. Це обґрунтовує необхідність універсальності, гнучкості та інформативності як засобів моделювання так і програмного забезпечення (ПЗ) АСУ [3 - 6].

---

\* Науковий керівник – к.т.н., проф. В.Т. Діордієв

© к.т.н., проф. Діордієв В.Т., асп. Кашкар'єв А.О.

*Аналіз останніх досліджень.* Результатом аналізу літературних джерел, за темою удосконалення АСУ ТК виробництва комбікормів малої продуктивності була зроблена серія публікацій, в котрих представлено обґрунтування доцільності та напрямки удосконалення АСУ. Особлива увага була приділена мережам Петрі (МП), як таким, які найбільше відповідають сучасним тенденціям розробки об'єктно-орієнтованих технологій проектування, є чітко формалізовані, зручні при описі ТП з можливістю великої кількості маршрутів, паралельною роботою ділянок ТК та дискретного характеру їх роботи [9, 12].

У зазначених публікаціях особливе місце займають сервісні функції АСУ ТП, котрі підвищують інформативність вимірювальних пристроїв та ефективність використання АСУ [4]. Але алгоритми їх використання представлені концептуально, і тому потребують тестування і навчання на моделях ТП та у виробничих умовах з генеруванням відповідних повідомлень оператору або керуючими командами [6].

Сервісні функції системи управління пропонується реалізовувати на основі матриць інцедентності однієї структури, але з різними типами даних. Контроль та аналіз алгоритму роботи комплексу здійснюється за розміткою мережі, яка формується відповідно до визначення ординарних мереж Петрі [9]. За аналогічною структурою (в якості елементів матриць виступає час спрацювання переходів, отримання маркерів вершинами та час зміни розмітки) здійснюється аналіз роботи комплексу, АСУ та генерація керуючих повідомлень або впливів.

*Формулювання цілей статті.* Метою роботи є огляд представлення програмного засобу динамічного моделювання МП, розробка ПЗ, котре дозволить реалізувати модель ТП виробництва комбікорму, з отриманням вхідних даних для подальшого вивчення можливості реалізації запропонованих сервісних функцій АСУ.

*Основна частина.* МП є гнучким математичним апаратом, який дозволяє достатньо чітко виконати опис технологічного процесу виробництва комбікорму та визначити послідовність спрацювань виконавчих механізмів [9]. Спроби моделювання ТП виробництва комбікорму показали простоту використання, гнучкість та універсальність мереж (рис. 1). Наступним кроком є необхідність вивчення можливості динамічного моделювання ТП. Беззаперечно, це питання необхідно розглядати через розробку відповідного програмного забезпечення (ПЗ) з такою структурою та переліком функцій, які дозволять забезпечити існування самої мережі, її дослідження, формалізацію алгоритмів аналізу матриць інцедентності з метою контролю структури мережі, розмітки, таймінгу роботи виконавчих механізмів та спрацювань вимірювальних пристроїв.

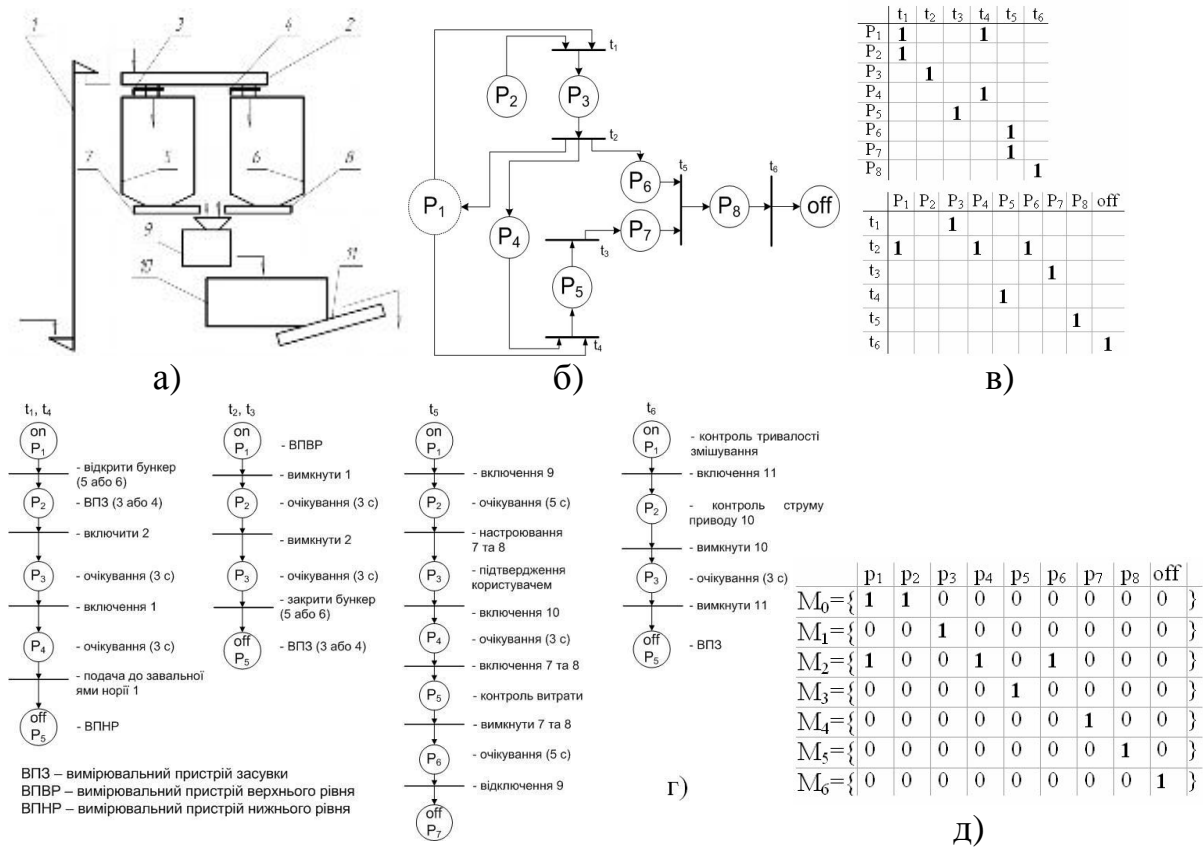


Рис. 1. Моделювання ТП виробництва комбікорму: технологічна схема (а) комплексу періодичної дії (1 – норія; 2 – розподільчий шнек; 3-4 – засувка; 5-6 – бункер компоненту; 7-8 – дозатор; 9 - дробарка; 10 – змішувач; 11 - вивантажувач); модель 1-го (б) та 2-го (г) рівнів; матриці інцидентності (в) та розмітка мережі моделі 1-го рівня (д).

В результаті аналізу існуючих програмних рішень динамічного моделювання МП можна виділити два напрямки їх реалізації: створення таких структур даних, котрі реалізують відповідні матриці; використання стандартних класів в якості елементів мереж. Перший напрям не використовує гнучкість та зручність графічного інтерфейсу, а маніпулювання мережею через матричне представлення ускладнюють процедуру удосконалення ПЗ. Другий – потребує окремої процедури формування матриць інцидентності та розмітки мережі для використання стандартних алгоритмів їх аналізу [12], але об’єктний підхід дозволяє віддати перевагу саме цьому напрямку: гнучкий та зручний графічний інтерфейс; можливість удосконалення ПЗ та додавання сервісних функцій аналізу мережі або її даних; прив’язка до об’єкту управління; можливість створення АСУ ТП у супервізерному режимі. Нами приділена увага саме другому напрямку. Як результат роботи було розроблено ПЗ (рис. 2).

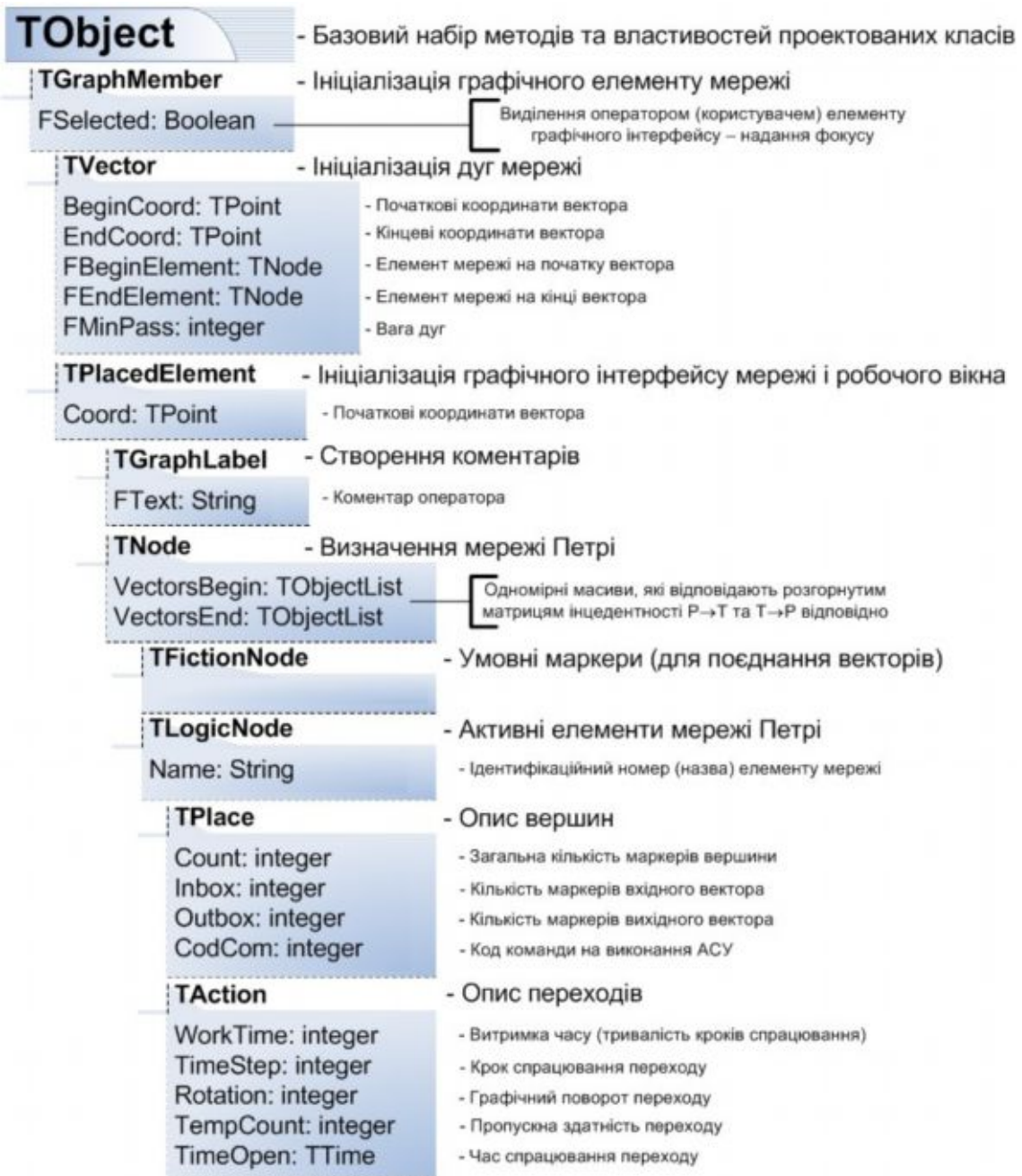


Рис. 2. Структура та змінні класів розробленого ПЗ.

Представлений склад класів, їх структура та ПЗ повністю відповідає визначенню ординарних МП, а виконані удосконалення забезпечують можливість тестування сервісних функцій АСУ, які потребують розробки окремих процедур і функцій:

– аналіз мережі. У проєктованій мережі необхідно уникати циклів та не контрольованого накопичення маркерів у вершинах мережі [9]. Функції аналізу мережі використовують базові матриці інцидентності та модельну розмітку;

– контроль алгоритму роботи, стану мережі та ТК [3]. Функції зводяться до аналізу розмітки мережі – ідентифікація відхилень від еталону. Тестування алгоритмів здійснюється за рахунок випадкової генерації маркерів у вершинах мережі. Бажано використовувати рівномірний закон розподілу, використовуючи функцію  $round(random(P))$ , де  $P$  – кількість вершин;

– таймінг [6]. Оцінка появи маркерів та спрацювань переходів повинна здійснюватись на основі експертних, модельних або виробничих даних. Вказаний час повинен відображати об'єкт управління або контролю. Крім того, необхідно пам'ятати, що контроль роботи виконавчих механізмів, як правило, потребує додаткових вимірювальних пристроїв, що збільшує вартість АСУ та не відповідає концепції даної роботи. Тому деякі виконавчі механізми повинні виступати в якості умовних точок відліку, а вимірювальні пристрої (рівень компонентів та струму завантаження, положення засувок та перекидних клапанів, ваги та ін.) – кінцевих інформативних точок. Така взаємодія потребує достовірного моделювання або експертних знань. Генерація зовнішніх впливів може здійснюватись за нормальним законом з контрольованими параметрами (амплітуда та дисперсія збурень);

– стаціонарність ТП. Зазвичай стаціонарний режим описується системою алгебраїчних рівнянь, отриманих з системи диференціальних рівнянь стану шляхом прирівнювання похідних по часу до нуля. У нашому ж випадку достатньо довести що відхилення часових елементів модельованого та еталонного матричного представлення МП не є статистично значущим. При розробці відповідних функцій необхідно враховувати, що стаціонарність ТП у контексті ТК малої продуктивності необхідно розглядати з урахуванням можливого неперервного та порційного принципу дії.

Вхідні дані для функцій оцінки таймінгу та визначення стаціонарності ТП залежать від постійної (конструктивні особливості елементів ТК, режими роботи приводного обладнання) та змінної (вплив властивостей компонентів комбікорму на режим роботи елементів ТК) складових. Тому при розробці ПЗ динамічного моделювання роботи МП та ТК виробництва комбікорму можна вивчити окремо систематичний вплив постійної та стохастичний вплив змінної складової на роботу функцій.

Алгоритм обробки даних, який планується використовувати при виконанні сервісних функцій таймінгу, нами був опублікований. Його задача зводиться до генерації повідомлень про стан ТП. Але цей алгоритм можна удосконалити шляхом застосування методики виключення грубих помилок за критерієм Стюдента [7]. З огляду на матричне представлення МП визначення  $t_p$  матиме вигляд:

$$t_p = \frac{|x^* - x_M|}{\sigma_M \cdot \sqrt{N}}, \quad (1)$$

де  $\sigma_M$  – стандартне відхилення модельних або еталонних даних;  
 $x_M$  – середнє арифметичне модельних або еталонних даних, с;  
 $N$  – об'єм модельної або еталонної вибірки;  
 $x^*$  – дослідний час спрацювання вимірювального пристрою або роботи виконавчого механізму, с.

Щодо значення  $N$ , то можна спиратись на закон великих чисел, за яким  $N=384$  забезпечить достовірність результатів 0,95 та похибку 0,05. Але такий алгоритм вимагає точної моделі ТП або великої експериментальної бази даних, яка може утворюватись під час експлуатації ТК.

За аналогічним принципом може виконуватись і оцінка стаціонарності спрацювання окремого переходу. В свою чергу, аналіз стаціонарності роботи САУ ТП виробництва комбікорму на ТК малої продуктивності, на наш погляд, доцільно виконувати за критерієм згоди Колмогорова [7].

Використання цього критерію значно спрощує обробку матриць, оскільки виключається обчислення середнього арифметичного, дисперсії та інших статистичних характеристик вибіркового розподілів. Теоретично доведено, що при чисельності вибіркової сукупності більше 25 одиниць граничне значення критерію  $\lambda_m$ , при відповідному порозу довірчої ймовірності, приймає сталі значення, з яким і порівнюється розрахунковий показник:

$$\lambda_p = \left| \sum_{i=0}^p t_i - \sum_{j=0}^p t_j \right|_{\max} \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \cdot P}}, \quad (2)$$

де  $\sum_{i=0}^p t_i$ ,  $\sum_{j=0}^p t_j$  - нагромаджений час по кожній строчці (вершини)

еталонної та дослідної матриць інцидентності;

$i, j$  – кількість вершин ( $P$ ) мережі Петрі.

Запропоновані методи оцінки потребують детального вивчення щодо можливості, доцільності та інформативності їх використання.

*Висновки.* Розроблене ПЗ забезпечує можливість динамічного моделювання МП, які відображають роботу ТК виробництва комбікорму малої продуктивності. Це дозволяє розробити типові структури для модульного технологічного обладнання, що спростить розробку нових технологічних схем та моделювання їх роботи.

ПЗ та функції, які не належать до загальної структури класів, забезпечують можливість тестування сервісних функцій АСУ з метою їх формалізації та удосконалення, визначення характеру повідомлень

при оцінці МП, алгоритму роботи ТК, таймінгу та стаціонарності ТП. При вдалих алгоритмічних рішеннях результати роботи можуть лягти в основу АСУ ТП виробництва комбікорму на комплексах малої продуктивності, яка буде відрізнятись гнучкістю налагодження, високою інформативністю та науковою ємністю.

#### Література

1. АСУ ТП производства комбикормов на базе контроллера Fastwel RTU188-BS [Виктор Букреев, Николай Гусев, Михаил Нечаев, Иван Краснов, Руслан Гурьев, Сергей Кремис]// СТА .- 2006. – №1. - С. 74 – 79. – Режим доступу до журн.: <http://www.cta.ru/Issues/299297.htm>
2. Діордієв В.Т. Автоматизоване проектування електротехнологічного комплексу виробництва комбікорму/ В.Т. Діордієв, А.О. Кашкарьов // Системний аналіз та інформаційні технології: Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції, SAIT-2009, м. Київ, 26-30 травня 2009. – К.: ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2009. – С. 488. – Режим доступу до доповіді: <http://sait.org.ua/eproc/2009/4/s4123.pdf>
3. Діордієв В.Т. Використання мереж Петрі для моделювання технологічного процесу приготування комбікормів / В.Т. Діордієв, А.О. Кашкарьов // Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. – Львів: ЛНАУ, 2008. – №12., Т2. – С. 55 – 61.
4. Діордієв В.Т. Сервісні функції системи управління електротехнологічним комплексом виробництва комбікорму на основі гармонійного аналізу / В.Т. Діордієв, А.О. Кашкарьов // Системний аналіз та інформаційні технології: Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції, SAIT-2010, м. Київ, 25-29 травня 2010. – К.: ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2010. – С. 234. – Режим доступу до доповіді: <http://sait.org.ua/eproc/2010/2>
5. Діордієв В.Т. Спосіб визначення витрати компоненту комбікорму при експлуатації елементів технологічної лінії /В.Т. Діордієв, А.О. Кашкарьов// Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2009. – Вип. 87.– С 50-53. – Режим доступу: <http://nbuv.gov.ua/portal/Natural/Vkhdtusg>
6. Діордієв В.Т. Таймінг датчиків технологічного комплексу виробництва комбікорму як сервісна функція автоматизованої системи управління на базі мереж Петрі /В.Т. Діордієв, А.О. Кашкарьов// „Проблеми сучасної електротехніки-2010”: Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції, ПСЕ-2010, м. Київ, 31 травня - 4 червня 2010 р.. К.: НАН України. – Режим доступу до доповіді: [http://fel.kpi.ua/ppedisc/doc/s5/5\\_8.pdf](http://fel.kpi.ua/ppedisc/doc/s5/5_8.pdf)
7. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений/ А.К. Митропольский. – М.: Физматгиз, 1961. – 480 с.

8. *Кашкаръов А.О.* Основні положення автоматизованого проектування малогабаритних комбікормових установок та систем керування ними / *А.О. Кашкаръов* // Вісник ХНТУСГ Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – Вип. 73. – Том 2. – С. 64 - 66.

9. *Котов В.Е.* Сети Петри/ *В.Е. Котов.* – М.: Наука, 1984. – 160 с.

10. *Скидан Ю.А.* Автоматизация комбикормовых производств [Электронный ресурс]/ *Ю.А. Скидан , Лысогор В.Г., В.С. Данилюк, А.П. Кузнецов*// АПК-Информ – 2002. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.apk-inform.ru/showart.php?id=6367>

11. *Эмексузьян О.* Как мы совершенствовали производство комбикормов / *О. Эмексузьян* // Комбикорма. – 2003. - №2. – С. 23-24.

12. Software and Systems Engineering - High-Level Petri Nets – Transfer format (ISO/IEC 15909-2), June 23, 2005. – p. 54 (University of Paderborn).

## **СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ МАЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

В.Т. Диордиев, А.А. Кашкарёв

***Аннотация*** - предложен метод моделирования технологического комплекса производства комбикормов на основе сетей Петри, программное обеспечение для динамического моделирования его работы и изучения возможности усовершенствования системы управления.

## **TOOLS FOR SIMULATION OF TECHNOLOGIC COMPLEX PRODUCTION MIXED-FODDERS WITH LOW PRODUCTIVITY**

V. Diordiev , A. Kashkarov

### ***Summary***

**Offer the method of modeling technological complex production mixed-fodders on the basis of Petri nets, software for dynamic simulation their work and for explore the possibility of improving the management system.**



УДК 631.3.07:631.17:528.855

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ И ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Кушнарєв А.С., чл. – кор. НААНУ, д.т.н.,

Сербий В.К., асп.

*УкрНИИПИТ им.Л.Погорелого*

Кушнарєв С.А., к.т.н.

*НАТИ НУБИП*

***Аннотация*** - рассмотрена новая возможность применения спутниковой информации в планировании и организации выполнения сельскохозяйственных операций на основе моделирования операционных технологий.

***Ключевые слова*** - операционная технология, операционно-технологическая карта, имитационное моделирование, МТА, МТП, комплекс машин, спутниковая информация, растениеводство.

***Постановка проблемы.*** Организационной основой производства продукции растениеводства является технология.

Технология состоит из системы технологических операций, проектирование которых обеспечивает обоснование как состава Машино-тракторного парка, так и поиск путей снижения затрат на производство конечной с.х. продукции.

В данной работе расчет операционной технологии основан на использовании имитационной модели работы агрегата. Цифровой прототип агрегата составлен по параметрам, хранящимся в базе данных. Проводя симулирование реальности движения цифровой модели МТА по местности, характерной для конкретного хозяйства, берутся высотные точки рельефа из базы данных SRTM3, а недостающие значения точек интерполируются методом ординарного кригинга по опорным точкам.

Анализ последних исследований и публикаций. Разработке новых методик по расчету оптимальной структуры машино-тракторного парка сегодня практически мало уделяется внимания как в Украине так и за рубежом. Появление отдельных статей не несет в себе, каких-либо, серьезных новаторских идей или научной новизны, позволяющие уточнить алгоритмы оптимизации или подбора машино-

тракторних агрегатів. Одной из последних работ в этом направлении является статья Н.П. Копика [2]. Результатом работы программы являются рекомендації в определении параметров агрегата, где под требуемую площать и в рамках агросрока вычисляется оптимальная ширина с.х. машины и требуемая мощность трактора. Для полей нестандартной конфигурации решение не предусмотрено, не учитывается влияние конструктивных характеристик агрегата, рельеф поля в определении его параметров. Созданная модель по сути является всего лишь решением задачи нахождения минимальной ширины агрегата, обеспечивающей наименьшую, но достаточную производительность агрегата для завершения выполнения работы в агросрок.

Результаты исследований. Структурная схема математической модели расчета операционных технологий главным элементом, которой является имитационная модель работы агрегата, выглядит следующим образом.

$$\begin{aligned}
 F_1(\alpha, x, y) &= 0 \\
 F_2(L_k, r, B_{с.х.м.}, B_{mp}, \alpha, x, y, APx, APy) &= 0 \\
 F_3(B, x, y, APx, APy, \alpha, drx, dry) &= 0 \\
 F_4(drx, dry) &= 0 \\
 F_5(L_k, r, B, drx, dry, сх.дв., опх, опу) &= 0 \\
 F_6(drx, dry, опх, опу, БД\_рельеф, БД\_тяг.х-к, БД\_с.х.м) &= 0 \\
 F_7(APx, APy, Q, e) &= 0 \\
 F_8(e, Z, A, TO, TP, E) &= 0 \\
 F_9(E, KM) &= 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $F_1$  – выбор направления движения агрегата;  $F_2$  – построение активной зоны;  $F_3$  – построение рабочего хода;  $F_4$  – построение холостого хода;  $F_5$  – оптимизация рабочих ходов;  $F_6$  – расчет эксплуатационно-технологических показателей;  $F_7$  – расчет приведенного расхода топлива;  $F_8$  – расчет приведенных энергетических затрат;  $F_9$  – ранжирование и составление технологического набора машин по критерию наименьших приведенных затрат;  $\alpha$  – направление движения МТА;  $x, y$  – координаты контуров поля;  $L_k$  – кинематическая длина агрегата;  $r$  – радиус поворота трактора;  $B_{с.х.м.}$  – ширина с.х. машины;  $B_{mp}$  – ширина трактора;  $APx, APy$  – координаты активной зоны;  $drx, dry$  – координаты рабочего хода;  $сх.дв.$  – принятая схема движения;  $опх, опу$  – массива значений координат холостых ходов;  $БД\_рельеф$  – база данных рельефа;  $БД\_тяг.х-к$  – база данных тяговых характеристик тракторов;  $БД\_с.х.м$  – база данных сельхозмашин;  $Q$  – затраты топлива;  $e$  – приведенный расход топлива;  $E$  – приведенные энергетические затраты;  $KM$  – подобранный комплекс машин.

Создание имитационной модели и методология расчета операционно-технологической карты складываются из следующих этапов:

Рассмотрим вкратце эти этапы:

1. Формирование поворотной полосы;
2. Расчет рабочих ходов;
3. Расчет холостых ходов;
4. Интерполяция высотных точек;
5. Алгоритм расчета операционно – технологической карты.

1. Формирование разворотной полосы. Петлевой способ движения включает ряд процедур проведения операции разворота. Первая процедура - агрегат должен полностью выехать за пределы рабочей зоны, т.е. последний рабочий орган агрегата должен находиться на границе конца рабочего хода и начала разворотной полосы, назовем эту процедуру выездом из рабочей зоны, на величину  $L_k$ . Вторая процедура включает в себя два элемента – повороты в разные стороны, что бы в сумме, по оси перпендикулярной к направлению движения, создалось условие обеспечивающее поворот и вхождение в следующую загонку с такими же маневрами. Третья процедура включает в себя поворот на угол  $g$  с радиусом  $r$ , обозначим эту процедуру поворотом, на величину  $C$ .

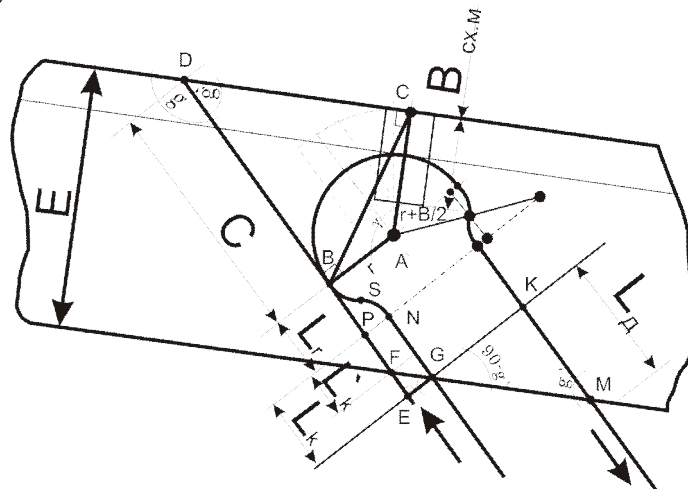


Рис.1. Схема движения агрегата при выполнении петлевого поворота.

Итак, длина разворотной полосы в направлении движения имеет вид:

$$e = C + L_r + L_k \quad (2)$$

Окончательный вид ширина разворотной полосы примет следующий:

$$E = e \cdot \sin(g) \quad (3)$$

После ряда преобразований получим выражение для определения ширины поворотной полосы

$$E = \sin \left( \frac{\pi}{2} - \arccos \left( \frac{r + \frac{B}{2} - r \cdot \cos(\gamma)}{\sqrt{\left(r + \frac{B}{2}\right)^2 + r^2 - 2 \cdot \left(r + \frac{B}{2}\right) \cdot r \cdot \cos(\gamma)}} \right) \right) \cdot \sqrt{\left(r + \frac{B}{2}\right)^2 + r^2 - 2 \cdot \left(r + \frac{B}{2}\right) \cdot r \cdot \cos(\gamma)} + \left( 2 \cdot \sqrt{r^2 - \left(\frac{B}{4} + \frac{r}{2}\right)^2} + L_k - \left(r - \frac{B}{2}\right) \cdot \left| \operatorname{ctg} \left( \frac{\pi}{2} - g \right) \right| \right) \cdot \sin(g) \quad (4)$$

При условии  $\angle g \leq 90 \Rightarrow \angle \gamma = 180 - g$ ,  $\angle g' = \angle g$  .  
 $\angle g > 90 \Rightarrow \angle \gamma = \angle g$ ,  $\angle g' = 180 - \angle g$

Построение активной зоны поля заключается в нахождении разворотных полос для каждой стороны поля (рис.2).

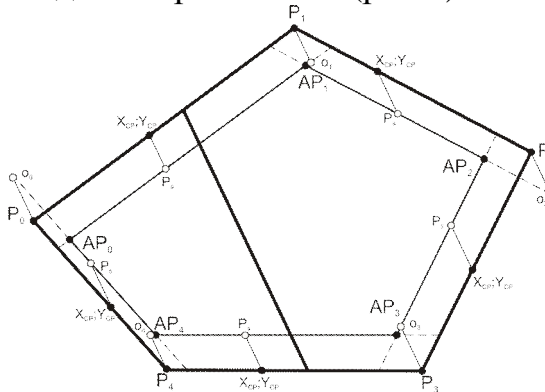


Рис.2. Схема построения активной зоны.

2. Расчет рабочих ходов. Для расчета рабочих ходов, используется следующий алгоритм:

2.1. построить описанный прямоугольник в направлении движения

2.2. произвести расчет координат отрезков, построенных в направлении движения агрегата с шагом равным ширине сагрегатированной с.х. машины, в области описанного прямоугольника.

2.3. произвести отсечение концов отрезков выходящих из зоны рабочей области.

1. Найдем вершины многоугольника, через которые проходят эти опорные прямые. Рассмотрим вектор  $\vec{q}(-n, m)$  единичной длины и перпендикулярный вектору  $\vec{q}$ . Найдем проекции векторов  $\overline{OM_1}, \overline{OM_2}, \dots, \overline{OM_n}$  на вектор  $\vec{q}$ :  $P_n = \overline{OM_n} = -n \cdot x_n + m \cdot y_n$  (рис.3)

Найдем максимальную  $P_n \rightarrow \max(P)$  и минимальную  $P_n \rightarrow \min(P)$  проекции. Через вершины многоугольника проведем опорные линии соответственно  $l_n$  и  $l_l$  в точках  $P_n = P_2(x_n, y_n)$  и  $P_l = P_0(x_l, y_l)$ .

Аналогично найдем проекции векторов  $\overline{OM_1}, \overline{OM_2}, \dots, \overline{OM_n}$  на вектор  $\vec{q}$ :  $P_n = \overline{OM_n} = m \cdot x + n \cdot y$

Найдем наибольшую и наименьшую проекции. Через вершины многоугольника, проведем опорные линии  $l_6$  и  $l_n$ , соответственно в точках  $P_6 = P_1(x_6, y_6)$  и  $P_n = P_3(x_n, y_n)$ .

На пересеченні ліній  $l_d, l_n, l_g, l_h$  образуються точки  $M1, M2, M3, M4$  – вершини описаного прямокутника  $\Pi$ .

Обозначим  $M1 = l_d \cap l_g, M2 = l_n \cap l_g, M3 = l_n \cap l_h, M4 = l_d \cap l_h$ .

Для нахождения их координат  $M_n(x, y)$  воспользуемся следующим выражением:

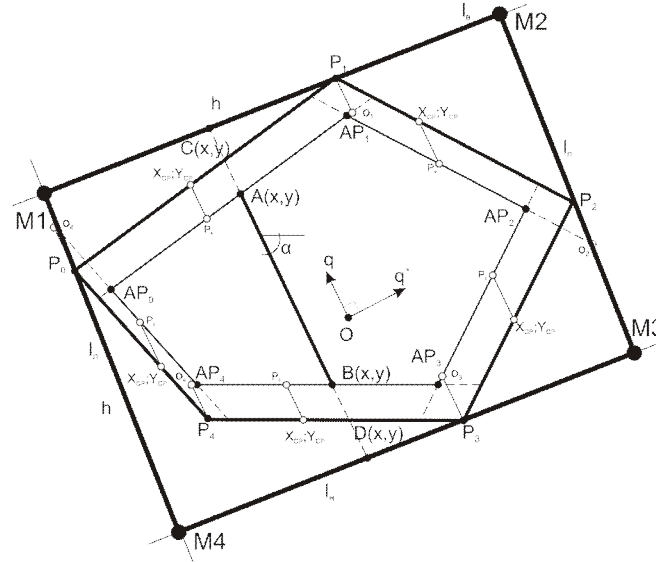


Рис.3. Построение рабочего хода.

Для нахождения их координат  $M_n(x, y)$  воспользуемся следующим выражением [3]:

$$\begin{aligned}
 M1 & (x_B + [(x_d - x_B) \cdot m + (y_d - y_B) \cdot n] \cdot m, y_B + [(x_d - x_B) \cdot m + (y_d - y_B) \cdot n] \cdot n), \\
 M2 & (x_B + [(x_n - x_B) \cdot m + (y_n - y_B) \cdot n] \cdot m, y_B + [(x_n - x_B) \cdot m + (y_n - y_B) \cdot n] \cdot n), \\
 M3 & (x_H + [(x_n - x_H) \cdot m + (y_n - y_H) \cdot n] \cdot m, y_H + [(x_n - x_H) \cdot m + (y_n - y_H) \cdot n] \cdot n), \\
 M4 & (x_H + [(x_d - x_H) \cdot m + (y_d - y_H) \cdot n] \cdot m, y_H + [(x_d - x_H) \cdot m + (y_d - y_H) \cdot n] \cdot n).
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

где  $n = \sin(\alpha), m = \cos(\alpha)$ .

Ширина прямоугольника равна:

Для  $\alpha > 0$

$$w = \sqrt{(x_{M1} - x_{M2})^2 + (y_{M1} - y_{M2})^2} \tag{6}$$

Для  $\alpha \leq 0$

$$w = \sqrt{(x_{M1} - x_{M4})^2 + (y_{M1} - y_{M4})^2} \tag{7}$$

Параметрические уравнения начальных точек по ширине прямоугольника:

Для  $\alpha > 0$

$$x_w = x_{M1} + n \cdot k, y_w = y_{M1} - m \cdot k \tag{8}$$

Для  $\alpha \leq 0$

$$x_w = x_{M1} + n \cdot k, y_w = y_{M1} + m \cdot k \tag{9}$$

где  $k$  изменяется от 0 до  $w$  с шагом  $b$ .

Высота прямоугольника равна:

Для  $\alpha > 0$

$$h = \sqrt{(x_{M1} - x_{M4})^2 + (y_{M1} - y_{M4})^2} \tag{10}$$

Для  $\alpha \leq 0$

$$h = \sqrt{(x_{M1} - x_{M2})^2 + (y_{M1} - y_{M2})^2} \quad (11)$$

Параметрические уравнения конечных точек по ширине прямоугольника:

$$\text{Для } \alpha > 0 \quad x_h = x_w - m \cdot h, \quad y_h = y_w - n \cdot h \quad (12)$$

$$\text{Для } \alpha \leq 0 \quad x_h = x_w + m \cdot h, \quad y_h = y_w - n \cdot h \quad (13)$$

3. Расчет холостых ходов. Этапы формирования траектории холостого хода для беспетлевого способа движения в разворотной полосе рассмотрены ранее при рассмотрении формирования разворотной полосы. Наша задача найти координаты точек всех элементов разворотной фигуры.

Рассмотрим рисунок 4.

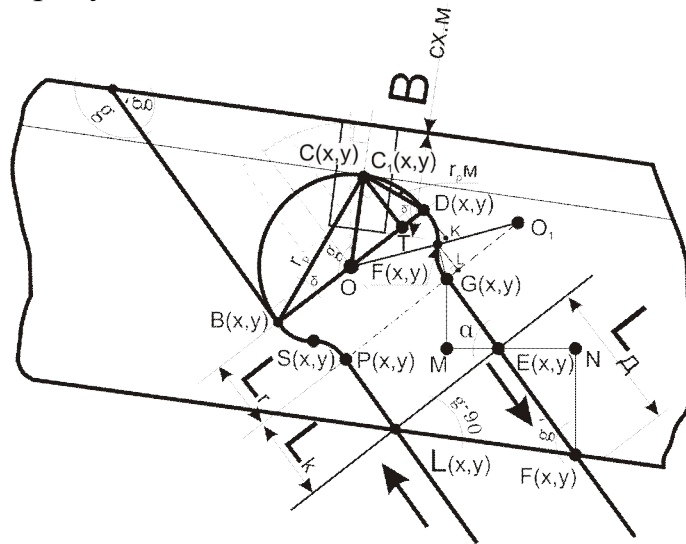


Рис.4. Координаты для петлевого способа движения.

Нам точка  $P(x, y)$  образована, перемещением кинематического центра трактора на значение кинематической длины  $L_k$  за пределы активной зоны. Необходимо определить  $S$  и  $C$

Координаты точки  $S$  определяются как:

$$x = \left( \frac{r-b}{2} \right) \cdot \cos(\alpha') - \left( \sqrt{r^2 - \left( \frac{B}{4} + \frac{r}{2} \right)^2} \right) \cdot \sin(\alpha') \quad (14)$$

$$y = \left( \frac{r-b}{2} \right) \cdot \sin(\alpha') + \left( \sqrt{r^2 - \left( \frac{B}{4} + \frac{r}{2} \right)^2} \right) \cdot \cos(\alpha')$$

Координаты точки  $C$  определяются как:

$$x = 2 \cdot r \cdot \sin^2\left(\frac{g}{2}\right) \cdot \text{ctg}(\delta') \cdot \cos(\alpha') - 2 \cdot r \cdot \sin^2\left(\frac{g}{2}\right) \cdot \sin(\alpha') \quad (15)$$

$$y = 2 \cdot r \cdot \sin^2\left(\frac{g}{2}\right) \cdot \text{ctg}(\delta') \cdot \sin(\alpha') + 2 \cdot r \cdot \sin^2\left(\frac{g}{2}\right) \cdot \cos(\alpha')$$

4. Интерполяция высотных точек. Расход топлива увеличивается на полях с неровной поверхностью. При подъеме на горку, увеличивается сопротивление и падает скорость агрегата, теряется производительность. Требуется правильное маневрирование передачами, что бы выбрать ту передачу, которая позволит работать в оптимальных условиях расход топлива – производительность. Соответственно необходима методика, позволяющая моделировать работу агрегата, которая учитывала бы колебания сопротивления с.х. машины и силы затрачиваемой трактором на самопередвижение. Алгоритм расчета высотных точек методом ординарного кригинга[5]:

#### 4.1. Расчет эмпирической вариограммы

Кригинг, как и большинство способов интерполяции, построен на предположении, что объекты, расположенные поблизости, более похожи друг на друга, чем удаленные друг от друга объекты (это предположение определено как пространственная автокорреляция). Эмпирическая вариограмма – это средство для исследования связей между точками. Пары, расположенные на близком расстоянии, должны иметь меньшую разницу в измеренных значениях, чем те опорные точки, которые удалены друг от друга. То, насколько это предположение верно, может быть изучено по эмпирической вариограмме.

Первый шаг в создании эмпирической вариограммы – вычисление расстояния и квадрата разности между значениями для каждой пары точек [6].

Эмпирическая дисперсия – это половина квадрата разности:

$$\text{Дисперсия} = \frac{1}{2} \cdot (Z_i - Z_j)^2 \quad (16)$$

где  $Z_i, Z_j$  – среднее значение высоты в точке  $i, j$

#### 4.2. Подбор модели

Осуществляется путем подбора линии, которая наилучшим образом проходит через точки на графике эмпирической вариограммы. То есть, мы должны определить линию таким образом, чтобы (взвешенный) квадрат разности между каждой точкой и линией был как можно меньше. Такой способ носит название подбора по методу (взвешенных) наименьших квадратов. Эта линия и будет моделью, количественно определяющей пространственную автокорреляцию в наших данных.

Угловой коэффициент линии регрессии, проходящей через ноль:

$$S = \frac{D - D_{д.с.}}{L_{ср.} - L_{р.с.}} \quad (17)$$

где  $D$  – дисперсия для значений высот опорных точек

$D_{д.с.}$  – усредненная половина квадрата разности между ближайшими соседями

$L_{ср.}$  – среднее расстояние между опорными точками

$L_{p.c.}$  – среднее расстояние к ближайшему соседу

#### 4.3. Создание матрицы значений дисперсий $G$

Угловой коэффициент определяет наклон подобранной прямой. Расстояние – это расстояние между парами точек, оно обозначается как  $l$ . В матрицу заносятся расчетные значения дисперсии для каждой пары точек. Единицы и нули в нижней строке и крайнем правом столбце определены в соответствии с условием несмещенности.

Формула для расчета элементов матрицы:

$$D_{i,j} = S \cdot l_{i,j} \quad (18)$$

$$G = \begin{pmatrix} D_{1,1} & D_{1,2} & \dots & D_{1,j} & 1 \\ D_{2,1} & D_{2,2} & \dots & D_{2,j} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 1 \\ D_{i,1} & D_{i,2} & \dots & D_{i,j} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (19)$$

#### 4.4. Вычисление вектора $g$ для искомой точки

Определяется аналогично. Расстояние определяется от искомой точки ко всем остальным.

$$g = \begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \dots \\ D_i \end{pmatrix} \quad (20)$$

#### 4.5. Расчет вектора весов кригинга

Формула значений матрицы для ординарного кригинга следующая:

$$G \cdot p = g \quad (21)$$

$$p = G^{-1} \cdot g \quad (22)$$

где  $p$  – вектор весов;  $G^{-1}$  – обратная матрица  $G$ .

#### 4.6. Вычисление значения высоты в искомой точке

Общая формула кригинга:

$$Z(M) = \sum_{i=1}^n p_i \cdot Z_i \quad (23)$$

где  $Z(M)$  – высота в искомой точке

$Z_i$  – значение высоты в опорных точках

#### 4.7. Расчет стандартной ошибки кригинга

Дисперсия кригинга:

$$D = \sum_{i=1}^n (g_i \cdot p_i) \quad (24)$$

где  $g_i$  –  $i$ -тое значение вектора дисперсии

$p_i$  –  $i$ -тое значение веса

#### 4.8. Стандартная ошибка:

$$\sigma = \sqrt{D} \quad (25)$$



### 5. Алгоритм расчета операционной технологии.

При построении моделирующего алгоритма в первую очередь выбираем основные операторы для имитации процесса движения, которые должны быть связанные между собой в соответствии с формализованной схемой выполняемого процесса:

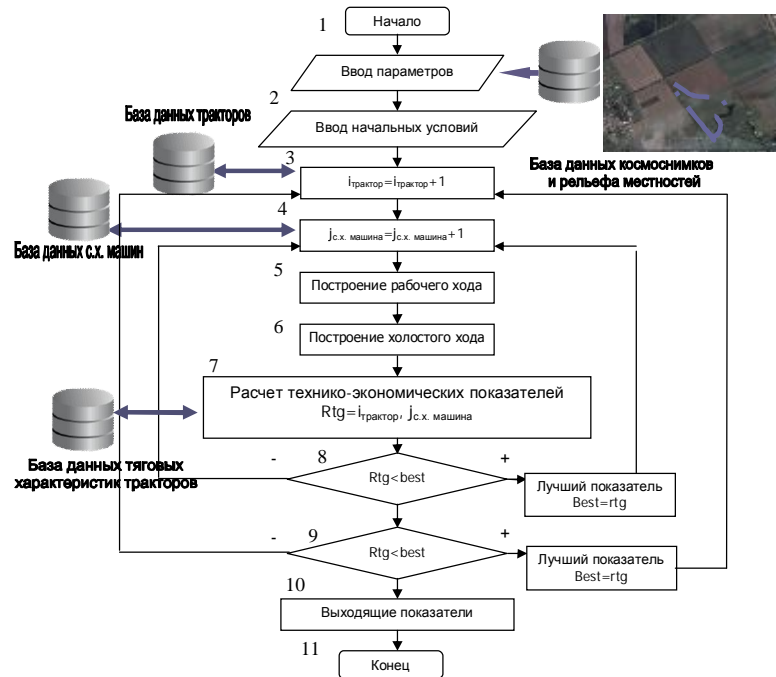


Рис.5. Блок-схема моделирующего алгоритма расчета операционной технологии.

$A_1$  - начало моделирования;  $A_2$  - введение начальных условий (полет, культура, технология);  $A_3$  - счетчик тракторов способных выполнять технологическую операцию за агровиногами;  $A_4$  - счетчик с.х. машин способных выполнять технологическую операцию за агровиногами;  $A_5$  - построение рабочих ходов;  $A_6$  - построение холостых ходов;  $A_7$  - расчет технико-экономических показателей;  $P_8$  - проверка на лучший вариант агрегата по критерию наименьших приведенных энергозатрат среди с.х. машин;  $P_9$  - проверка на лучший вариант агрегата по критерию наименьших приведенных энергозатрат среди тракторов;  $A_{10}$  - исходные показатели.  $A_{11}$  - конец моделирования.

### 6. Алгоритм выбора технологического набора машин

Результат работы программы (рис.8) – операционно-технологическая карта на каждую операцию технологического процесса и подобранный технологический комплекс машин .

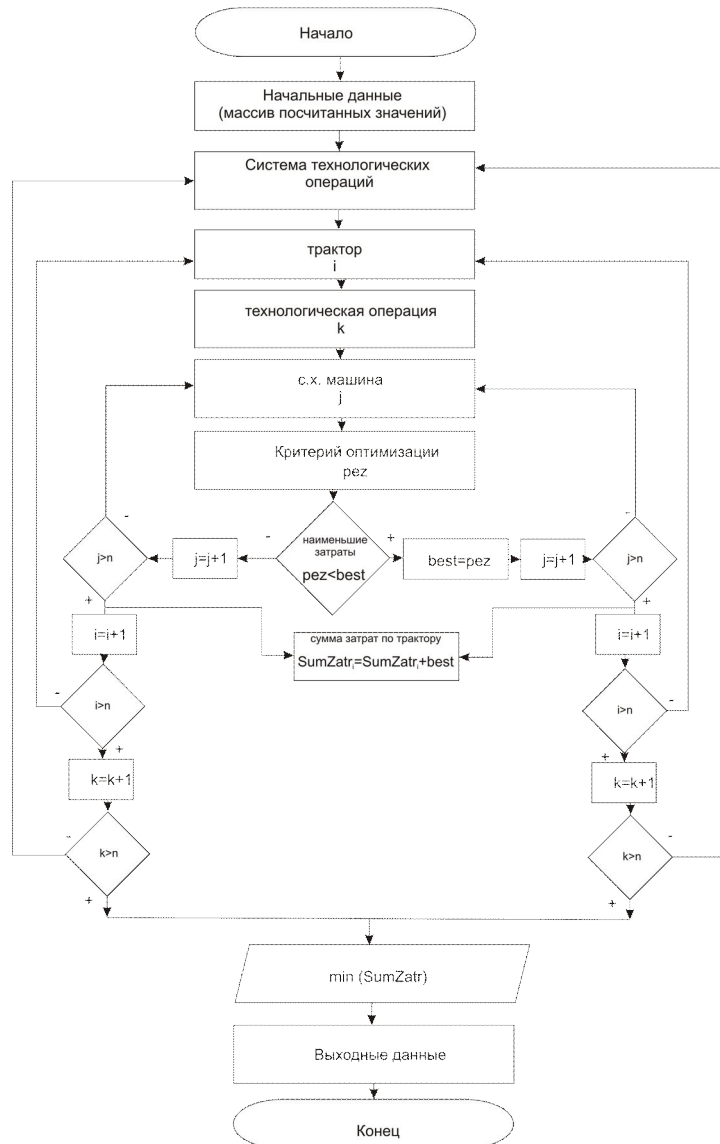


Рис.6. Блок-схема моделирующего алгоритма выбора технологического набора машин.

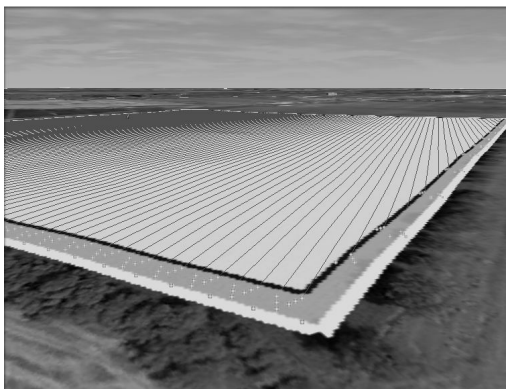


Рис. 7. Внешний вид смоделированной операционной технологии.  
**Выводы.** Определена структурная схема математической модели работы МТА, формализован процесс движения МТА. Разработана ме-

тодика и алгоритмы расчета операционных технологий с использованием имитационной модели работы МТА на основе спутниковой информации, что позволяет оптимизировать структуры МТП. Отличительной особенностью этой методики является применение спутниковых изображений для указания контуров полей и использование информации полученной спутниковой радарной топографической съемкой в качестве рельефа поля.

#### Литература

1. Колесник Г.О. Планування оптимального складу машинотракторного парку / Г.О. Колесник, Л.Н. Піддубна, П.І. Голубенко. – К. : «Урожай», 1977. - 144 с.
2. Материалы 6-й международной научно-практической конференции. Экология и сельскохозяйственная техника, ТОМ II, Санкт-Петербург, 2009.
3. Совертков П.И. Штриховка замкнутого многоугольника. Учебная мастерская /Совертков П.И., Хохлов Д.Н. – 2003, 73-79 с.
4. *Выгодский М.Я.* Справочник по высшей математике/ *М.Я. Выгодский.* - М.: Наука, 1977. – 872 с.
5. ARCGIS 9 Geostatistical analyst.Руководство пользователя – Esri, 2001

### ИМИТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В РОСЛИННИЦТВІ З ВИКОРИСТАННЯМ АЕРОКОСМІЧНОЇ ТА ГЕОДЕЗІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

А.С. Кушнарьов, В.К. Сербій , С.А.Кушнарьов

**Анотація** – у статті розглянута нова можливість застосування спутникової інформації в плануванні та організації виконання сільськогосподарських операцій на підставі моделювання операційних технологій.

### METHOD OF CALCULATION OF OPERATING TECHNOLOGIES ON BASIS OF SIMULATION MODEL OF MOTION OF CTA WITH THE USE OF SATELLITE INFORMATION

A. Kushnarev, S. Kushnarev, V. Serbiy

#### *Summary*

**New possibility of application of satellite information is considered in planning and organization of implementation of agricultural operations on the basis of design of operating technologies.**

УДК 628.511.633.85

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПНЕВМОСЕПАРАТОРА ДЛЯ СЕПАРАЦІЇ РУШАНКИ РИЦИНИ

Дідур В.А., акад.АН ВШУ, д.т.н.,

Чебанов А.Б., інж.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 44-02-74

**Анотація** – в статті запропонована технологічна схема та конструкція пневмосепаратора для сепарації рушанки рицини, конструкція пиловловлюючого пристрою для забезпечення нормованої запиленості робочої зони. Наведені технологічні та конструктивні параметри, від яких залежить робота пневмосепаратора.

**Ключові слова** – рицина, ядро, лушпиння, пил, сепаратор, пиловловлюючий пристрій, горизонтальний канал, вертикальний канал, пилоосаджувальна камера, повітряний потік.

*Постановка проблеми.* При розробці нової технології та технічних засобів необхідними умовами є підвищення питомої продуктивності, зниження енерговитрат та підвищення якості продукції при забезпеченні безпечних умов праці та екологічних вимог до навколишнього середовища.

Стосовно сепарації рушанки насіння рицини необхідними умовами є максимальне якісне розділення рушанки рицини по приймачах та забезпечення гранично-допустимої концентрації пилу рицини в повітрі робочої зони. Тому виникає необхідність вдосконалити процес сепарації, що би забезпечити наведені показники технологічного процесу як того вимагає нормативна документація.

*Аналіз останніх досліджень.* Для розділення суміші будь якого матеріалу використовують різницю у властивостях її окремих компонентів [1,2]: за розмірами; за масою (густиною); за здатністю до електризації (електрофізичні властивості); за пружністю; за опором тертя; за аеродинамічними властивостями. Одним з найважливіших недоліків для всіх способів відносно рушанки рицини є висока травмованість напівзруйнованої ядриці після обрушення насіння внаслідок ударів з робочими поверхнями. Із названих способів який забезпечив би низьку травмованість ядриці є розділення суміші за аеродинамічними властивостями. Всі машини, які забезпечують розділення вихідної суміші частинок у повітря-

ному потоці, можна розподілити на три групи: зернометальники, комбіновані машини та повітряні сепаратори [3,4].

Виконаний аналіз показує, що зернометальні установки різних конструкцій мають високу продуктивність, але при цьому низьку повноту розділення сумішей, значні габарити робочої площадки та не можуть використовуватися при розділенні компонентів олієскладових сумішей. Комбіновані машини передбачають розділення суміші за сукупністю властивостей частинок (розміри, форма, густина, магнітні властивості та ін.), поєднанні з аеродинамічними властивостями, тобто також не задовольняють у зв'язку з високою травмованістю ядриці. Спеціальні зерноочисні сепаратори для очищення зернових сумішей від легких домішок з одночасним сортуванням матеріалу за різницею тільки аеродинамічних властивостей їх компонентів сформованим повітряним потоком розрізняють за розміщенням сепарувальних каналів: з вертикальним, нахиленим і горизонтальним.

Канал, у якому здійснюється сепарація, можна влаштувати у нагнітальному або всмоктувальному каналі вентилятора. Встановлення вентилятора на виході каналу (всмоктувальний канал) є ефективним засобом зменшення викиду частинок суміші та пилу через нещільності. При вертикальному розміщенні каналу необхідне значення швидкості потоку повітря повинно перевищувати критичну швидкість того компоненту, який треба відділити. Збільшення швидкості повітря підвищує продуктивність сепаратора, але це також підвищує й втрати потужності, необхідної для роботи вентилятора. Найбільші можливості зміни параметрів мають горизонтальний та нахилений канали, а саме: регулювати напрям і модуль швидкості надходження суміші до каналу, подачу суміші, подачу повітря.

Порівняльним аналізом горизонтального та нахиленого повітряного каналів виявлено, що габарити останнього значно перевищують. Так як обрушення та сепарація рицини частіше всього проходить на одній машині, то цей факт був визначаючим.

З метою поліпшення ефективності сепарації повітряним потоком доцільно використовувати горизонтальний повітряний канал. Але слід зауважити, що якість сепарації, яка досягається при застосуванні тільки повітряного потоку у будь-якому випадку є нижчою ніж у машинах де застосовується комбінація повітряної і решітної сепарації. Але така комбінація має порівняно низьку продуктивність, збільшену вартість та не може використовуватися для сепарації рушанки рицини внаслідок високої травмованості ядриці. Технологічний процес розділення рушанки рицини супроводжується викидом пилу. Запиленість повітря обслуговуючої робочої зони не повинна перевищувати гранично-допустиму концентрацію (ГДК). ГДК пилу соняшника складає  $4 \text{ мг/м}^3$  [9]. Нормативна документація стосовно ГДК пилу рицини відсу-

тня. Але із-за високої токсичності пилу рицини його ГДК повинно бути меншою ніж ГДК пилу соняшника. Місткість пилу рицини: отруйний білок – рицин (в великій кількості) та алкалоїд середньої токсичності – рицинін. При переробці рицини в повітрі робочої зони, окрім частинок пилу присутній алерген, який є також отруйним.

Згідно [10] гранично допустима концентрація рицини за алергеном в атмосферному повітрі населених міст складає  $0,001 \text{ мг/м}^3$ ; в повітрі робочої зони нормативна документація відсутня [11]. Кількість алергену в насінні рицини складає 0.15 % [13], тобто можливо розрахувати ГДК пилу рицини в атмосферному повітрі населених міст. Але тут неможливо розрахувати ГДК пилу рицини в повітрі робочої зони згідно [11] Тому в процесі досліджень ми будемо прагнути щоб запиленість повітря робочої зони була меншою за ГДК пилу соняшника.

Існуючі конструкції сепараторів не обладнувалися пиловловлюючими пристроями, необхідними для очищення повітря робочої зони від токсичного пилу рицини, який виділяється при технологічному процесі сепарації.

Згідно [5,6] існуючі пиловловлювачі можна розділити в залежності:

- від природи діючих сил: механічні, електричні;
- від середовища дії: сухі, мокрі;
- від фізики діючих сил: інерційні, відцентрові, гравітаційні.

Більш перспективними пиловловлювачами для очищення повітряного потоку є інерційні пиловловлювачі. Вони мають високу ефективність очищення повітря при низькому гідравлічному опорі, не потребують періодичного технічного обслуговування, додаткових витрат енергії, прості у виготовленні та монтажі.

Один із таких пиловловлювачів, конструкція якого запропонована авторами, була використана в технологічній схемі пневмосепаратора рушанки рицини [14]

*Формулювання цілей статті..* Ціллю статті є вдосконалення технологічної схеми та конструкції пневмосепаратора рушанки рицини яка б забезпечила якісну сепарацію при нормованій запиленості повітря робочої зони. Для досягнення поставленої мети авторами обґрунтована технологічна схема та запропонована конструкція пневмосепаратора з пиловловлюючим пристроєм, а також вивчені технологічні та конструктивні параметри від яких залежить ефективність роботи пневмосепаратора.

*Основна частина.* Виходячи із поставлених цілей авторами розроблена технологічна схема та виготовлений лабораторний зразок пневмосепаратора для розділення компонентів рушанки рицини, яка поєднує дві операції: розділення рушанки на ядрицю та лушпиння і пиловловлювання для забезпечення нормованої запиленості робочої

зони (рис. 1).

Сепаратор складається з завантажувального бункеру 2 з регулятором подачі вихідної суміші 3, горизонтального каналу 5. Довжина горизонтального каналу була визначена експериментально і складає  $l=2000\text{мм}$ . Ширина та висота підбрана під вихідний патрубок вентилятора і складає  $b=220\text{мм}$ ,  $h_0=400\text{мм}$ . Кут відкриття заслінки подачі суміші проградуєвано у градусах і змінюється від  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Закрите положення  $\alpha = 0^\circ$  та повністю відкрите положення  $\alpha = 90^\circ$ . Відкриття відбувається вздовж руху повітряного потоку, тобто суміш, яка потрапляє до каналу отримує швидкість під визначеним кутом для більш якісного розділення. Тобто за допомогою цієї заслінки можливо управляти якістю розділення суміші.

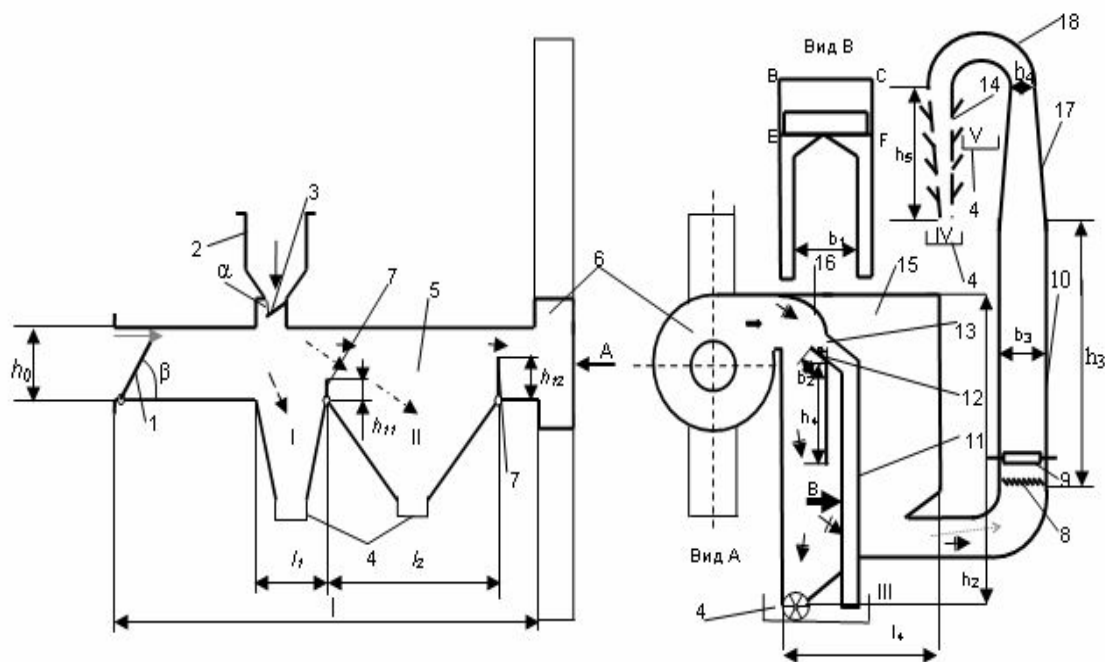


Рис. 1. Конструктивна схема пневмосепаратора рушанки рицини з пилоосаджувальним пристроєм:

- 1 – регулятор подачі повітря;
- 2 – завантажувальний бункер;
- 3 – регулятор подачі вихідної суміші;
- 4 – приймачі сортів I,II,III,IV;
- 5 – горизонтальний канал;
- 6 – вентилятор;
- 7 – перегородки;
- 8 – жалюзі нижні вертикального каналу;

- 9 – жалюзі верхні вертикального каналу;
- 10 – вертикальний канал;
- 11 – рукава відвідні;
- 12 – клапан додатковий;
- 13 – щілина поперечна;
- 14 – інерційний пиловловлювач;
- 15 – пилоосаджувальна камера;
- 16 – криволінійна перегородка;
- 17 – конфузор;
- 18 – фрагмент циклону;

—→ – рух компонентів рушанки рицини;

- - -> – рух ядриці та її січки; - · -> – рух лушпиння;

—→ – рух частинок дрібного лушпиння та пилу;

→ – рух повітряного потоку;

$l_4, h_2$  – відповідно довжина та висота пилоосаджувальної камери, мм;

$h_4$  – висота перегородки в пилоосаджувальній камері, мм;

$b_1$  – ширина між відвідними рукавами, мм;

$b_2$  – ширина додаткового клапану, мм;

$h_3$  – висота вертикального каналу, мм;

$b_3$  – ширина вертикального каналу, мм;

$b_4$  – ширина в кінці конфузору, мм;

$h_5$  – висота інерційного жалюзійного пиловловлювача, мм;

$\beta$  – кут відкриття заслінки подачі повітря, град;

$\alpha$  – кут відкриття заслінки подачі суміші, град.

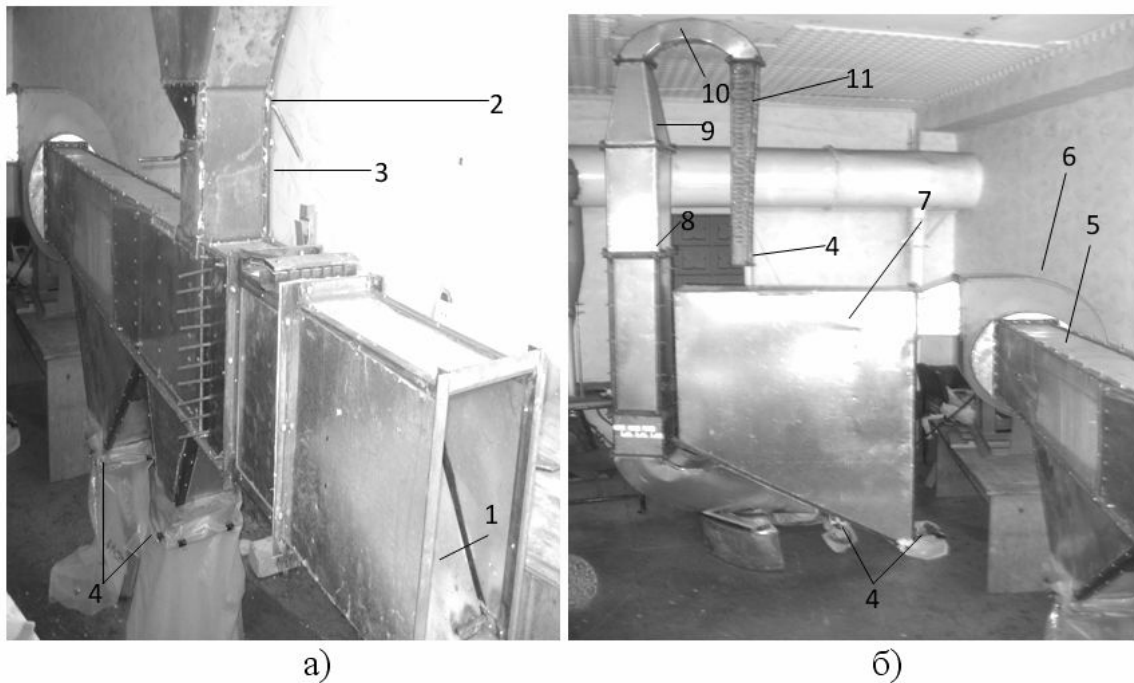


Рис. 2. Лабораторний зразок пневмосепаратора рушанки рицини з пиловловлюючим пристроєм: а – пневмосепаратор; б – пиловловлюючий пристрій;

1 - регулятор подачі повітря;

2 – завантажувальний бункер;

3 – регулятор подачі вихідної суміші;

4 – приймачі сортів I,II,III,IV;

5 – горизонтальний канал;

6 – вентилятор;

7 - пилоосаджувальна камера;

8 – горизонтальний канал;

9 – конфузор;

10 – фрагмент циклону;

11 – інерційний жалюзійний пиловловлювач.



Повітряний потік створюється за допомогою вентилятора 6 і регулюється заслінкою подачі повітря 1. Кут відкриття заслінки проградуєвано у градусах і змінюється від  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Закрите положення  $\beta = 0^\circ$  та повністю відкрите положення  $\beta = 90^\circ$ . Відкриття заслінки відбувається в глибину, так щоб повітря подавалося доверху вертикального каналу. Згідно [7] доцільно мати збільшену швидкість повітря у верхній частині каналу, тобто в тому місці, де суміш потрапляє до каналу. Тобто за допомогою цієї заслінки також можливо управляти якістю розділення суміші. Під корпусом горизонтального каналу встановлені приймачі 4. При цьому в перший приймач попадає ядриця, а в другий лущиння. На визначеній висоті між приймачами знаходяться перегородки 7. Довжина приймачів та висота перегородок при попередньому дослідженні  $l_1=465\text{мм}$ ;  $l_2=1270\text{мм}$ ;  $h_{11}=90\text{мм}$ ;  $h_{12}=240\text{мм}$ . Після вентилятора на деякій відстані встановлений пиловловлюючий пристрій. Він складається з пилоосаджувальної камери 15 з криволінійною перегородкою 16, яка виконана з поперечною щілиною 13, регулюючим додатковим клапаном 12 та відвідними рукавами 11.

Конструкція пилоосаджувальної камери розроблена згідно [12]. Розміри цієї камери підібрані під вихідний патрубок вентилятора. З метою зменшення розмірів розробленої конструкції починаючи знизу пилоосаджувальної камери 15 встановлений вертикальний канал 10.

На початку цього каналу зроблена система жалюзі (верхні 9 та нижні 8) для управління епюрою швидкості повітря по всій висоті каналу. Ділянка бокової стінки корпусу камери та вертикального каналу виконана у вигляді прозорого вікна з оргстекла.

На виході вертикального каналу передбачений конфузур 17. Розмір поперечного перерізу кінця конфузору зменшений в 2 рази в порівнянні із початком цього конфузору. Це є доцільним, тому що дозволить збільшити швидкість повітря на виході з нього. Вихід кінця дифузору складається з двох послідовно розміщених пристроїв: фрагмент циклону 18 та інерційний жалюзійний пиловловлювач 14.

Під пилоосаджувальною камерою 15, відвідними рукавами 11 та після інерційного жалюзійного пиловловлювача встановлені приймачі 4. Робочий процес очищення повітряного потоку в запропонованій конструкції пиловловлюючого пристрою складається з трьох етапів: основний відбір, додатковий та проміжний.

Перший етап: основний потік, що рухається очищується від частинок домішок за рахунок сил інерції і гравітації і виходить між відвідними рукавами 11 з пилоосаджувальної камери 15.

Другий етап: частинки, які не вловилися, попадають до вертикального каналу 10. Під дією сил гравітації частинки будуть осаджуватися у цьому каналі. Частинки, які не вловилися в кінці конфузору набирають швидкість за рахунок зменшення поперечного перерізу та

проходять за рахунок підвищеної швидкості через інерційний пило-вловлювач і попадають до приймача 4. Чисте повітря відводиться через встановлені під кутом жалюзі.

Третій етап: запилений повітряний потік розділяється під дією відцентрової сили виникаючої від криволінійної поверхні перегородки. Шар частинок відсікається від основного потоку додатковим клапаном і попадає в поперечну щілину.

Після цього вловлені частинки за відвідними рукавами направляються в нижню зону камери до приймача 4.

*Висновки.* Запропонована технологічна схема та конструкція пневмосепаратора з пиловловлюючим пристроєм забезпечить найбільш якісне розділення рушанки ріцини та інших сільськогосподарських культур і нормовану концентрацію пилу в повітрі робочої зони. Було доведено, що ефективністю роботи пневмосепаратора можна управляти за допомогою кута відкриття заслінки подачі повітря  $\beta$  та кута відкриття заслінки подачі суміші  $\alpha$ .

Шляхом попередніх досліджень визначені основні конструктивні розміри горизонтального каналу, приймачів I і II, вертикального каналу, пилоосаджувальної камери, конфузору, інерційного жалюзійного пиловловлювача.

#### Література

1. *Акаева Т.К.* Основы химии и технологии получения и переработки жиров: учеб. пособие / *Т.К. Акаева, С.Н. Петрова* // Иваново: ИГХТУ/ Ч.1.Технология получения растительных масел.- 2007.- 124 с.
2. *Технология производства растительных масел / Под ред. С.И. Данильчук.* // М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.- 414 с.
3. *Кожуховский И.Е.* Зерноочистительные машины / *И.Е. Кожуховский.* // М. Машиностроение, 1974.- 200 с.
4. *Гортинский В.В.* Процессы сепарации на зерноперерабатывающих предприятиях / *В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин* // 2-е изд, перераб. и доп.- М.: Колос, 1980.- 304 с.
5. *Батулин В.В.* Промышленная вентиляция / *В.В. Батулин* // М.: Гос. изд-во строит. лит., 1948.- 302 с.
6. *Идельчик Е.И.* Аэрогидродинамика технологических аппаратов. Подвод, отвод и распределение потока по сечению. аппаратов / *Е.И. Идельчик.* - М.: Машиностроение, 1983.- 351 с.
7. *Абдуев М.М.* Обґрунтування параметрів сепаратора з нахиленим повітряним каналом для розділення зернових сумішей: автореф. дис...канд. техн. наук: 05.05.11 / *М.М. Абдуев.* - Харків, 2007.- 21 с.
8. *Дідур В.А.* Методика визначення концентрації пилу в повітрі робочої зони при обрушенні насіння ріцини / *В.А. Дідур, А.Б. Чебанов*

// Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.- Мелітополь, 2009.- Вип.1, т.2.- С. 169-175.

9. Измерение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны: метод. указания.- М. : Информац.- издат. центр Минздрава России,1998.- 35 с.

10. ГН 2.1.6.695-98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест.- Введен 29.04.1998.

11.МУК 4.1.193-96. Методы контроля. Химические факторы: метод. указания по измерению концентраций аллергена клещевины в воздухе рабочей зоны.- Введен 08.06.1996.

12.*Харченко С.А.* Обоснование параметров процессов очистки воздушного потока пылеосадочной камерой виброцентробежных зерновых сепараторов: автореф. дис...канд. техн. наук : 05.05.11/ *С.А. Харченко*// ХНТУСХ им. П. Василенко. – Харьков,2007.- 22 с.

13.*Дідур В.А.* Рицина – унікальна олійна культура/ *В.А. Дідур., О.О. Троїцька* // Хімія агрохімія сервис. – 04.2010. – с.54-59.

14.Заявка № И201010090, Україна, МПК (2008) В01Д45100. Пилловловлювач аеродинамічної сепарації сипких матеріалів, в тому числі і рушанки рицини, / *В.А. Дідур, А.Б. Чебанов* (Україна). - заявлено 16.08.10. Позитивне рішення.

## **ПНЕВМОСЕПАРАТОР ДЛЯ СЕПАРАЦИИ РУШАНКИ КЛЕЩЕВИНЫ**

*В.А. Дідур, А.Б. Чебанов*

**Аннотация** – в статье предложена конструкция и технологическая схема пневмосепаратора для сепарации рушанки клещевины, конструкция пылеулавливающего устройства для обеспечения нормированной запыленности рабочей зоны. Приведены технологические и конструктивные параметры, от которых зависит работа пневмосепаратора.

## **THE AIR SEPARATION FOR THE CASTOR**

*V. Didur, A. Chebanov*

### **Summary**

**In the article the structure and scheme of the air separation of castor, construction dust collectors for the normalized dust working area. The following technological and design parameters that affect the work of the air separation.**

УДК 631.3.004

## ОПИСАННЯ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ МАШИН

Посвятенко Е.К., д.т.н.,

*Національний транспортний університет*

Сушко О.В., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (06192) 42-13-54

**Анотація** – в статті зроблений огляд та описання імітаційних моделей, які використовуються для дослідження системи технічного обслуговування та ремонту сільськогосподарських машин і їх складових частин з метою подальшої розробки імітаційної моделі та прогнозування ресурсу двигунів, працюючих на біопаливі.

**Ключові слова** – імітаційні моделі, прогнозування, параметр, ресурс, методи побудови моделей прогнозування.

*Постановка проблеми.* При рішенні енергетичної та продовольчої безпеки багатьох країн (у тому числі й України) суттєву роль у сучасний час відіграє біоенергетика. Виробництво біодизельного палива та все більше його використання для мобільної техніки вимагає більш детального вивчення процесів, які відбуваються при роботі двигунів на біопаливі, особливостей впливу його на роботу та зношуваність деталей та вузлів, а також на питання прогнозування ресурсу біодизелів і в цілому мобільної техніки, яка працює на біодизелях.

*Аналіз останніх досліджень.* Визначення техніко-економічних характеристик практичного застосування будь-якої стратегії постановки машин в ремонт може бути здійснено декількома шляхами. Найбільш достовірним, вочевидь, є прямий натурний експеримент. Однак, в реальних умовах експлуатації сільськогосподарської техніки такий експеримент у повному обсязі провести дуже складно, так як для цього знадобиться час, порівняний зі строком служби тракторів, та значні витрати на збирання усієї необхідної первинної інформації по відмовам та витратам на ремонт.

Є й принципове обмеження: в умовах реального сільськогосподарського виробництва неможливо отримати «чисту» стратегію призначення ремонту, тому що внаслідок впливу багатьох різноманітних

факторів завжди фактично має місце змішана дисципліна обслуговування ремонтними роботами. Можливий інший шлях вирішення вказаної задачі – аналітичний.

Для визначення техніко-економічних характеристик стратегії ремонту за фактичним станом необхідно здійснити усереднення як за множиною різних технічних станів кожного агрегату, так і за множиною машин та їх складових частин, що вимагає використовувати апарат багатократних інтегралів. Записати їх у вигляді елементарних функцій не завжди вдається, тому доводиться вести розрахунки численними методами, серед яких найбільш доступним і зручним є метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло).

У такому разі доцільніше використовувати цей метод для побудови імітаційної моделі, в якій наводяться як процеси зміни технічного стану агрегатів та вузлів машини за весь строк служби, так і процес обслуговування її ремонтними роботами згідно зі стратегією, яку необхідно перевірити.

*Формулювання цілей статті.* Метою роботи є аналіз методів та імітаційних моделей, які використовуються для дослідження системи технічного обслуговування та ремонту сільськогосподарських машин та їх складових частин з метою побудови імітаційної моделі процесу технічної експлуатації мобільної техніки, яка працює на біопаливі.

*Основна частина.* Отже, метод Монте-Карло є апаратом, який найбільш підходить для дослідження техніко-економічної ефективності будь якої дисципліни постановки машини в ремонт та порівняння різних стратегій між собою.

Вже довгий час метод статистичних випробувань на ЕОМ широко використовується в інженерній практиці для рішення різноманітних задач, які не вдається виконати іншими способами [1].

Основна перевага методу, як вважає Н.П.Бусленко [2], полягає в можливості врахування багатьох випадкових факторів, характерних для більшості реальних складних систем. Багато дослідників, у тому числі і закордонні [3, 4, 5], використовують цей потужний апарат для оптимізації системи технічного обслуговування та ремонту.

Однак методу статистичного моделювання притаманні й деякі недоліки. Важливіший з них – відсутність універсальності, тобто для кожної конкретної задачі звичайно приходиться розробляти як схему алгоритму, так і програму, яка її реалізує. Розглянемо основні відомі моделі.

В [6] розроблена імітаційна модель, у якій досить детально наводяться етапи обслуговування машин ремонтними роботами. Однак, в цій роботі етап діагностування враховується шляхом розглядання величини ресурсу агрегату на підставі відомої функції його розподілу, а процес зміни діагностичного параметра при цьому не моделюється.

Крім того, у розглянутій моделі не забезпечена можливість відтворити попереджувальний ремонт або додаткове діагностування агрегату при закінченні призначеного йому залишкового ресурсу.

Вказані фактори не дозволяють використовувати розглянуту модель для вирішення задач визначення залишкового ресурсу та виду ремонту агрегату чи трактора.

В роботах [3,7,8] метод статистичних випробувань використаний для оптимізації припустимих відхилень параметрів технічного стану та відповідних значень міжконтрольного напрацювання. В цих моделях наведений випадковий процес зміни діагностичного параметру за формулою:

$$u_{ij} = V_i \left( \sum_{j=1}^m t_{ij} \right)^\alpha + Z_{ij}, \quad (1)$$

де  $u_{ij}$  – зміна діагностичного параметра у  $i$ -тій реалізації  
 $(i = \overline{1, N})$  в  $j$ -тий момент контролю  $(j = \overline{1, m})$ ;

$V_i$  – показник швидкості зміни параметру  $i$ -тої реалізації;

$t_{ij}$  – напрацювання протягом  $j$ -го міжконтрольного інтервалу;

$Z_{ij}$  – відхилення параметру від гладкої кривої.

У залежності від задач дослідження випадковими величинами тут є змінні  $V_i$ ,  $t_{ij}$ ,  $Z_{ij}$ . Наведення випадкової величини  $V_i$  здійснюється чи на підставі функції її розподілу [7], чи на основі функції розподілу ресурсів по параметру [8].

Останній варіант є більш зручним, так як при обробці статистичного матеріалу отримують частіш за все показники насамперед цього розподілу – середній ресурс по параметру, його коефіцієнт варіації та іноді показник зсуву. В [7,8] випадковий процес  $Z(t)$  наводиться як випадкова величина  $Z_{ij}$  в момент  $t_{ij}$  на підставі нормальної функції розподілу з наступними характеристиками:

$$M[Z(t)] = 0; \quad D[Z(t)] = \sigma_z^2; \quad K[Z(t_1), Z(t_2)] = 0. \quad (2)$$

У зв'язку з цим при моделюванні зростаючого процесу досить часто виникають ситуації, коли наступне значення параметра менше попереднього, оскільки величини  $Z_{ij}$ ,  $Z_{ij+1}$  ніяк не пов'язані між собою. Щоб процес зношування був монотонно неубутним, в [8] уведений штучний прийом: в процесі статистичного моделювання використовують тільки значення  $Z_{ij}$ , які забезпечують виконання вказаної вимоги. Однак, значно більш доцільним є застосування алгоритму наведення корельованих випадкових величин, який наведений у фундаментальній роботі [1].

Приблизно аналогічна модель використана в [9]. До недавнього часу вельми складною задачею було отримання великих масивів випадкових чисел. У теперішній час найдоступнішим методом є використання спеціальних програм, які забезпечують отримання послідовності псевдовипадкових чисел заданої довжини. Наприклад, апробована програма розрахунку рівномірно розподілених випадкових чисел наведена в [10].

*Висновки.* Короткий аналіз відомих імітаційних моделей показав необхідність розробки спеціальної моделі для вирішення задач даного дослідження. При цьому слід врахувати ряд досягнень та методів, які наведені в роботах [6, 8, 9].

#### Література

1. *Бусленко Н.П.* Метод статистических испытаний // *Бусленко Н.П., Шрейдер Ю.А.* – М.: Физматгиз, 1961. – 226 с.
2. *Бусленко Н.П.* Моделирование сложных систем // *Н.П. Бусленко* – М.: Наука, 1968. – 356 с.
3. *Гольтшальк Е., Кубайн И.* Применение метода Монте - Карло для определения оптимальной стратегии ремонта. Перевод с нем. № 2947/ – М.: ОНТИ ГОСНИТИ, 1972. – 18 с.
4. *Новотный Ф.* Математическое моделирование процесса выхода из строя тракторов. Перевод с чешск. – М.: 1979.- 31 с.
5. *Kimamoto H., Tanaka K., Jnoie K., Henley E.* Dagger-sampling Monte-Carlo for System Unavailability Evaluation. – IEEE «Transactions of Reliability», 1980, A-29, №2, p. 122-125.
6. *Богатов О.А., Гальперин А.С., Либов Л.С., Шишков И.В.* Определение потребности в ремонте при различных стратегиях его проведения //Труды ГОСНИТИ/ *Богатов О.А., Гальперин А.С., Либов Л.С., Шишков И.В.*, 1974. – т.39. – с. 30-39.
7. *Сельцер А.А.* Прогнозирование безотказности и определение допустимых изменений параметров состояния элементов тракторов. Дис. канд. техн. наук. – М.: 1975. – 204 с.
8. *Зайцев С.Д.* Дослідження впливу основних факторів режимів регулювання на показники ремонтпридатності машин (на прикладі тракторів ДТ-75, ДТ-75М, МТЗ-80 та МТЗ-82). Автореф. дис. канд. техн. наук. – М.: 1990. – 22с.
9. *Сушко О.В.* Підвищення ефективності ремонту дизелів транспортних засобів оптимізацією ремонтно-обслуговуючих дій. Дис. канд. техн. наук. – К.: 2007. – 167с.
10. Збірник наукових програм для ЕОМ. Статистика. – К.: Статистика, 2002. – Вип.1. – 315 с.

**ОПИСАНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ,  
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ  
ТО И РЕМОНТА МАШИН**

Е.К. Посвятенко, О. Сушко

*Аннотация* – в статье представлен обзор и описание имитационных моделей, используемых для исследования системы технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственных машин и их агрегатов с целью дальнейшей разработки имитационной модели и прогнозирования ресурса двигателей, работающих на биотопливе.

**DESCRIPTION OF SIMULATION MODEL USED FOR THE SYSTEM  
TO STUDY AND REPAIR OF MACHINES**

E. Posviatenko, O. Sushko

*Summary*

The article provides an overview and description of the simulation models used to study the system of maintenance and repair of agricultural machinery and their units in order to further develop the simulation model and predict resource engines running on bio-fuels.



УДК 636.081

## СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЛЕКЦИОННО-ПЛЕМЕННОЙ РАБОТЫ НА МОЛОЧНОЙ ФЕРМЕ

Красниченко А.Л., д.т.н., чл.-кор. НААНУ,

Горобей В.П., к.т.н.,

Безносков В.И., інж.

НПО «Селта» ННЦ «ИМЭСХ»:

Тел. (0652)27-49-69

**Аннотация** - приведена система описания технологического процесса селекционной работы на молочной ферме по разработанной методике. Изложена структурно-алгоритмическая модель управления селекционной работой в диалоговом режиме «Селекционер - ПК» для прогнозирования результатов, принимаемых решений селекционером. Модель может быть использована для обоснования исходных требований на разработку новых технических средств и приборов.

**Ключевые слова** - технологическая операция, производственный процесс, персональный компьютер, моделирование, методика, база знаний, селекция, параметры.

**Постановка проблемы.** В последнее время в развитии животноводства появились новые факторы, связанные не только с повышением требований к количеству и качеству продукции, но и с ростом производительности труда. Производительность труда становится важным фактором наращивания производства.

Указанное обстоятельство предъявляет новые требования к масштабам использования и техническому уровню автоматизации технологических процессов в животноводстве, обеспечению надежности автоматизированных систем, их точности и быстродействия, экономичности и эффективности функционирования. Следует отметить, что техническая база производства молока достигла к настоящему времени такого уровня развития, при котором эффективность технологических процессов в животноводстве непосредственно зависит от качества управления этими процессами, решения которых без применения компьютера в большинстве случаев невозможно.

*Анализ последних исследований.* Существующая технология съема информации о ходе селекционно-племенного процесса и управление им крайне трудоемки. Находящиеся в распоряжении зоотехников-селекционеров технические средства не позволяют снизить трудоемкость процесса, оперативно учитывать технологические параметры и управлять селекционной работой [1-5].

*Формулирование целей статьи.* Получение исходных требований на разработку технических средств и приборов для селекционно-племенной работы на молочной ферме путем структурно-алгоритмического моделирования производственного процесса работы селекционера и разработка системы управления процессом селекции в диалоговом режиме «Селекционер - ПК».

*Основная часть.* При выборе методов решения задач, связанных с реализацией системы управления технологическими процессами, существенными факторами являются конкретные условия работы и уровень используемых технических средств. Однако здесь возникает и ряд сопутствующих проблем:

- необходимость исследования существующих систем сбора и обработки информации;
- системный анализ информационных потоков;
- исследование необходимости разработки новых программных и технологических систем обеспечения селекционной работы;
- изучение методов контроля информации о ходе технологического процесса, отображении и оперативном использовании селекционером.

В настоящее время для организации селекционно-племенной работы зоотехник-селекционер в основном получает необходимую информацию о каждом животном из определенных форм первичного зоотехнического, основного зоотехнического и селекционно-племенного учета, применяемых на молочных фермах.

Для заполнения соответствующих документов и форм первичного, основного и селекционно-племенного учета требуется каждодневная работа всего обслуживающего персонала молочной фермы.

Новизна предлагаемого научного подхода состоит в том, что предлагаются современные методы и средства достижения цели, создания модели производственного процесса (ПП) на молочной ферме по параметрам селекционной работы. Предлагаемая система моделирования на ПК через базу знаний (БЗ) селекционера молочной фермы крупного рогатого скота (КРС) и проведение исследований по структурно-алгоритмической модели повышает эффективность селекционного процесса и дает возможность получения исходных данных для разработки новых приборов и комплексов технических средств (КТС) для селекционной работы на молочной ферме.

В процессе выполнения исследований были решены следующие задачи:

- разработана система описания технологического процесса (ТП) работы селекционера по специальным табличным формам;
- разработана методика сбора основных технологических параметров и порядок описания действий селекционера(модель).

Приведен пример теоретического описания технологической операции (ТО) производственного процесса (ПП) и разработана структурная схема, представленная на рис.1.

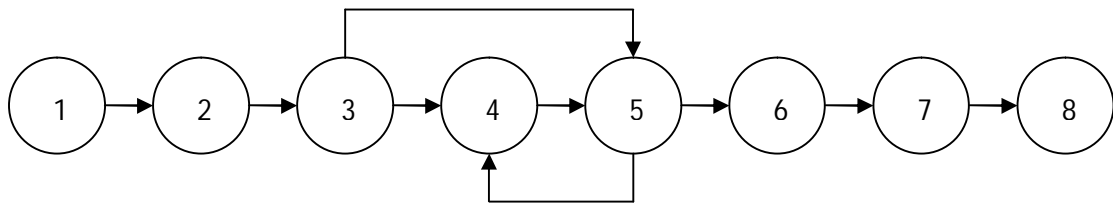


Рис. 1. Структурная схема этапов моделирования ПП селекционера.

1. Создать теоретическое описание ПП селекционера на молочной ферме КРС.
2. Разработать структурно-функциональную схему ПП.
3. Разработать методику и формы представления информации.
4. Разработать специальное программное обеспечение (СПО) для обработки форм описания ТП на ПК.
5. Провести пооперационное параметрическое описание ТП селекционера.
6. Провести обработку форм (разработаны 4-ре основных) описания ТП селекционера на ПК, создать БЗ селекционера.
7. Обработать БЗ селекционера, получить данные для СПО.
8. Доработать СПО для обеспечения целей сформулированных в задачах селекционной работы путем обработки БЗ на ПК.

В связи с вышеизложенным, становится очевидно, что эффективность работы селекционера можно повысить при выполнении еще одного очень важного (обязательного) шага – разработке специального программного обеспечения ПК для ввода и контроля информации о протекании селекционного процесса.

Имея возможность описания ТП селекционера на молочной ферме КРС табличными формами, мы создали на основе теоретического описания технологии процесса селекции структурно-алгоритмическую модель получения и обработки технологических параметров для достижения планируемых результатов.

Отрабатывая программы пользователя на примере пооперационного параметрического описания ТП селекционера мы смогли создать базовый набор программ для описания и обработки реального ТП селекционера на ферме КРС.

В результате, полученных закономерностей описания реального технологического процесса селекционной работы получена возможность оптимизации управления селекцией на молочной ферме и получения исходных данных на недостающие приборы и технические средства.

*Выводы.* Существующая в Украине традиционная система сопровождения и управления селекционным процессом на молочной ферме КРС трудоемка и неоперативна.

Для обоснования параметров технических средств нового поколения, позволяющих оперативно управлять технологическим процессом селекции на молочной ферме предложен метод теоретического исследования, заключающийся в создании структурно-алгоритмической модели.

Разработана методика пооперационного параметрического описания технологических процессов на молочной ферме при селекционно-племенной работе, позволяющая создать формализованную компьютерную модель, осуществлять по этой модели управление технологическим процессом на молочной ферме в диалоговом режиме «Селекционер - ПК» для прогнозирования результатов принимаемых селекционером решений.

Разработано программное обеспечение ввода, контроля и корректировки технологических данных и формирования базы знаний селекционера.

#### Литература

1 Карликова Г.Г. Совершенствование учета молочной продуктивности / Г.Г. Карликова, А.З. Канев // Зоотехния, 2005, №9. – С.24-28.

2 Бащенко М.И. Модельный тип молочной коровы / М.И. Бащенко // Зоотехния, 2005.-№3.-С.15-18.

3 Сидорова В.Ю. Информационные технологии в животноводстве / В.Ю. Сидорова // Зоотехния, 2005.-№3. С.18-21.

4 Беляева Л.Г. Оценка качественных составляющих молочного стада / Л.Г. Беляева, Л.Н. Демидова // Зоотехния, 2005.-№1.-С.22-24.

5 Фенченко Н.И. Влияние различных факторов на молочную продуктивность/Н.И.Фенченко // Молочное и мясное скотоводство,2005.-№5.-С.7-9.

## **СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СЕЛЕКЦІЙНО-ПЛЕМІННОЇ РОБОТИ НА МОЛОЧНІЙ ФЕРМІ**

А.Л. Красніченко, В.П. Горобей, В.І. Безносів

*Анотація* - Приведена система опису технологічного процесу селекційної роботи на молочній фермі по розробленій методиці. Викладена структурно-алгоритмічна модель управління селекційною роботою в діалоговому режимі «Селекціонер - ПК» для прогнозування результатів, ухвалюваних рішень селекціонером.

Модель може бути використана для обґрунтування початкових вимог на розробку нових технічних засобів і приладів.

## **STRUCTURAL AND ALGORITHMIC MODELING OF BREEDING WORK ON A DAIRY FARM**

A. Krasnichenko, V. Gorobey, V. Beznosov

### *Summary*

The system of description of the technological process of breeding work on a dairy farm is given according to worked out method. Structural and algorithmic simulation of the management of the breeding work is stated as dialog mode "A breeder - PC" for the results prognostication of decisions which may be made by a breeder. This model may be used as ground of the basic requirements to design new technical facilities and devises.

УДК 631.33.02

## НОВА КОНСТРУКЦІЯ ПНЕВМАТИЧНОГО ВИСІВНОГО АПАРАТУ НАДЛИШКОВОГО ТИСКУ

Петренко М.М., к.т.н.,

Васильковський М.І., к.т.н.,

Васильковська К.В.

*Кіровоградський національний технічний університет*

Тел. (0522) 390-472, 390-467

**Анотація** – для підвищення ефективності посіву просапних культур запропоновано новий пневмомеханічний висівний апарат надлишкового тиску, головною особливістю якого є застосування комірчастого диска зі спеціальними виступами на робочій поверхні. Це дозволяє значно збільшити швидкість його обертання диску і продуктивність висіву при збереженні високої якості заповнення комірок.

**Ключові слова** – пневмомеханічний висівний апарат, надлишковий тиск, комірчастий диск, накладка

*Постановка проблеми.* Провідна роль в отриманні високих врожаїв просапних культур належить якості їх висіву в оптимальні агротехнічні строки, що вимагає від господарств мати високопродуктивну та надійну посівну техніку, яка б дозволяла забезпечити високоякісний посів в оптимальні агростроки [1, 2].

*Аналіз останніх досліджень.* На основі аналізу результатів роботи пневмомеханічних висівних апаратів було встановлено ряд характерних недоліків [3]:

- недостатня продуктивність і універсальність механічних висівних апаратів;
- високе конструктивне розташування відносно дна борозни пневмомеханічних висівних апаратів барабанного типу;
- підвищення нерівномірності висіву насіння при збільшенні частоти обертання диска вакуумними пневмомеханічними висівними апаратами.

*Формулювання цілей статті.* Метою роботи є обґрунтування принципової схеми пневмомеханічного висівного апарату надлишкового тиску для забезпечення якісного висіву насіння просапних культур при високих швидкостях обертання висівного диску.

*Основна частина.* З метою підвищення ефективності посіву просапних культур на кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету було розроблено і виготовлено оригінальний дослідний зразок пневмомеханічного висівного апарата надлишкового тиску [4, 5]. Головною особливістю нового висівного апарату є застосування надлишкового тиску повітря в робочій камери та оригінального висівного диску зі спеціальними виступами на робочій поверхні, які розміщені на його периферії позаду кожної комірки (рис. 1). Така конструкція апарата дозволяє значно збільшити робочу швидкість обертання його диска та підвищити продуктивність висіву при забезпеченні високої якості заповнення комірок та рівномірності розподілу насіння в борозні.

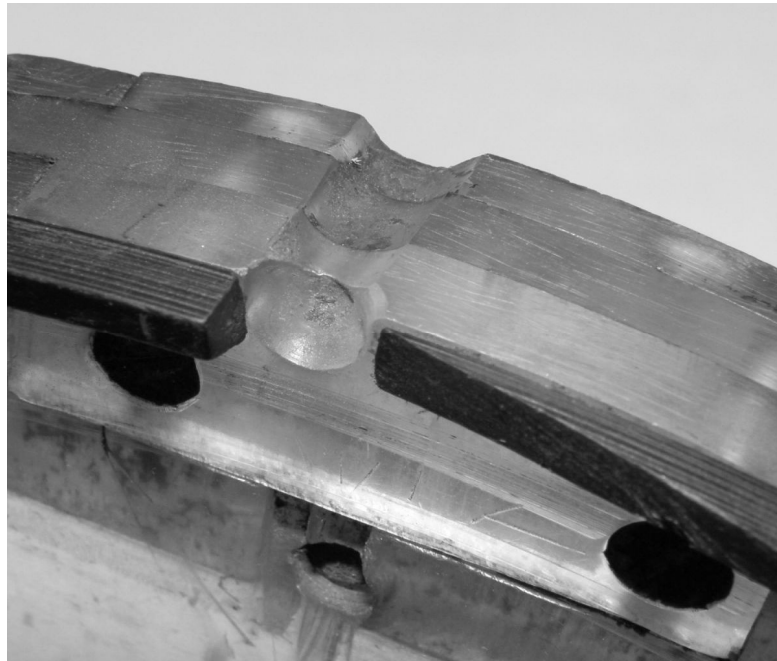


Рис. 1. Фрагмент висівного диску дослідного пневмомеханічного висівного апарата.

Дослідний висівний апарат (рис. 2), має бункер 1 для насіння, корпус 2 з робочою камерою 3, з вільного торцю якої на валу привода 8 встановлено висівний диск 6 з комірками 7 на його периферії, позаду кожної з них з внутрішнього боку виконано виступи 13.

Бункер 1 для насіння герметично зачиняється кришкою і з'єднується з робочою камерою 3 за допомогою живильного каналу 10, по якому насіння поступає до неї в зону заповнення диска .

Робоча камера 3 являє собою порожнину 11 циліндричної форми, до якої по дотичній розміщено канал 5 для виведення (скидання) насіння з висівного диску 6, а в верхній частині корпусу 2 розміщено сопло 4 для подачі повітря в робочу камеру 3 під надлишковим тис-

ком. В корпусі 2 біля висівного диску 6 в бік робочої камери 3 виконано спеціальну порожнину 11 для видалення зайвого насіння, що має робочу поверхню 12, розташовану поблизу зони руху комірок 7, яка поступово віддаляється від внутрішнього торця висівного диску 6 в бік робочої камери 3 так, щоб унеможливити защемлення і пошкодження зайвого насіння при його видаленні з висівного диску 6. З зовнішнього боку порожнина 11 закрита накладкою (кришкою) 14 та має радіальну щілину 15, що її з'єднує з атмосферою для покращення відокремлення зайвого насіння з висівного диску.

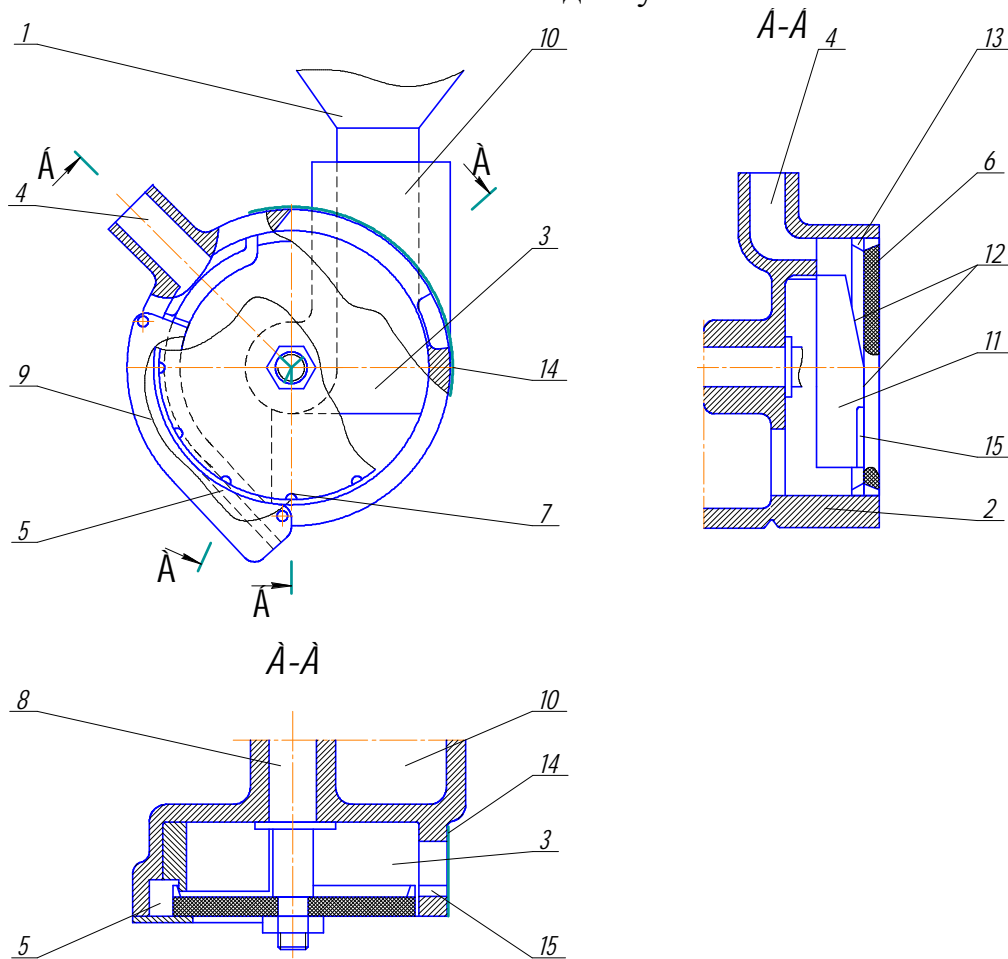


Рис. 2. Схема дослідного пневмомеханічного висівного апарата надлишкового тиску конструкції КНТУ.

1-бункер; 2- корпус; 3-робоча камера; 4-сопло; 5-канал виведення насіння; 6- висівний диск; 7-комірка; 8-вал приводу; 9-накладка; 10-живильний канал; 11-порожнина зайвого насіння; 12-робочий край порожнини; 13-виступи висівного диска; 14- накладка (кришка порожнини); 15- регульована щілина.

Технологічний процес роботи висівного апарату наступний. Насіння з бункера 1 по живильному каналу 10 поступає в робочу камеру 3 в зону заповнення висівного диска.



Одночасно через сопло 4 в робочу камеру 3 надходить повітря, яке створює в ній надлишковий тиск, необхідний для подачі насіння до комірок і його утримання в них (рис.3). Під час обертання висівного диску 6, насіння, що знаходиться біля нього в зоні заповнення, захоплюється виступами 13, а повітрям притискається до його комірок 7 і виносяться з зони заповнення до гори в бік порожнини 11 та сопла 4. При цьому, об'єм і глибина комірок дозволяють западати до них лише по одній насінині, яка притискається до неї надлишковим тиском і рухається в ній. Решта ( зайве) насіння, що не потрапило до комірок 7 видаляється з диска 6 повітряним потоком, який поступає в робочу камеру 3 корпусу 2 через сопло 4 і здуває його в зону заповнення.

При великих швидкостях комірок, коли ефективність пневмоздуву різко знижується, а відцентрові сили зростають, видалення зайвого насіння з диска 6 здійснюється інерційними (відцентровими) силами, які скидають його в порожнину 11, в яку воно потрапляє під дією відцентрових сил, а потім падає в зону заповнення.

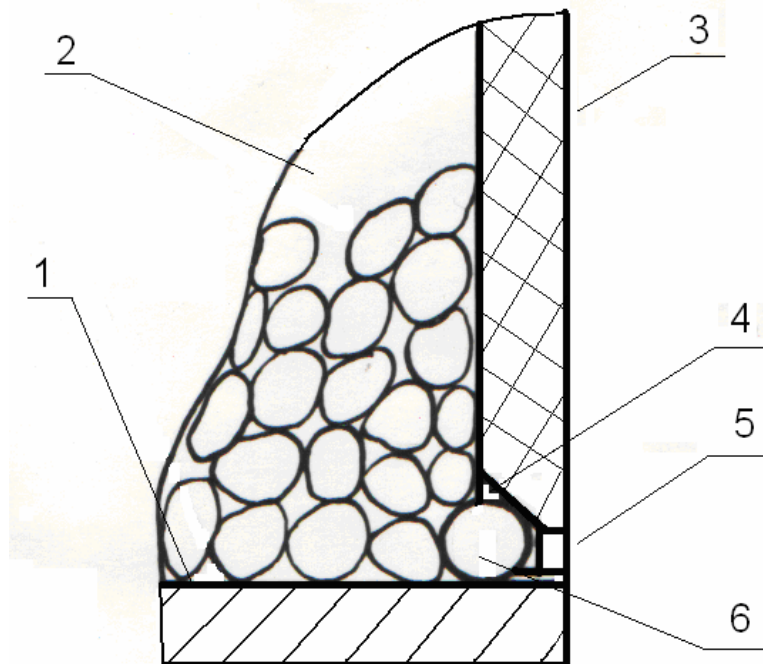


Рис. 3. Схема пневмовідбору насіння висівним диском: 1- корпус; 2- камера надлишкового тиску; 3- висівний диск; 4- комірка; 5- підсмоктуючий отвір; 6-насіннина.

Насіння, що залишилося на висівному диску 6 виносяться його комірками 7 до каналу 5, де воно звільнюється і поступає до сошника та борозни. При цьому, в наслідок розкриття комірок в бік корпусу в радіальному напрямку і дії на насіння відцентрових сил, здійснюється їх примусове самоочищення, що підвищує надійність роботи висівного апарату і рівномірність його висіву. Таким чином, під час роботи означеного пневмомеханічного висівного апарату відбувається поетап-

не (двохступінчасте) радіально-бічне заповнення комірок його висівного диска і комбіноване пневмо інерційне видалення зайвого насіння. Сумісне використання двох оригінальних технічних рішень в одній конструкції висівного апарата дозволяє значно розширити його технологічні можливості, а саме суттєво покращити умови його роботи, підвищити надійність і якість заповнення і звільнення комірок висівного диска при більш високих робочих швидкостях, що забезпечує покращення якості і продуктивності висівного апарата.

*Висновки.* Проведені нами попередні пошукові дослідження запропонованого висівного апарата на насінні цукрового буряка і кукурудзи підтвердили його ефективну працездатність на високих робочих швидкостях обертання висівного диска (до 3-х м/с і більше). При цьому коефіцієнт заповнення комірок диска знаходився в межах 94...98%, при невисоких значеннях надлишкового тиску повітря в робочій камері до 0,3...0,5 кПа, що свідчить про їх значно меншу енергоємність порівняно з іншими серійними пневматичними висівними апаратами.

Для обґрунтування раціональних параметрів означеного висівного апарата і подальшого підвищення ефективності його роботи, а саме: покращення дозування насіння різних просапних культур і його більш рівномірного розподілу при посіві в борозну, його дослідження необхідно продовжити. При цьому необхідно вирішити наступні основні задачі:

- обґрунтувати основні його конструктивно-технологічні параметри;
- дослідити процес дозування насіння інших просапних культур з метою розширення його універсальності;
- дослідити можливості процесу централізованого живлення висівних апаратів сівалок просапних культур з надлишковим тиском повітря і його використання для транспортування насіння від апарата до сошника (борозни).

Вирішення означених задач дозволить створити нові високоефективні сівалки вітчизняного виробництва для більш якісного і продуктивного посіву насіння просапних культур, що забезпечить підвищення економічної ефективності їх вирощування.

#### Література

1. П.В. Сисолін, Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 1 –Машини для рільництва / Сисолін П.В., Сало В.М., Кропивний В.М. / Під ред. М.І. Чорновола - К.: Урожай, 2001. –364 с.

2. Универсальные пневматические высевальные аппараты пропашных сеялок и пути их совершенствования / В.Е. Хорунженко, В.А.

*Юзбашев, В.М. Гусев [и др.] // Тория и методика создания почвообрабатывающих и посевных машин. – 1996. - С. 87-91.*

3. *Петренко М.М. Аналіз конструкцій висівних апаратів точного висіву / Петренко М.М., Васильковський М.І., Васильковська К.В. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка, том 1 «Механізація сільськогосподарського виробництва» – 2010. Випуск 93. – С. 157-163.*

4. Исследование универсального пневматического аппарата для пунктирного посева семян пропашных культур. Отчет по НИР. Регистр. №80255787, Кировоград, 1983.

5. Разработка и исследование универсального пневматического аппарата для пунктирного посева семян пропашных культур. Отчет по НИР. Регистр. №80051423, Кировоград, 1981.

### **ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ**

М.М. Петренко, М.И. Васильковский, Е.В. Васильковская

**Аннотация** – для повышения эффективности посева пропашных культур предложен новый пневмомеханический высевающий аппарат избыточного давления, главной особенностью которого являются применение ячеистого диска со специальными выступами на рабочей поверхности. Это позволяет значительно увеличить скорость его вращения при сохранении высокого качества заполнения ячеек.

### **JUSTIFICATION SCHEMATIC DIAGRAM PNEUMATICALLY- MECHANICAL SOWING DEVICE OVERPRESSURE**

M. Petrenko, M. Vasytkovskyi, K. Vasytkovska

#### **Summary**

To improve crop cultivated crops, a new pneumatically-mechanical sowing apparatus overpressure, whose main feature is the use penology drive with special performances on work surface. This can significantly increase the speed of its rotation performance of high quality fill cells.

УДК 631.362.3

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОБОТИ ВІДЦЕНТРОВО-ПНЕВМАТИЧНОГО СЕПАРАТОРА ЗЕРНА**

Васильковський О.М., к.т.н.,

Гончаров В.В., к.ф.-м.н.,

Петренко Д.І.,

Лещенко С.М.

*Кіровоградський національний технічний університет*

Тел. (066) 346-07-25

**Анотація** – розроблено математичну модель руху зернових часток по поверхні швидкохідного циліндричного решета з прутковим профілем поверхні під дією аеродинамічної сили.

**Ключові слова** – зерно, відцентрово-пневматичний сепаратор, математична модель, аеродинамічна сила, прутковий профіль поверхні.

*Постановка проблеми.* В наш час все більшого поширення набувають пневматичні зерноочисні машини, в яких використовуються інерційні сили [1, 2, 3]. Це пояснюється необхідністю інтенсифікації процесу повітряної сепарації. При цьому збільшення продуктивності аеродинамічної сепарації без застосування штучно створених інерційних сил призводить до значного збільшення габаритів сепаратора, і, при досягненні критичної межі, подальше збільшення продуктивності не спостерігається.

Кандидатом технічних наук І.П. Безручкіним, інженерами Е.Г. Баженовим та В.В. Поповим була розроблена конструкція відцентрово-пневматичного сепаратора [2] в якому зроблена спроба інтенсифікації процесу пневмосепарації шляхом збільшення питомого навантаження на повітряний канал без втрати якості очищення. Недоліками такого сепаратора є зростання опору сітчастого барабану при збільшенні частоти обертання, що призводить до незадовільної роботи сепаратора. Було запропоновано замінити сітчастий барабан на циліндричний барабан із прутковою поверхнею, що дозволить зменшити його аеродинамічний опір, а також буде сприяти орієнтації зерна вздовж отворів [1, 5].

Для дослідження можливості розділення зернового матеріалу запропонованим відцентрово-пневматичним сепаратором і визначення параметрів та режимів його роботи необхідно провести математичне моделювання руху зернових часток по поверхні швидкохідного циліндричного решета з прутковим профілем поверхні під дією аеродинамічної сили.

*Аналіз останніх досліджень.* Теоретичному дослідженню закономірності руху матеріалу по зовнішній поверхні циліндричного решета присвячені багато робіт дослідників [2, 3, 4]. При цьому розглядався рух по поверхні циліндричного решета без врахування профілю решітної поверхні та дії аеродинамічної сили.

*Формулювання цілей статті.* Метою роботи є обґрунтування технологічних режимів та конструктивних параметрів швидкохідного циліндричного решета з прутковою поверхнею відцентрово-пневматичного сепаратора.

*Основна частина.* Для визначення параметрів швидкохідного циліндричного решета з прутковою поверхнею знайдемо закон руху частки по зовнішній поверхні такого решета. Приймаємо наступні припущення:

- матеріал рухається по барабану в один пласт;
- коефіцієнт тертя часток  $f$  по робочій поверхні циліндра не залежить від швидкості їх руху і залишається постійним в будь-якій точці;
- рівнодійна сил, з якими діють на дану частку усі сусідні частки, рівна нулю;
- повітряний потік постійний по величині і за характером, а опір повітряного середовища пропорційний квадрату швидкості.

Таким чином при русі зернової частки по поверхні циліндричного решета на неї діють наступні сили (рис. 1):

$G = mg$  – сила ваги, направлена вертикально вниз;

$F_{\text{ц}} = \frac{mV^2}{R}$  – відцентрова сила, направлена перпендикулярно до

швидкості руху частки в сторону випуклості траєкторії руху, тобто вздовж радіуса решета на зовні;

$N$  – реакції решета (дві сили), направлені перпендикулярно до поверхні дотику зернини з прутком решета на зовні (рис. 2);

$F_{\text{т}} = fN$  – сили тертя (дві сили), направлені по дотичній до траєкторії руху зернини в сторону:

руху зернини, якщо  $V - \omega_{\text{D}}R < 0$ ;

протилежну рухові зернини при  $V - \omega_{\text{D}}R \geq 0$ ,

$P_{\text{п}} = mk_{\text{п}}U^2$  – аеродинамічна сила, направлена в сторону руху повітряного потоку;

$P_o = mk_{II}V^2$  – сила опору повітря, направлена в сторону проти-  
лежну рухові зернини;

де  $m$  – маса зернини;

$V$  – швидкість руху зернини;

$g$  – прискорення сили ваги;

$\varphi$  – кут між вертикаллю і радіусом решета, який виходить на  
частку;

$f$  – коефіцієнт тертя ковзання;

$R$  – радіус решета;

$\omega_D$  – кутова швидкість обертання решета.

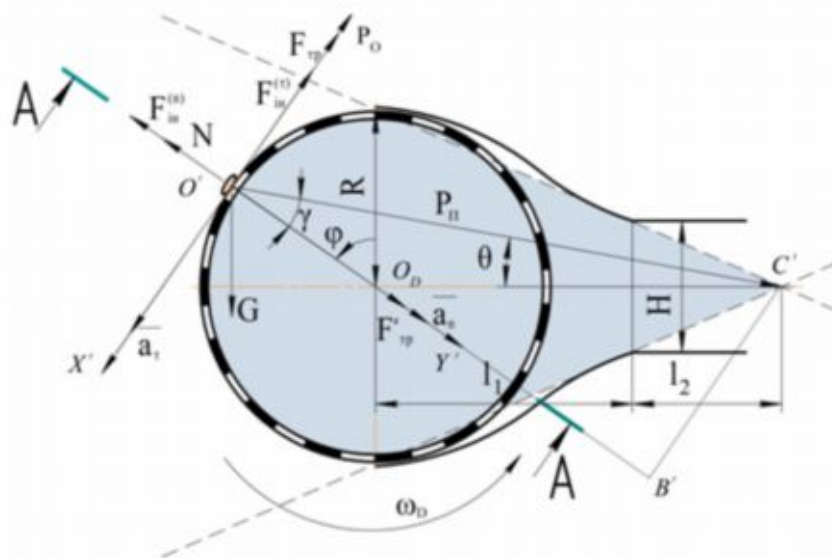


Рис. 1. Схема сил, які діють на частку при її русі по зовнішній поверхні циліндричного барабану.

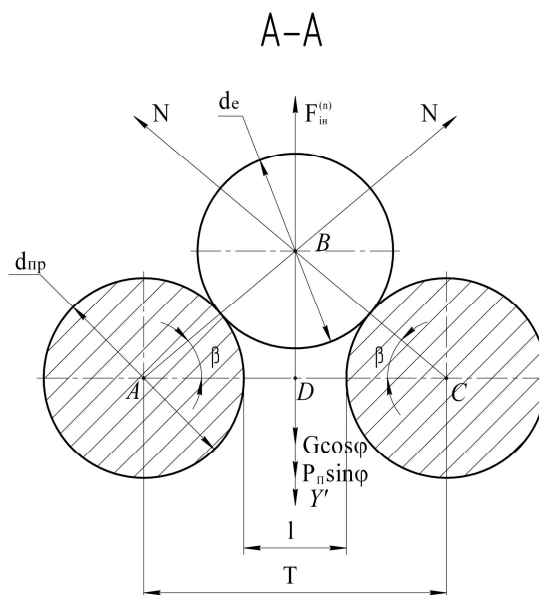


Рис. 2. Схема сил, які діють на частку у поперечному перерізі.

Диференціальне рівняння руху частки по поверхні решета матиме вигляд:

$$m \frac{d\bar{V}}{dt} = \bar{G} + \bar{F}_\delta + \bar{F}_\delta + \bar{N} + \bar{P}_i + \bar{P}_o. \quad (1)$$

або в проекціях на осі рухомої системи координат  $O'X'Y'$  (до відриву зернини від решета) враховуючи рис. 2:

$$\begin{cases} m \frac{dV}{dt} = mg \sin \varphi - 2fN \operatorname{sign}(V - \omega_D R) - mk_\pi U^2 \sin \gamma \operatorname{sign}\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) - mk_\pi V^2, \\ 0 = mg \cos \varphi - m \frac{V^2}{R} - 2N \sin \beta + mk_\pi U^2 \cos \gamma. \end{cases} \quad (2)$$

Виключивши з системи (2) реакцію  $N$ , отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} = g \sin \varphi - \frac{f}{\sin \beta} \left( g \cos \varphi - \frac{V^2}{R} + k_\pi U^2 \cos \gamma \right) \operatorname{sign}(V - \omega_D R) - \\ - k_\pi U^2 \sin \gamma \operatorname{sign}\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) - k_\pi V^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Диференціальне рівняння (3) потрібно розв'язати при граничній умові

$$V = V_0 \quad \text{при} \quad t = 0. \quad (4)$$

Оскільки

$$V = R \frac{d\varphi}{dt} = R\dot{\varphi}, \quad \frac{dV}{dt} = R\ddot{\varphi}, \quad (5)$$

то з (3) отримуємо

$$\begin{aligned} \ddot{\varphi} \frac{R}{g} + (k_\pi R - f_1) \frac{R}{g} \dot{\varphi}^2 = \sin \varphi - f_1 \cos \varphi - \\ - \frac{k_\pi U^2}{g} \left( \sin \gamma \operatorname{sign}\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) + f_1 \cos \gamma \right), \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{де } f_1 = \frac{f}{\sin \beta} \operatorname{sign}(\dot{\varphi} - \omega_D).$$

Визначимо  $\sin \beta$ . З рис. 2 маємо

$$\sin \beta = \frac{BD}{AD},$$

де 
$$AD = \frac{d_{\text{пр}} + d_e}{2}, \quad BD = \sqrt{AD^2 - \left(\frac{d_{\text{пр}} + l}{2}\right)^2},$$

$d_{\text{пр}}$  – діаметр прутка,

$d_e$  – еквівалентний діаметр зернини,

$l$  – зазор між прутками.

Таким чином,

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \left(\frac{d_{\text{пр}} + l}{d_{\text{пр}} + d_e}\right)^2}. \quad (7)$$

Виразимо тригонометричні функції  $\cos \gamma$ ,  $\sin \gamma$  через кут  $\varphi$  та параметри пруткового решета.

З  $\Delta O'B'C'$  ( $\angle B' = 90^\circ$ ) маємо (рис 1)

$$\sin \gamma = \frac{B'C'}{C'O'}, \quad \cos \gamma = \frac{O'B'}{C'O'}. \quad (8)$$

Гіпотенузу  $C'O'$  знаходимо за теоремою косинусів з  $\Delta O'O_dC'$

$$(C'O')^2 = R^2 + L^2 - 2RL \cos\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right),$$

де  $L = l_1 + l_2$ ,

$l_1$  – відстань між віссю обертання циліндричного барабана та вхідним колектором повітряного каналу,

$l_2$  – довжина сліду повітряного потоку при розширенні каналу;  
або

$$C'O' = \sqrt{R^2 + L^2 + 2RL \sin \varphi}. \quad (9)$$

З  $\Delta B'O_dC'$  при  $\varphi \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right]$  маємо

$$B'C' = L \cos \varphi, \quad B'O_d = L \sin \varphi, \quad (10)$$

тоді

$$O'B' = R + L \sin \varphi \quad (11)$$

і

$$\sin \gamma = \frac{L \cos \varphi}{\sqrt{R^2 + L^2 + 2RL \sin \varphi}}, \quad \cos \gamma = \frac{R + L \sin \varphi}{\sqrt{R^2 + L^2 + 2RL \sin \varphi}}$$

або

$$\sin \gamma = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}}, \quad \cos \gamma = \frac{k_d + \sin \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}}, \quad (12)$$

де  $k_d = \frac{R}{L}$  – безрозмірний параметр решета.



При  $\varphi \in \left(\frac{\pi}{2}, \pi\right]$  маємо  $\cos \varphi < 0$ , тому на усій області зміни кута  $\varphi$ , тобто для  $\varphi \in [0, \pi]$ , функцію  $\sin \gamma$  в (12) запишемо у вигляді

$$\sin \gamma = \frac{|\cos \varphi|}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}}, \quad (13)$$

Підставивши (12), (13) в (6) отримаємо

$$\ddot{\varphi} \frac{R}{g} + (k_{\pi} R - f_1) \frac{R}{g} \dot{\varphi}^2 = \sin \varphi - f_1 \cos \varphi - \frac{k_i U^2}{g} \frac{f_1 (k_d + \sin \varphi) + \cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}}. \quad (14)$$

Рівняння (14) є диференціальним рівнянням другого порядку відносно функції  $\varphi = \varphi(t)$ . Його потрібно розв'язати при граничних умовах

$$\varphi = \varphi_0, \quad \dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0 \quad \text{при} \quad t = 0. \quad (15)$$

В диференціальному рівнянні (14) можна понизити порядок. Для цього перейдемо в ньому від змінної  $\varphi$  до показника кінематичного режиму  $\kappa$ :

$$\kappa = \frac{\dot{\varphi}^2 R}{g}, \quad (16)$$

тоді

$$\frac{d\kappa}{d\varphi} = \dot{\kappa} = 2\dot{\varphi} \frac{d\dot{\varphi}}{d\varphi} \frac{R}{g} = 2 \frac{d\varphi}{dt} \frac{d\dot{\varphi}}{d\varphi} \frac{R}{g} = 2 \frac{d\dot{\varphi}}{dt} \frac{R}{g} = 2\ddot{\varphi} \frac{R}{g} \quad (17)$$

Враховуючи (16), (17) рівняння (14) прийме вигляд

$$\dot{\kappa} + a\kappa = 2(\sin \varphi - f_1 \cos \varphi) - 2 \frac{k_i U^2}{g} \frac{f_1 (k_d + \sin \varphi) + \cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}}, \quad (18)$$

$$\text{де } a = 2(k_{\pi} R - f_1). \quad (19)$$

Рівняння (18) є лінійним диференціальним рівнянням першого порядку відносно функції  $\kappa$ . Його потрібно розв'язати при граничній умові

$$\kappa = \frac{\dot{\varphi}_0^2 R}{g} \quad \text{при} \quad \varphi = \varphi_0. \quad (20)$$

Розв'язок рівняння (18) шукається у вигляді

$$\kappa = uv, \quad (21)$$

де  $u = u(\varphi)$ ,  $v = v(\varphi)$  – невідомі функції змінної  $\varphi$ , тоді

$$\frac{d\kappa}{d\varphi} = v \frac{du}{d\varphi} + u \frac{dv}{d\varphi}. \quad (22)$$

Підставивши вирази (21), (22) в рівняння (18) отримаємо:

$$v \frac{du}{d\varphi} + u \left( \frac{dv}{d\varphi} + av \right) = 2(\sin \varphi - f_1 \cos \varphi) - 2 \frac{k_{\Pi} U^2}{g} \frac{f_1(k_d + \sin \varphi) + \cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}}. \quad (23)$$

Функцію  $v$  знаходимо з умови рівності нулю виразу в дужках лівої частини рівняння (23)

$$\frac{dv}{d\varphi} + av = 0. \quad (24)$$

З (24) отримуємо

$$\begin{aligned} \ln|v| &= -a\varphi \\ v &= e^{-a\varphi}. \end{aligned} \quad (25)$$

Підставивши вираз (25) у рівняння (23), отримаємо:

$$e^{-a\varphi} \frac{du}{d\varphi} = 2(\sin \varphi - f_1 \cos \varphi) - 2 \frac{k_{\Pi} U^2}{g} \frac{f_1(k_d + \sin \varphi) + \cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}}, \quad (26)$$

$$\frac{du}{d\varphi} = 2(\sin \varphi - f_1 \cos \varphi) e^{a\varphi} - 2 \frac{k_{\Pi} U^2}{g} \frac{f_1(k_d + \sin \varphi) + \cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} e^{a\varphi}, \quad (27)$$

Інтегрування останнього рівняння, дає

$$u = u_0 + 2 \int_{\varphi_0}^{\varphi} (\sin \varphi - f_1 \cos \varphi) e^{a\varphi} d\varphi - 2 \frac{k_{\Pi} U^2}{g} \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{f_1(k_d + \sin \varphi) + \cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} e^{a\varphi} d\varphi. \quad (28)$$

Перший інтеграл рівний

$$\begin{aligned} & \int_{\varphi_0}^{\varphi} (\sin \varphi - f_1 \cos \varphi) e^{a\varphi} d\varphi = \\ &= \frac{(a - f_1) \sin \varphi - (af_1 + 1) \cos \varphi}{1 + a^2} e^{a\varphi} - \frac{(a - f_1) \sin \varphi_0 - (af_1 + 1) \cos \varphi_0}{1 + a^2} e^{a\varphi_0}. \end{aligned} \quad (29)$$

Другий інтеграл рівності (28) не інтегрується в елементарних функціях.

Отже, підставивши (25), (28), (29) в (21), отримаємо

$$\begin{aligned} \kappa &= 2e^{-a\varphi} \left\{ \frac{u_0}{2} - \frac{k_{\Pi} U^2}{g} \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{f_1(k_d + \sin \varphi) + \cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} e^{a\varphi} d\varphi - \right. \\ & \left. - \frac{(a - f_1) \sin \varphi_0 - (af_1 + 1) \cos \varphi_0}{1 + a^2} e^{a\varphi_0} \right\} + 2 \frac{(a - f_1) \sin \varphi - (af_1 + 1) \cos \varphi}{1 + a^2} \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \kappa &= (u_0 - (a_1 \sin \varphi_0 + a_2 \cos \varphi_0) e^{a\varphi_0}) e^{-a\varphi} + a_1 \sin \varphi + a_2 \cos \varphi - \\ & - 2be^{-a\varphi} \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{f_1(k_d + \sin \varphi) + \cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} e^{a\varphi} d\varphi, \end{aligned} \quad (31)$$

$$\text{де } a_1 = 2 \frac{a - f_1}{1 + a^2}, a_2 = -2 \frac{f_1 a + 1}{1 + a^2}, b = \frac{k_n U^2}{g}. \quad (32)$$

Константу  $u_0$  знаходимо записавши (31) для граничної умови (20):

$$u_0 = \frac{\dot{\phi}_0^2 R}{g} e^{a\phi_0}. \quad (33)$$

Підставимо (33) в (31)

$$\kappa = b_1 e^{-a\phi} + a_1 \sin \phi + a_2 \cos \phi - 2b e^{-a\phi} \int_{\phi_0}^{\phi} \frac{f_1(k_d + \sin \phi) + \cos \phi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \phi}} e^{a\phi} d\phi, \quad (34)$$

$$\text{де } b_1 = \left( \frac{\dot{\phi}_0^2 R}{g} - a_1 \sin \phi_0 - a_2 \cos \phi_0 \right) e^{a\phi_0}. \quad (35)$$

Підставивши (34) в (16) отримаємо диференціальне рівняння першого порядку для знаходження функції  $\phi = \phi(t)$

$$\frac{\dot{\phi}^2 R}{g} = b_1 e^{-a\phi} + a_1 \sin \phi + a_2 \cos \phi - 2b e^{-a\phi} \int_{\phi_0}^{\phi} \frac{f_1(k_d + \sin \phi) + \cos \phi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \phi}} e^{a\phi} d\phi, \quad (36)$$

з якого отримуємо

$$\frac{d\phi}{\sqrt{b_1 e^{-a\phi} + a_1 \sin \phi + a_2 \cos \phi - 2b e^{-a\phi} \int_{\phi_0}^{\phi} \frac{f_1(k_d + \sin \phi) + \cos \phi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \phi}} e^{a\phi} d\phi}} = \sqrt{\frac{g}{R}} dt, \quad (37)$$

або проінтегрувавши

$$\int_{\phi_0}^{\phi} \frac{d\phi}{\sqrt{b_1 e^{-a\phi} + a_1 \sin \phi + a_2 \cos \phi - 2b e^{-a\phi} \int_{\phi_0}^{\phi} \frac{f_1(k_d + \sin \phi) + \cos \phi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \phi}} e^{a\phi} d\phi}} = \sqrt{\frac{g}{R}} t. \quad (38)$$

Умова відриву зернини від решета слідує з другого рівняння (2), яке з урахуванням рівностей (4) і (12) приймає вигляд

$$\cos \phi - \frac{R}{g} \dot{\phi}^2 + b \frac{k_d + \sin \phi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \phi}} < 0. \quad (39)$$

Аналіз диференціальних рівнянь та їх часткових розв'язків.

1. За постановкою задачі початкова швидкість руху зернини  $V_0$  повинна бути меншою лінійної швидкості поверхні решета, тобто  $V_0 < \omega_D R$ . В протилежному випадку відбуватиметься уповільнення руху зернини, як наслідок порушення однопластного руху зернин (вони будуть рухатись в два і більше пластів).

2. Після попадання зернини на решето вона може:

2.1) рухатись уповільнено, якщо

$$\sin \varphi - \frac{k_{\pi} U^2}{g} \left( \frac{R^2 \dot{\varphi}^2}{U^2} + \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} \right) < 0, \quad (40)$$

$$\left| \sin \varphi - \frac{k_{\pi} U^2}{g} \left( \frac{R^2 \dot{\varphi}^2}{U^2} + \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} \right) \right| > \frac{f}{\sin \beta} \left( \frac{k_{\pi} U^2}{g} \frac{k_d + \sin \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} + \cos \varphi - \frac{R}{g} \dot{\varphi}^2 \right) \quad (41)$$

(див. рівняння (14));

а) до повної зупинки і почати рухатись в протилежну сторону;

б) до деякої швидкості  $V \in (0, V_0)$ , після чого продовжити рух з прискоренням.

Цих ситуацій потрібно уникати, так як при уповільненні порушується однопластовість руху зернин (аналогічно п. 1).

2.2) рухатись прискорено у випадках

$$\text{а) } \sin \varphi - \frac{k_{\pi} U^2}{g} \left( \frac{R^2 \dot{\varphi}^2}{U^2} + \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} \right) < 0 \quad (42)$$

і

$$\left| \sin \varphi - \frac{k_{\pi} U^2}{g} \left( \frac{R^2 \dot{\varphi}^2}{U^2} + \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} \right) \right| < \frac{f}{\sin \beta} \left( \frac{k_{\pi} U^2}{g} \frac{k_d + \sin \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} + \cos \varphi - \frac{R}{g} \dot{\varphi}^2 \right); \quad (43)$$

$$\text{б) } \sin \varphi - \frac{k_{\pi} U^2}{g} \left( \frac{R^2 \dot{\varphi}^2}{U^2} + \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} \right) > 0. \quad (44)$$

3. В момент, коли кутові швидкості зернини і решета вирівнюються зернина може

а) стати нерухомою по відношенню до поверхні решета, якщо  $\ddot{\varphi} \leq 0$  або

$$-(k_{\pi} R - f_1) \frac{R}{g} \dot{\varphi}^2 + \sin \varphi - f_1 \cos \varphi - \frac{k_{\pi} U^2}{g} \frac{f_1 (k_d + \sin \varphi) + \cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} \leq 0. \quad (45)$$

б) продовжувати прискорений рух при  $\ddot{\varphi} > 0$

$$-(k_{\pi}R - f_1)\frac{R}{g}\dot{\varphi}^2 + \sin \varphi - f_1 \cos \varphi - \frac{k_{\pi}U^2}{g} \frac{f_1(k_d + \sin \varphi) + \cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} > 0 \quad (46)$$

4. Якщо зернина зупиниться на поверхні решета, то рух відносно решета оновиться в момент коли  $\ddot{\varphi} > 0$  або (див (14))

$$\begin{aligned} \sin \varphi - \frac{k_{\pi}U^2}{g} \left( \frac{R^2\omega_D^2}{U^2} + \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} \right) > \\ > \frac{f}{\sin \beta} \left( \frac{k_{\pi}U^2}{g} \frac{k_d + \sin \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} + \cos \varphi - \frac{R}{g}\dot{\varphi}^2 \right). \end{aligned} \quad (47)$$

5. Відрив зернини від решета наступить при виконанні умови

$$\frac{k_{\pi}U^2}{g} \frac{k_d + \sin \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} + \cos \varphi - \frac{R}{g}\dot{\varphi}^2 < 0.$$

*Висновки:* Висока ефективність процесу сепарації зерна повітрям забезпечується при знаходженні зерноsumіші в пневмоканалі в один пласт. Отримана математична модель руху частки по поверхні циліндричного решета з прутковою поверхнею дозволяє визначити необхідні параметри та режими роботи відцентрово-пневматичного сепаратора зерна для забезпечення однопластового розміщення зерноsumіші в пневмосепаруючому каналі.

#### Література

1. *Васильковський О. М.* Підвищення ефективності повітряного очищення зерна / *О. М. Васильковський, Д. І. Петренко* // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 35. – Кіровоград : КНТУ, 2005. – С. 286–288.

2. *Безручкин И.П.* Очистка зернового материала центробежно-пневматическим сепаратором. / *И.П. Безручкин, Е.Г. Баженов, В.В. Попов* – Исследование рабочих процессов и органов машин для уборки зерновых культур и послеуборочной обработки зерна. //Труды ВИСХОМ. – Вып.57. – Москва, 1969. – С.301-320.

3. *Бурков А.И.* Зерноочистительные машины. Конструкция, исследование, расчет и испытание / *А.И. Бурков, Н.П. Сычугов.* – Киров: НИИСХ Северо-Востока. – 200-261с.

4. *Резниченко М.Я.* Вопросы теории цилиндрических барабанов зерноочистительных машин / *М.Я. Резниченко* // ВИСХОМ. Вып.18. – Москва : ЦБТИ, 1958. – 62с.

5. Васильковський О. М. Результати експериментальних досліджень відцентрово-пневматичного сепаратора зерна / О. М. Васильковський, Д. І. Петренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 36. – Кіровоград : КНТУ, 2006. – С. 54–56.

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНО-ПНЕВМАТИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА ЗЕРНА**

А.М. Васильковский, Д.И. Петренко, В.В. Гончаров, С.Н. Лещенко

*Аннотация* – разработана математическая модель движения зерновых частиц по поверхности быстроходного цилиндрического решета с прутковым профилем поверхности под действием аэродинамической силы.

## **MATHEMATICAL MODEL WORK OF CENTRIFUGAL- PNEUMATIC SEPARATOR OF GRAIN**

A. Vasil'kovskiy, D. Petrenko, V. Goncharov, S. Leschenko

### *Summary*

**The mathematical model motion of corn particles is developed on the surface of high-speed cylindrical sieve with the twig type of surface under the action of aerodynamic force.**

УДК [631.352]

**ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ  
ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ РОСЛИННИХ РЕШТОК**

Сало В.М. д.т.н.,

Уманець І.О.

*Кіровоградський національний технічний університет*

Тел. (0522) 39-04-87

Семеняка І.М., к.с.-г.н.,

Гайденко О.М., к.т.н.

*Кіровоградський інститут АПВ*

Тел.(0522) 31-57-95

**Анотація** – в роботі представлені результати експериментальних досліджень по встановленню основних впливових факторів на протікання процесу подрібнення рослинних решток крупностеблових сільськогосподарських культур.

**Ключові слова** – рослинні рештки, подрібнення, конструкція, якісний показник.

*Постановка проблеми.* В останні роки агропромисловий сектор країни заповнили нетрадиційні, а в ряді випадків і невідомі до цього часу для працівників села технології виробництва продукції рослинництва. Розпочалися зміни з використання імпортованих комбайнів, які залишали на полях практично всю незернову частину врожаю. Такі прийоми дозволили підвищити продуктивність процесів збирання, скоротити загальні терміни жнив, але виникла проблема подальшої переробки рослинних решток. Для наших виробників найбільш простим шляхом її вирішення виявилось масове використання дискових ґрунтообробних знарядь. Як результат – руйнування структури поверхневих родючих шарів ґрунту, змінання цінних у агротехнічному відношенні агрегатів, переведення їх в пиловидний безструктурний стан, переущільнення нижніх шарів ґрунту, порушення процесів аерації і інфільтрації, зниження запасів продуктивної вологи в нижніх горизонтах. За кордоном в таких випадках використовують спеціальні машини - подрібнювачі рослинних решток. В Україні подібні машини були мало відомими, дорогими, вітчизняними виробниками не випускалися, та й сприймалися виробниками сільськогосподарської продукції, як процес в змісті технології що потребує додаткових затрат і може бути не обов'язковим.

Крім цього, за характерними для кожного типу даних машин конструктивними особливостями, при використанні в традиційних для України технологіях виробництва, вони не завжди і не після кожної культури забезпечують необхідну якість подрібнення рослинних решток. Тому наукові дослідження спрямовані на розробку нових та удосконалення відомих конструкцій подрібнювачів рослинних решток адаптованих до умов виробництва, як і обґрунтування раціональних конструктивних та технологічних параметрів їх робочих органів є цілком актуальними.

*Аналіз останніх досліджень.* За результатами літературного аналізу [1,2], відзивів споживачів та сертифікаційних перевірок на машиновипробувальних станціях прийнятним для використання в умовах центрального Степу, простим за конструкцією і досить надійним може бути подрібнювач рослинних решток з вертикальними осями обертання роторів, випуск яких здебільшого забезпечується фірмами виробниками: «SCHULTE» (Канада), «KUNN» (Франція), «JOSKIN 2 (Бельгія). Вітчизняними фахівцями також розроблено пробну партію машин агрегатів-подрібнювачів рослинних решток: ПН-2 (Білоцерків-МАЗ), ПР-2,6 (Агрореммаш), ПРУ-2,8 (Бердянськсільмаш) та інші, які мають виконувати поставлені перед ними завдання - підбирати, подрібнювати, рівномірно розподіляти рослинні рештки (солону), що залишаються в валку після збирання зернових та інших культур, зрізувати і подрібнювати стерню до 100 мм і стебла грубостеблових культур (соняшника, кукурудзи), які залишаються на поверхні поля після збирання врожаю .).

В порівнянні з роторними подрібнювачами, що мають горизонтальну вісь обертання ротора, вони відрізняються простішою конструкцією робочих органів і меншою їх кількістю на одиницю ширини захвату машини і більш високою надійністю.

Недоліком їх є висока швидкість безпідпiрного різання (до 90м/с.)[3], ножі обертаються в горизонтальній площині, що обумовлює їх відносно великі геометричні розміри і зовсім не сприяє якісному подрібненню решток рослин які вирощувалися з застосуванням операцій окучування чи просто полеглих в міжряддях. Одночасно з цим необхідно зауважити, що із-за різного фізико – механічного стану та нахилу стебел оптимальна швидкість зрізання також буде змінюватись.

*Формулювання цілей статті.* Метою роботи є встановлення основних впливових факторів, обґрунтування раціональних конструктивних та технологічних параметрів яких призначене забезпечити підвищення загальної ефективності процесу подрібнення рослинних решток.

*Основна частина.* Для встановлення перспективних шляхів удосконалення конструкції даних машин необхідно мати інформацію про



основні особливості і закономірності протікання процесу подрібнення. До групи даних факторів, на наш погляд, можна віднести:

- орієнтацію в просторі стеблостою, що підлягає подрібненню;
- взаємне розташування ножів роторів і стебел в момент їх контакту (через побічний параметр – розташування вісі ротора відносно рядків);
- поступальна швидкість агрегату;
- використання додаткових робочих органів.

Дослідження проводилися на полі Кіровоградського інституту АПВ після комбайнового збирання соняшнику з використанням експериментальної секції подрібнювача (рис.1), яка при певних варіантах обладнувалася додатковими робочими органами в вигляді зубових гребінок для покращення подрібнення полеглих стебел [4].

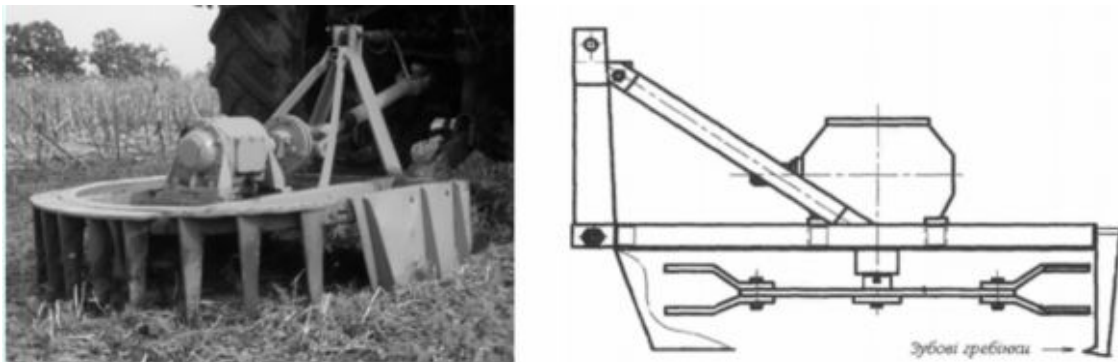


Рис. 1. Загальний вигляд та схема експериментальної секції подрібнювача.

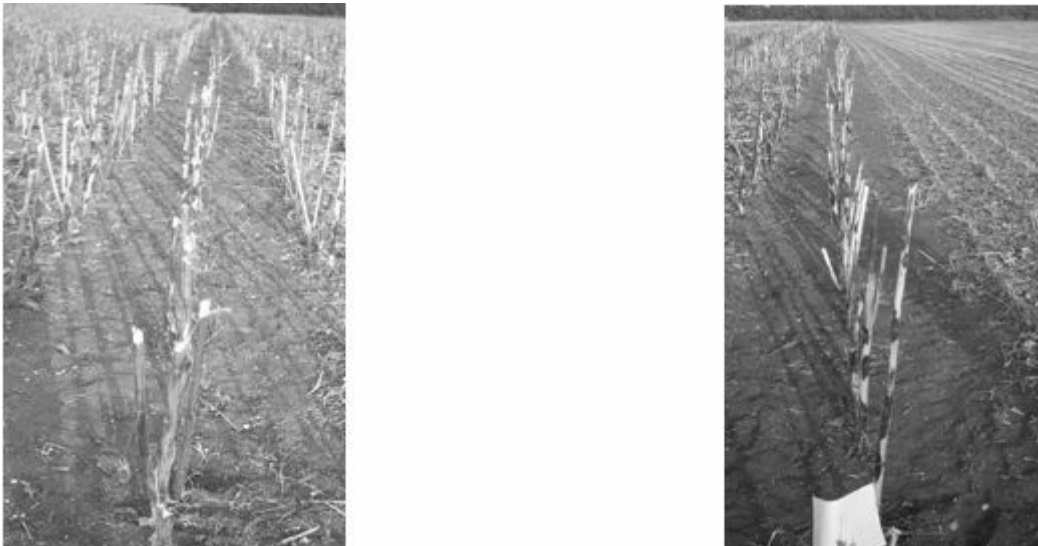
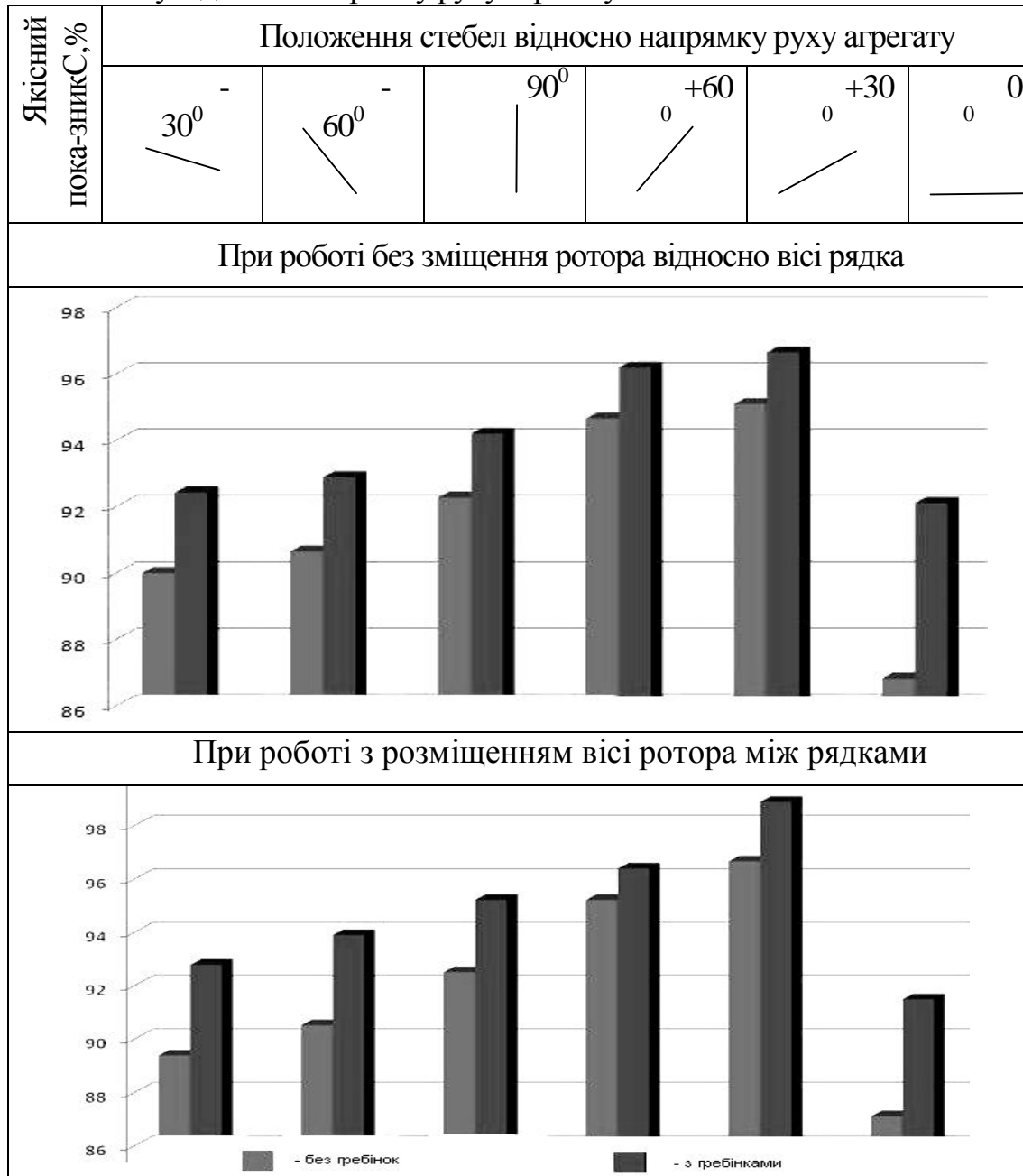


Рис. 2. Загальний вигляд залікових рядків.

Для перевірки процесу роботи подрібнювача при наявності впливу фактора розташування стебел соняшнику були вибрані і попередньо очищені від зайвих решток рядки. Стебла соняшнику штучно були орієнтовані в просторі під різними кутами нахилу до горизонту як за (+30°, +60°), так і проти напрямку руху агрегату (-30°, -60°), а також враховувався з прямо-

стоячими стеблами - ( $90^\circ$ ) та самий негативний випадок – лежачі стебла ( $0^\circ$ ) (рис.2). За показник якості був прийнятий відсотковий вміст в загальному об'ємі подрібнених стебел рослинних решток розмірами  $\leq 100$ мм. Попередньо була визначена маса стебла та підраховано кількість стебел соняшнику у рядку. При визначенні маси стебел враховувалась їх вологість, розміри.

Таблиця 1 - Залежність показника подрібнення від положення стебел соняшнику відносно напрямку руху агрегату.



В результаті була відома маса всіх стебел на ділянці, що в подальшому при обрахунках дозволило визначити кількість якісно подрібнених решток. Перевірка проводилась при наявності в конструкції секції зубових гребінок чи ланцюгової завіси.

Діапазон зміни швидкостей коливався в межах 0,5...4 м/с. Вплив взаємного розташування ножів роторів і стебел в момент їх контакту на якість подрібнення перевірявся по двох варіантах: при співпаданні вісі ротора з віссю рядка та розташуванні вісі ротора по середині міжряддя.

Аналіз результатів (табл.1) свідчить про те, що різниця між значеннями якісних показників при різному взаємному розташуванні ножів роторів і рядків стебел в момент їх контакту незначна і знаходиться в межах статистичної похибки. Отже приділяти особливу увагу узгодженню положення і кількості робочих органів відносно поздовжньої вісі рядків не варто.

А от орієнтація стебел в просторі має досить стабільний і вагомий вплив на якість подрібнення. Причому зі збільшенням кута нахилу стебел за напрямом руху агрегату показник якості зростає на 7÷8%. Причиною цього може бути попередній жорсткий контакт стебел об рамну конструкцію подрібнювача, зламування їх і відкидання на поверхню поля в зону недосяжності роторних ножів. В даному випадку стебла просто не потрапляють в умовну камеру подрібнення. Використання додаткових робочих органів - зубових гребінок при всіх варіантах розташування стебел в просторі забезпечує незначне, але стабільне підвищення показника подрібнення (2÷3%). Більш вагомий ефект від їх використання (до 5%) спостерігається при подрібненні лежачих стебел. При цьому показник подрібнення значно менше залежить від поступальної швидкості агрегату (рис.3). За таких умов робоча швидкість може бути збільшена майже на 1 м/с., що є вагомим фактором для підвищення загальної продуктивності машини.

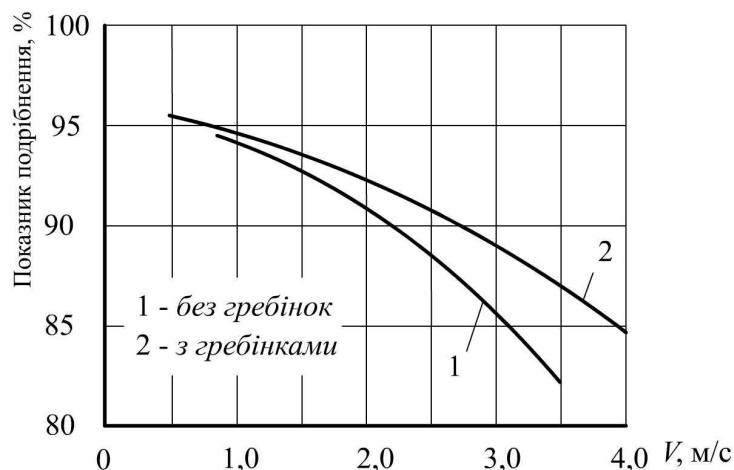


Рис. 3. Залежність показника подрібнення рослинних решток від поступальної швидкості агрегату.

*Висновки.* Одним із шляхів покращення показника подрібнення рослинних решток може бути введення до відомої конструкції машини додаткових робочих органів. Разом з тим забезпечення високої ефективності їх роботи потребує теоретичного обґрунтування їх раціональних конструктивних та технологічних параметрів.

#### Література

1. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / за ред. В.І. Кравчук, М.І. Грицишина, С.М. Ковалюк. – К.: Аграрна наука, 2004. – 396 с.
2. Сисолін П. Розробка конструкції універсального подрібнювача рослинних решток / Сисолін П., Труш М., Соловух Є., Акулін В. // Техніка АПК. - 2006. - №3. – С. 30.
3. Фомин В.И. Исследование процесса бесподпорного среза трав/ Фомин В.И.// Труды ВИСХОМ. - М.: Вып. 39. - 1962. - 194 с.
4. Подрібнювач рослинних решток на поверхні поля Декларативний патент на винахід №16282, Україна, А01F12/40, Опубл.15.08.2006. Бюл.№8, 2с.

### **ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ**

В. Сало, И. Уманец, И. Семеняка, О. Гайденко

*Аннотация* – в работе представлены результаты экспериментальных исследований по определению основных факторов влияющих на прохождение процесса измельчения растительных остатков крупностебельных сельскохозяйственных культур.

### **GENERAL FEATURES OF THE PROGRESS OF PLANT RESIDUES MILLING PROCESS**

V.Salo. I. Umanets I. Semenyaka O. Gaidenko

#### *Summary*

**The article presents the results of experimental researches on determining the main factors that influence the process of plant residues of big caulescent agricultural crops.**

УДК 631.316.022

## МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЩІЛЮВАННЯ

Шмат С.І., к.т.н.,

Лузан П.Г., к.т.н.,

Колісник С.В.

*Кіровоградський національний технічний університет*

Тел. (0522) 39-04-72, тел. моб. 066 43-86-219

**Анотація** – робота присвячена моделюванню технологічних процесів обробітку ґрунту із застосуванням щілювання. Проведений аналіз ефективності найбільш розповсюджених щілинорізів та визначена їх агротехнічна оцінка з метою підвищення ефективності процесів щілювання.

**Ключові слова** – обробіток ґрунту, родючість ґрунту, щілювання, щілиноріз, сівба, нарізання щілин, підорний шар ґрунту, твердість ґрунту.

*Постановка проблеми.* Дослідженнями, що проводились на протязі багатьох років, встановлена негативна дія полицевого обробітку ґрунту. Запропоновано декілька альтернативних технологій, однією з перспективних можна вважати обробіток ґрунту з щілюванням. Визначення оптимальних конструкцій щілинорізів потребує узагальнення способів щілювання та підбір для них технічно обґрунтованих робочих органів. Тому необхідно провести аналіз запропонованих конструкцій щілинорізів та дати їх агротехнологічну оцінку.

*Аналіз останніх досліджень.* Про щілювання як ефективний засіб покращення технологічних якостей ґрунту, відомо давно [1, 2, 3, 4]. Але і сьогодні можна знайти мало прихильників його використання на практиці і перш за все через високу енергоємність процесу щілювання. Ще на початку ХХ століття російський агроном І.Є. Овсінський відмічав негативний вплив оранки з оборотом скиби на агрофізичні, агрохімічні і агробіологічні характеристики ґрунту. Верхній коренемний прошарок ґрунту в процесі багаторічної оранки перетворюється в однорідну безструктурну масу, яка легко піддається водній ерозії і дефляції, в результаті чого знижується родючість ґрунту і його продуктивні якості. Оранка і багатократні розпушування ґрунту надмірно розпилують ґрунт, а нижні його шари ущільнюють.

Відбувається інтенсивний розклад гумусу, непродуктивні витрати вологи та поживних речовин.

Сьогодні в Україні ерозія ґрунтів досягає загрозливих масштабів (до 45-48 %), безповоротно зникають сотні мільйонів тонн родючого ґрунту. Плужний обробіток сприяє інтенсивному змиву ґрунтів водою та вивітрюванню.

Впровадження в 80-их роках минулого століття інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур, які передбачають багатократні проходи МТА (до 20-25 операцій за вегетативний період), протирічать природнім охоронним процесам. В результаті реалізації таких технологій погіршується кислотний або лужний склад ґрунту, нижні шари переущільнюються, пересушуються чи перезвожуються.

Тому в світі все більше починають впроваджувати у сільськогосподарське виробництво технології з нульовим та мінімальним обробітком. Мінімальний обробіток виконують в більшості випадків безвідвальними робочими органами із застосуванням мульчуючих технологій та щільування ґрунту.

*Метою даної роботи є підвищення ефективності процесів щільування ґрунту.*

*Основна частина.* Технологія щільування полягає в наступному. При плужному обробітку за рахунок дії ваги плуга підорний шар товщиною 10-15 см ґрунту ущільнюється (рис. 1а). Щільність цього шару досягає  $1,4...1,7 \text{ г/см}^3$ , через який не може пробитись коренева система рослин чи її розвиток погіршується. В цьому ж шарі різко зменшується розмір капілярів (менше 0,05 мм), що не дозволяє глибокій волозі проникнути до кореневої системи рослин (рис. 1б).

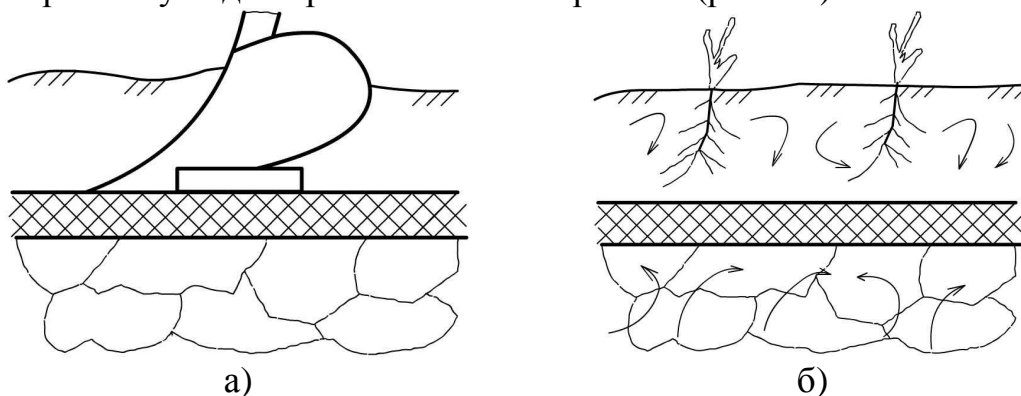


Рис.1. Схема утворення підорного шару внаслідок роботи плуга: а – схема роботи плуга; б- схема розвитку рослин.

Запобігти цьому явищу може лише більш глибокий обробіток ґрунту – до 35-45 см. Але чим глибше ми обробляємо ґрунт, тим все важчими стають знаряддя, тому це не може бути виходом. Інша справа, коли усунення підорного шару відбувається частково, через деякі

проміжки між щілинами. І така технологія сьогодні завойовує все більш прихильників.

Переваг технології щілювання багато, серед яких:

- зменшується зона ущільнення підорних шарів ґрунту;
- збільшується циркуляція вологи по глибині (рис. 2);
- збільшується використання поживних речовин із глибоких шарів ґрунту;
- формується потужна розвинена коренева система рослин за рахунок активізації окисно-відновлювальних процесів в ґрунті, які сприяють більш швидкому її розвитку;
- зменшується стікання води на полях із великим схилом, підвищується накопичення вологи в глибоких шарах ґрунту;
- зменшується загальне окислення ґрунту, а також зменшуються втрати N, P, K;
- зменшується загибель озимих культур за рахунок відтоку води з поверхні поля та покращення мікроклімату ґрунту.

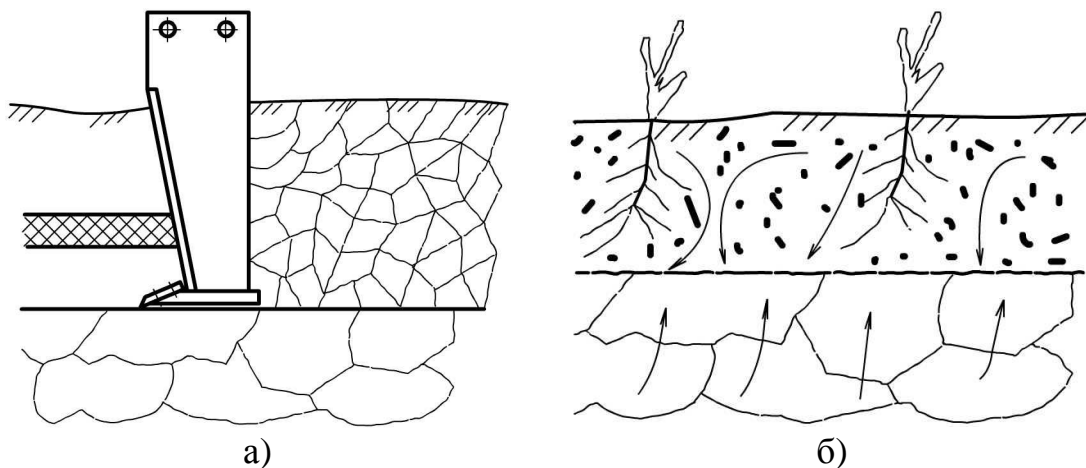


Рис.2. Схема щілювання та розвитку кореневої системи рослин: а – схема щілювання; б- схема розвитку кореневої системи рослин.

Основна функція будь-якого ґрунтообробного робочого органу – це зменшення щільності ґрунту. В цьому напрямку проведено багато теоретичних та експериментальних досліджень, починаючи з основоположника землеробської механіки В.П. Горячкіна. Тільки за останні 15-20 років вийшли з друку десятки робіт, направлених на визначення опору ґрунту при роботі ґрунтообробних робочих органів та визначення їх раціональних параметрів і режимів роботи.

Детально взаємодію ґрунтообробного знаряддя з ґрунтовим середовищем розглянув в своїх роботах А.М. Панченко [5, 6], який розробив аналітичні методи розрахунку ступеня розпушування ґрунту.

Адекватну ступінь розпушення ґрунту можна визначити за формулою [6]:

$$i = \frac{2 \cdot K_p \cdot E}{\sigma^2} + 1, \quad (1)$$

де  $K_p$  - питомий коефіцієнт опору ґрунту;

$E$  - модуль пружності ґрунту;

$\sigma$  - внутрішні напруження, що виникають в ґрунті при сколюванні.

Так, в роботі [7] визначено, що для ґрунту як пружно-в'язкопластичного середовища найбільш адекватними є рівняння зв'язку напружень з деформаціями, які описують поведінку тіла Вялова. Модель тіла Вялова передбачає наявність як залишкових об'ємних так і залишкових пластичних деформацій ґрунту, тобто відповідає реальному процесу його деформування. Фізичні рівняння зв'язку напружень з деформаціями для цього тіла мають вигляд:

$$\sigma_i = \frac{(-\dot{\varepsilon}) \cdot (\mu + \sigma_s / r)}{\mu \cdot \left( \frac{1}{\mu} + \frac{\mu(-1+\nu)^2}{(\mu - \mu \cdot \nu + 2 \cdot G \cdot t \cdot (1+\nu))^2} \right)}; \quad (2)$$

$$\tau_{i,j} = \frac{\dot{\gamma}_{i,j}}{\frac{\eta l}{(Gt + \eta l)^2} + \frac{\eta l}{t^2 \left( \frac{\eta l}{t} + \tau_s \right)^2}}, \quad (3)$$

де  $\dot{\varepsilon}_i$ ,  $\dot{\gamma}_{i,j}$  - швидкості деформації ґрунту;

$\sigma_i$ ,  $\tau_i$  - компоненти напружень;

$\mu$ ,  $\eta l$  - коефіцієнт в'язкості відповідно при об'ємних і зсувних деформаціях;

$\nu$  - коефіцієнт Пуассона;

$\sigma_s$  - граничне значення напружень;

$G$  - модуль пружності при зсувних деформаціях

$\tau_s$  - граничне значення дотичних напружень;

$t$  - час деформації;

$r$  - інваріант девіатора швидкостей деформації [7].

Залежності (1) і (2) вказують на можливість оптимізації параметрів та режимів роботи пасивного ґрунтообробного робочого органу. Для зменшення щільності ґрунту в результаті взаємодії з ним пасивного ґрунтообробного органу необхідно визначити фактори впливу –



геометричні параметри поверхні робочого органу, швидкісні його характеристики при відомих властивостях ґрунту - в'язкості, пружності, пластичності, які забезпечують виконання вказаної дії робочого органу.

Напружено-деформований стан ґрунту повинен визначатися для кожного конкретного типу ґрунту з відомими межами змін його властивостей. Тому і типи робочих органів та їх параметри будуть змінюватися в залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту та режимів роботи ґрунтообробних органів.

Багаторічні дослідження щілювання в різних ґрунтово-кліматичних умовах показують стабільне зростання урожайності сільськогосподарських культур на 15-20 %, а на схилових полях на 20-30%. При цьому термін дії щілин-дрен в ґрунті досягає 3-4 років.

Не дивлячись на це полицева оранка залишається основною для підготовки ґрунту під посів і вирощування сільськогосподарських культур. Вона забезпечує оборот скиби, кришення та перемішування ґрунту, загортання рослинних решток, органічних і мінеральних добрив.

З агрономічної точки зору оранка сприяє переміщенню верхнього безструктурного шару на місце нижнього, більш оструктуреного.

Як ми вже зазначили, тенденція зростання твердості ґрунту зі збільшенням глибини відзначається у всіх зонах України. Ущільнення підорного шару супроводжується зменшенням кількості та об'єму пор в ґрунті. Якщо пори мають діаметр менше 0,01 мм, то кореневі волоски не можуть проникати всередину.

Для розуцільнення підорного шару ґрунту використовують глибокорозпушувачі, але вони значно підвищують металоємність та енергоємність процесу. Нами запропонований пристрій, який покращує ці показники. Згідно з винаходом [8] основний обробіток ґрунту проводять плугом на глибину 22...25 см, а рихлення підорного шару – на глибину 35...40 см. З цією метою до польової дошки кріплять щілиноріз (рис. 3).

Щілиноріз виконує і іншу важливу роль – нарізає щілини, які відіграють роль ємкостей для накопичення вільної ґрунтової вологи і її раціонального використання кореневою системою рослин.

Накопичення вологи відбувається в основному в осінньо-зимовий період, тобто після осінньої оранки, а в період вегетації рослин ця волога сприяє швидкому їх розвитку, поліпшенню урожайності навіть в посушливі роки.

Як і плуг, плоскорізний обробіток ґрунту має ті ж вади – створює ущільнений підорний шар, який недоступний для проникнення в нього коренів рослин.

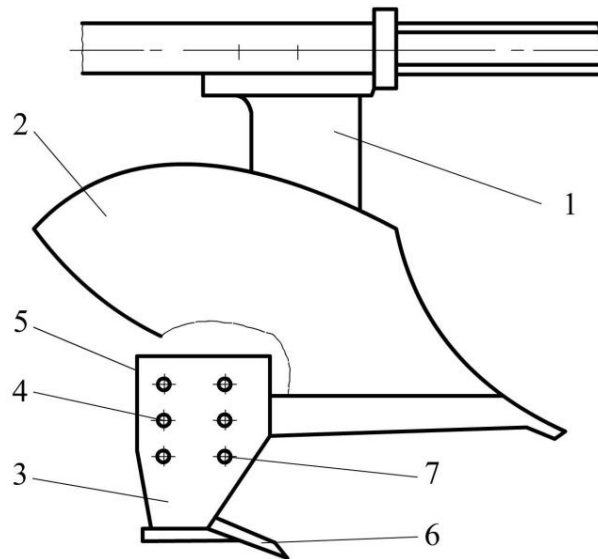


Рис. 3. Удосконалений плуг: 1 – стояк, 2 – полиця, 3 – щілиноріз, 4 – болт, 5 – наральник, 6 – долото, 7 – отвори для перестановки щілиноріза.

На кафедрі сільськогосподарського машинобудування КНТУ розроблений культиватор-плоскоріз КПЩ-5, який був доукомплектований щілинорізом (рис.4).

Щілиноріз встановлюють попереду середнього плоскорізу центральної рами культиватора КПЩ – 5. При трьох робочих органах ця машина може агрегатуватись з тракторами класом тяги до 2,0-3,0, а при п'яти – з 3,0.

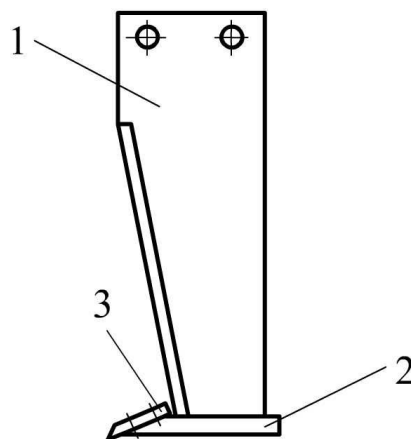


Рис. 4. Щілиноріз: 1 – стояк, 2 – наральник, 3 – долото.

Щілиноріз на культиваторі виконує наступні задачі:

- покращує експлуатаційні якості знаряддя, усунувши виглиблення робочих органів;

- виконує два агроприйоми – плоскорізний обробіток ґрунту на глибину 18...22 см; щілювання підорного шару на глибину 35-40 см для закладення системи щілин – дрен, які покращують притік повітря, вологи, поживних речовин (N, P, K) до кореневої системи рослин, активізує окиснювально-відновлювальні процеси в ґрунтовому розчині;

- покращує екологічний стан польових масивів, зменшує ерозію ґрунту.

Розділений по поверхні вібраційного робочого органу тиск ґрунту та його інтегральне значення, яке виникає при їх взаємодії зумовлює відхилення останнього від певної рівноваги, а якщо такий тиск що миттєво змінюється, то ми одержуємо класичний тип вібрацій, при якій амплітуда коливань має конкретний характер, який залежить як від типу робочих органів, так і від фізико-механічних властивостей ґрунту.

Зважаючи на ці явища та з метою подальшого зниження енергозатрат при щілюванні нами запропоновано використання пружинного елемента, який пов'язує верхню і нижню частини стояка (рис. 5) [9], створюючи при цьому вібраційний ефект.

Верхня і нижня частини стояка з'єднані між собою пружинним елементом 5. Для регулювання жорсткості робочого органу в залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту елемент 5 виконаний із набору тонких платівок із пружинної сталі, кількість яких змінна. Для забезпечення процесу вібрації ґрунтообробного робочого органу при будь-яких величинах твердості ґрунту радіус кривизни пружинних платівок виконаний змінним від мінімального в передній частині до максимального в задній.

Технологію щілювання можна застосувати безпосередньо і під час сівби [10]. Відповідно до цієї технології пристрій для нарізання щілин виконаний у вигляді V – подібної конструкції і встановлюється на агрегаті перед посівною секцією (рис. 6). Щілина 1 нарізується так, щоб борозна 2 з насінням розміщувалась близько до центру розхилу бокових стінок щілиноріза.

Під час сівби щілиноріз проводить рихлення ґрунту з боків і посередині насінневого рядка. На глибині, більшій глибини насінневого ложа, бокові частини щілиноріза сходяться і нарізають щілину глибиною, більшою 30 см. Це один із енергозберігаючих прийомів обробітку ґрунту та сівби, при якому забезпечується якісний обробіток ґрунту лише в зоні посівного рядка. При цьому енергоємність процесу підготовки ґрунту і посіву зменшується на 30-40 %.

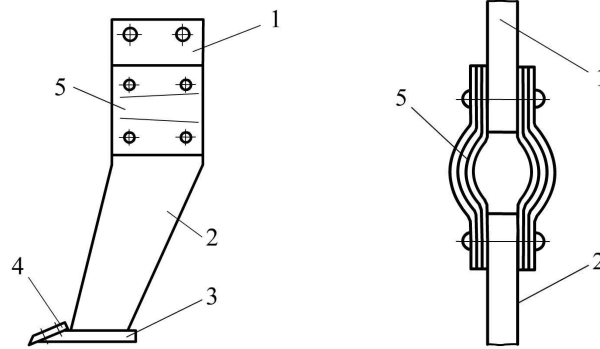


Рис. 5. Підпружинений стояк: 1 – верхня частина стояка, 2 – нижня частина стояка, 3 – п'ята, 4 – долото, 5 – пружний елемент.

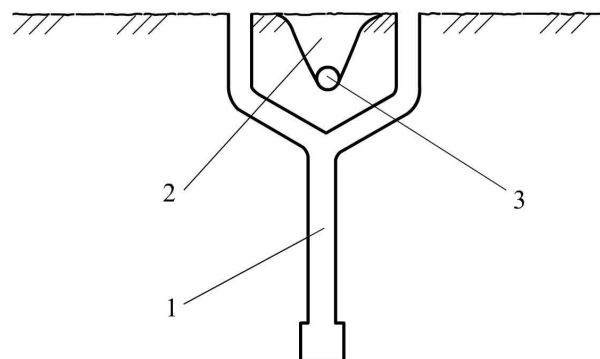


Рис. 6. Щілина з насіннєвим рядком: 1 – щілина, 2 – борозна, 3 - насіння.

*Висновки.* На протязі останніх десятиліть багатьма вченими світу доведена недоцільність полицевого обробітку ґрунту. Альтернативою такого обробітку ґрунту є плоскорізний обробіток в комбінації з щілюванням, а також мінімальний обробіток з проведенням технології щілювання ґрунту.

#### Література

1. Перспективы развития мелиоративных работ / Механизация и электрификация сельского хозяйства.– 1977.– № 5. С. 7-8.
2. Рабочие органы для нарезания противоэрозионных щелей / Механизация и электрификация с/х.– 1989.– № 5. С. 31-32.
3. Щелевание как способ обработки почвы / Механизация и электрификация сельского хозяйства.– 1990.– № 5. С. 25-26.
4. Шмат С.І. Ефективність застосування щілинорізів при обробітку ґрунту для вирощування сільськогосподарських культур / С.І. Шмат, О.В. Нех.- Кіровоград: 1999. Вип. 27.– С. 138-141.
5. Панченко А.Н. Аналитический метод определения тяговых сопротивлений почвообрабатывающих машин и оценка их эффективности для энергосберегающих технологий: [учеб. пособие] / А.Н. Панченко.- Днепропетровск: 1995.-96 с.

6. *Панченко А.Н.* Аналитические исследования крошения почвы с привлечением цифровой имитационной модели / *А.Н. Панченко, Б.А. Волик* // *Механізація сільськогосподарського виробництва* [Зб. наук. праць НАУ].- 1998.- Том IV.- С. 328-330.

7. *Ковбаса В.П.* Визначення впливу геометричної форми розпушувальної лапи на деформацію ґрунту / *В.П. Ковбаса* // *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин.*- Кіровоград:- 2004. Вип. 34.- С. 124-132.

8. Пат. 31744 Україна, МПК А1В 15/00 Спосіб обробітку ґрунту та пристрій для його здійснення / *Шмат С.І., Іванько І.П., Слободян С.М.* [та ін.]; заявник і патентовласник Кіровоград. нац. техн. ун-т.- №98105666; заявл. 1.02.98; опубл. 27.10.98, Бюл. №10.

9. Пат. 25169 Україна, МПК А0 1В 13/07. Ґрунтообробний робочий орган / *Шмат С.І., Лузан П.Г., Мачок Ю.В., Дейкун О.В., Теплюк А.О.*; заявник і патентовласник Кіровоград. нац. техн. ун-т.- №99052520; заявл. 30.03.07; опубл. 25.07.07. Бюл. №11.

10. Пат. 35717 Україна, МПК А1В 71/00 Спосіб обробітку ґрунту та посіву сільськогосподарських культур і пристрій для його здійснення / *Шмат С.І., Слободян С.М.* [та ін.]; заявник і патентовласник Кіровоград. нац. техн. ун-т.- №98031251; заявл. 1.02.00; опубл. 16.04.2001, Бюл. №3.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЩЕЛЕВАНИЯ**

С.И. Шмат, П.Г. Лузан, С.В. Колесник

**Аннотация** – работа посвящена моделированию технологических процессов обработки почвы с применением щелевания. Проведенный анализ эффективности наиболее распространенных щелерезов и определена их агротехническая оценка с целью повышения эффективности процессов щелевания.

## **TECHNOLOGICAL PROCESSES MODELLING OF SOIL CULTIVATION BY CRACKING**

S.Shmat, P. Luzan, V. Kolesnik

### **Summary**

The work is devoted to the design of technological processes of soil cultivation using cracking. The efficiency analysis of the most widespread crack-cutters is done and agrotechnical evaluation aimed at the cracking processes efficiency is defined.



Известны природно-климатические характеристики и параметры региона возделывания плодово-ягодных культур. При этом актуальной является задача обеспечения заданного теплового режима садов и питомников саженцев, находящихся в открытом грунте, в экстремальные промежутки времени года. Особо эти вопросы волнуют садоводов в трёх основных экстремальных периодах года: при первых осенних заморозках ( $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$  и ниже); в зимний период ( $-15^{\circ}\text{C}$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$  и ниже); при первых весенних заморозках ( $-1^{\circ}\text{C}$ ,  $-2^{\circ}\text{C}$  и ниже). Кратковременные заморозки не так опасны, как продолжительные, но последние менее значительные по силе.

*Анализ последних исследований.* Для обеспечения теплового режима садов в весенний период года издавна применялись дымовые костры, которые зажигали при ночной температуре воздуха в  $+2^{\circ}\text{C}$  и гасили не раньше, чем пройдет 1-1,5 часа после восхода солнца. Это позволяет повысить температуру воздуха на  $1-1,5^{\circ}\text{C}$ . Затем эта технология была усовершенствована: например, для сравнительно малых площадей садов (до 1,5 га) использовался пылесос с вливанием воды в поток воздуха, что увлажняло и утяжеляло дым, который затем стелился по саду, защищая его от понижения температуры [1]. Технологии борьбы с обледенением и ломкой кроны деревьев основываются на предварительной обработке кроны специальными растворами [1]. При этом применяется, например, следующий раствор: 10 частей воды; 0,5 части извести; 1,5 части просеянного песка или песчаной глины. Образовавшийся ледяной покров, вместе с раствором па кроне, легко осыпается с ветвей дерева [2]. Защита корневой системы осуществляется укрытием наземного слоя под деревьями [1, 2].

Математическим моделям описания динамики процессов в открытых агросистемах посвящены работы [3, 4]. Эти публикации дают методику построения математических моделей для описания процессов тепломассопереноса в открытых агросистемах. В работах [5-7] рассматриваются вопросы оптимизации параметров дискретных источников тепла по ограничениям в результирующее температурное поле. Результаты этих работ позволяют перейти к решению вопроса выбора и оптимизации параметров подвижных источников обогрева открытых агроэкосистем. Работы [11, 12] посвящены вопросам поиска оптимальных трасс в областях сложной формы и могут быть трансформированы на задачи оптимизации трасс передвижения источника обогрева.

*Формулирование целей статьи.* Целью работы является уточнение математической модели теплового баланса агроэкосистемы в состоянии скрытого заморозка с учётом взаимовлияния процессов теплообмена и массообмена друг на друга для определения необходимой

мощности источника теплоты и поддержания температуры листа на требуемом уровне.

*Основная часть.* Одним из видов заморозков есть скрытый заморозок. Для предсказания явления скрытого заморозка необходимо рассмотреть тепловой баланс листа. Теплообмен листа с окружающей средой сложным образом зависит от следующих параметров: температуры почвы; её отражательной способности (альbedo почвы); площади поверхности листьев обращенной к почве; переменной влажности воздуха; температуры окружающей среды; площади поверхности листьев обращенной к атмосфере; теплофизических свойств листа и окружающей атмосферы; скорости воздуха вокруг листа.

В работе [10] рассмотрено уравнение теплового баланса листа:

$$\pm Q_{accum} \pm Q_{micr} = \pm Q_{conv} \pm Q_{cond} \pm Q_{r\Sigma} \pm Q_{conduct}, \quad (1)$$

где  $Q_{accum}$  – количество теплоты аккумулированной (отданной) листом в единицу времени;

$Q_{micr}$  – теплота, выделившаяся в результате жизнедеятельности микроорганизмов и при протекании физиологических процессов в листе;

$Q_{r\Sigma}$  – суммарный радиационный тепловой поток от почвы, атмосферы и поток излученный листом;

$Q_{conv}$  – конвективный тепловой поток к поверхности листа;

$Q_{cond}$  – тепловой поток за счет конденсации водяного пара из атмосферного воздуха на листе;

$Q_{conduct}$  – тепловой поток за счет теплопроводности и массообмена по черенку листа.

В уравнении (1) знак плюс имеют тепловые потоки идущие к поверхности листа, минус – от неё. Приняв во внимание, что количество теплоты накопленной листом и количество теплоты переданной по черенку малы по сравнению с тепловыми потоками за счет излучения, конвекции и конденсации, а также, пренебрегая теплотой физиологических процессов в листе уравнение (1) запишется так:

$$\pm Q_{conv} \pm Q_{cond} \pm Q_{r\Sigma} = 0. \quad (2)$$

Рассмотрим члены этого уравнения и расставим знаки, приняв, что температура листа меньше, чем температура воздуха.

Конвективный тепловой поток к поверхности листа определим по уравнению Ньютона-Рихмана [11, 12, 13]:

$$Q_{conv} = \alpha \cdot F_l \cdot (T_a - T_l), \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$F_l$  – площадь поверхности листа, м<sup>2</sup>;

$T_a$  – температура атмосферного воздуха, К;

$T_l$  – температура листа, К.



Коэффициент теплоотдачи является сложной функцией от теплофизических параметров среды, формы теплообменной поверхности (листа) и величины шероховатости, характера обтекания. В работе [14] представлена формула для определения коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha = 4 + 2 \cdot W, \quad (4)$$

где  $W$  – скорость бокового ветра, м/с.

Тепловой поток за счет конденсации водяного пара из атмосферного воздуха на листьях запишется так [11, 12, 13]:

$$Q_{cond} = m_{cond} \cdot r_{cond}, \quad (5)$$

где  $r_{cond}$  – теплота конденсации (парообразования), Дж/кг;

$$m_{cond} = \beta \cdot F_{\dot{e}} \cdot (\rho_{va} - \rho_{v\dot{e}}) - \text{поток массы конденсирующегося водяного пара, кг/с;}$$

где  $\rho_{va}$  – плотность паров воды в атмосферном воздухе, кг/м<sup>3</sup>;

$$\rho_{vl} = \rho_{vsat}(T_l) - \text{плотность насыщенных паров воды в воздухе}$$

при температуре листа, кг/м<sup>3</sup>;

$$\beta - \text{коэффициент массоотдачи м/с.}$$

Для расчета коэффициента массоотдачи воспользуемся результатами теории пограничного слоя и теории подобия — тройной аналогией Рейнольдса-Прандтля. Данная аналогия позволяет, зная безразмерное поле скорости около поверхности, вычислить безразмерные поля температур и концентраций [11, 12, 13]. Также она позволяет найти связь между коэффициентами теплоотдачи и массоотдачи, которые сложным образом зависят от теплофизических параметров среды, формы и особенностей поверхности, картины течения вблизи поверхности, наличия и взаимовлияния соседних поверхностей теплообмена. Необходимо отметить, что существует взаимное влияние процессов конвективного теплообмена и массоотдачи друг на друга. В качестве первого приближения для расчета коэффициента массоотдачи с помощью коэффициента теплоотдачи возьмём равенство числа Стэнтона ( $St$ ) и диффузионного числа Стэнтона ( $St_D$ ):

$$St = \frac{\alpha}{\rho \cdot c_p \cdot W} = St_D \cdot \frac{\beta}{W}, \quad (6)$$

где  $\rho$ ,  $c_p$ ,  $W$  – плотность, теплоёмкость и скорость среды.

Из формулы (6) легко получить:

$$\beta = \frac{\alpha}{c_p \cdot \rho}. \quad (7)$$

Если плотность насыщенного водяного пара при температуре листа больше, чем плотность водяного пара в атмосфере, то конденсации на листьях происходить не будет.

Суммарний радіаційний тепловий потік від ґрунту, атмосфери та випромінюваний листом запишеться так:

$$Q_{r\Sigma} = Q_{r\text{soil}} + Q_{ra} - Q_{r\ddot{e}}, \quad (8)$$

де  $Q_{r\ddot{e}\Sigma} = Q_{r\text{soil}} + Q_{ra} - Q_{r\ddot{e}}$ ;

$Q_{r\text{soil}}$  – радіаційний тепловий потік від ґрунту до листка;

$Q_{ra}$  – радіаційний тепловий потік від атмосфери до листка;

$Q_{r\ddot{e}}$  – радіаційний тепловий потік від листка до ґрунту та атмосфери.

Кожний з радіаційних теплових потоків визначається на основі закону Стефана-Больцмана [11, 12]:

$$Q_r = \sigma \cdot F \cdot T^4, \quad (9)$$

де  $\sigma = (1 - A) \cdot \sigma_0$  – константа випромінювання сірого тіла, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);

$A$  – альбедо (відбивальна здатність) поверхні;

$\sigma_0 = 5,75 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>) – константа випромінювання Стефана-Больцмана абсолютно чорного тіла;

$F$  – площа випромінюючої поверхні, м<sup>2</sup>;

$T$  – температура поверхні, К.

Радіаційний тепловий потік від ґрунту запишеться наступним чином:

$$Q_{r\text{soil}} = \sigma_{\text{soil}} \cdot F_{\ddot{e}\text{soil}} \cdot T_{\text{soil}}^4, \quad (10)$$

де  $F_{\text{лsoil}}$  – площа поверхні листка, що повернена до ґрунту;

$T_{\text{soil}}$  – температура ґрунту.

При безхмарному небі радіаційний тепловий потік від атмосфери запишеться так [14]:

$$Q_{ra} = \sigma_0 \cdot \left( 0,526 + 0,0065 \cdot \sqrt{p_{va}} \right) \cdot F_{\ddot{e}a} \cdot T_a^4, \quad (11)$$

де  $p_{va}$  – парціальне тиск пари води (Па) в атмосферному повітрі;

$F_{\text{ла}}$  – площа поверхні листка, що повернена до атмосфери.

Випромінювання всього листка:

$$Q_{r\ddot{e}} = \sigma_{\ddot{e}} \cdot \left( F_{\ddot{e}\text{soil}} + F_{\ddot{e}a} \right) \cdot T_{\ddot{e}}^4. \quad (12)$$

В результаті теплового балансу (2) можна записати:

$$Q_{\text{conv}}(T_{\ddot{e}}) + Q_{\text{cond}}(T_{\ddot{e}}) + Q_{r\text{soil}} + Q_{ra} - Q_{r\ddot{e}}(T_{\ddot{e}}) = 0. \quad (13)$$

Рівняння (13) можна розв'язати чисельно відносно невідомої рівноважної температури листка. В роботі [10] отримано рівняння для визначення різниці температур між повітрям та

листом при скрытом заморозке ( $T_a - T_l$ ) в котором теплота конденсации рассчитывается по экспериментальной формуле Онзагера:

$$Q_{cond} = B \cdot (p_{va} - p_{v\bar{e}}(T_{\bar{e}})), \quad (14)$$

где  $B$  – одинаковый числовой экспериментальный коэффициент;  
 $p_{va}$  – парциальное давление паров воды в атмосферном воздухе на высоте 2 м;

$p_{vl}$  – парциальное давление паров воды в атмосферном воздухе возле поверхности листа, на которой происходит конденсация.

Каких либо зависимостей коэффициента  $B$  от коэффициента теплоотдачи и скорости бокового ветра в [10] не представлено.

Однако необходимо учитывать взаимное влияние процессов теплоотдачи и массоотдачи к поверхности листа (5-7).

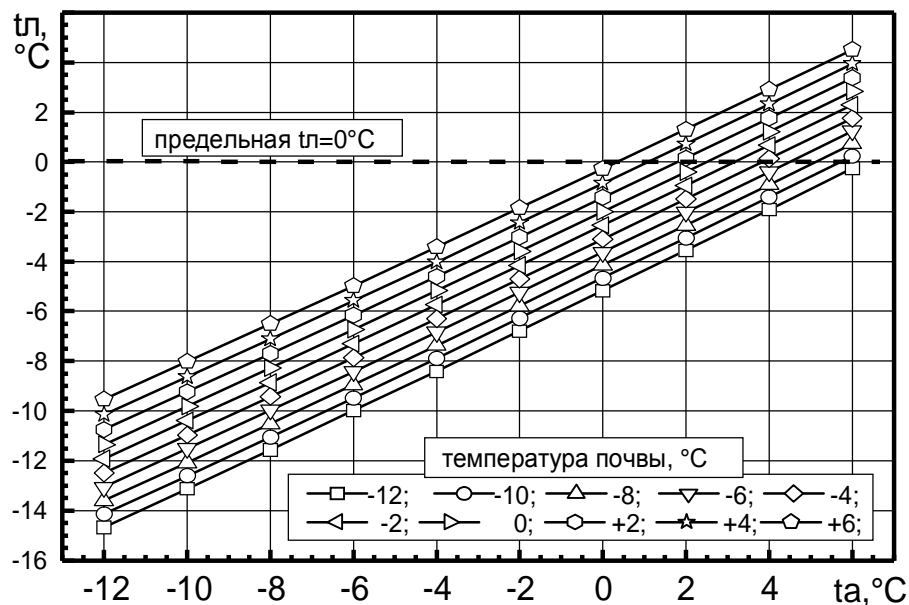


Рис.1. Зависимость равновесной температуры листа от температур атмосферы и почвы.

На рис.1 представлены результаты расчета равновесной температуры листа по уравнению (13) при следующих условиях: влажность атмосферно воздуха равна 60%; скорость бокового ветра равна 0 м/с; площадь поверхности листьев обращенной к атмосфере и почвы равны по 1 м<sup>2</sup>; площадь всей поверхности листьев равна 2 м<sup>2</sup>; безоблачная погода; альбедо почвы равно 0,05; альбедо листьев равно 0,15.

Параметры атмосферы задавались на высоте 2 м.

Из рис.1 видно, что равновесные температуры листа идут практически линейно. Это связано с тем, что при данных условиях конденсации на листьях не происходит.

Если задать предельную температуру листа, то это уравнение позволит определить необходимый тепловой поток, подвод которого к

листу позволит удержать температуру листа на требуемом уровне. При этом:

$$Q_{conv}(T_{\text{elim}}) + Q_{cond}(T_{\text{elim}}) + Q_{rsoil} + Q_{ra} - \mathcal{Q}_{r\dot{e}}(T_{\text{elim}}) = \Delta Q. \quad (15)$$

Если разница тепловых потоков отрицательна, то к листу необходимо подвести такое же количество теплоты, которое выровняет тепловой баланс в ноль. На рис.2 представлены расчеты для предельной температуры листа равной  $0^{\circ}\text{C}$  и тех же условий что и для рис.1.

Так, например, на 1 квартал сада ( $100\text{м} \times 100\text{м}$ ) при диаметре кроны 3 м и ширине прохода между рядами 3 м приходится 16 рядов деревьев. При этих условиях занимаемая площадь под деревьями составляет  $4800 \text{ м}^2$ . В табл.1 представлена суммарная мощность источника теплоты для одного квартала сада (Вт) для тех же условий что и для рис.1 и 2. Знак минус указывает на то, что такое секундное количество теплоты необходимо подвести к листьям деревьев во всём квартале сада.

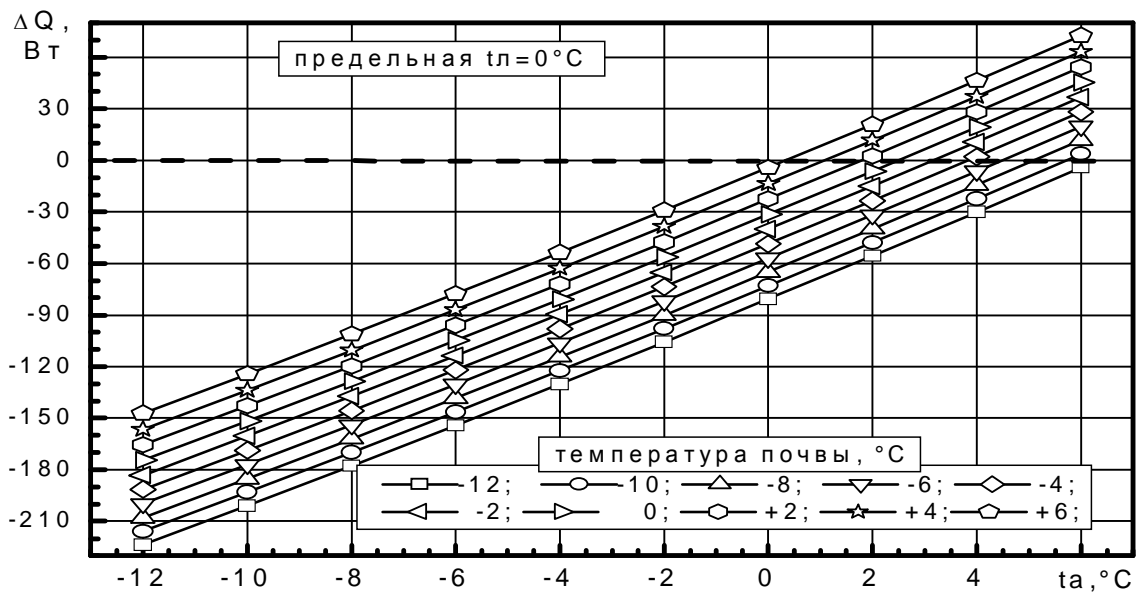


Рис.2. Зависимость требуемой мощности источника теплоты для поддержания температуры листа равной  $0^{\circ}\text{C}$  в зависимости от температур атмосферы и почвы.

На основе анализа метеоданных Коломакского района Харьковской области за пятилетний период можно вывести примерную связь между температурой воздуха и почвы во время заморозка:

$$T_{\text{soil}} = T_{\text{air}} - 7 \quad (16)$$

С учётом данной зависимости (16) представлен график (рис.3), который показывает, что более сухой воздух способствует возникновению заморозка листа, в то время как влажный воздух ему противо-

стоит, это явление связано с уменьшением парциального давления паров воды в более сухом воздухе и соответствующим снижением теплоты излучения атмосферы (11), которое подогревает лист.

Таблица 1 – Суммарная мощность источника теплоты для 1 квартала сада, где  $T_a$  – температура атмосферы, К;  $T_{soil}$  – температура почвы, К.

$T_a$ $T_{soil}$	261,15	263,15	265,15	267,15	269,15	271,15	273,15	275,15	277,15	279,15
261,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
263,15	1073,96	964,53	853,33	740,18	624,93	507,42	387,52	267,25	144,45	-19,17
265,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,09
267,15	1036,71	927,29	816,09	702,93	587,69	470,18	350,26	229,99	107,19	56,21
269,15	-998,58	889,16	777,96	664,80	549,56	432,05	312,14	191,87	-69,07	95,20
271,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	135,08
273,15	-959,60	850,18	738,98	625,82	510,53	393,06	273,15	152,87	-30,07	175,86
275,15	-919,69	810,31	699,07	585,91	470,67	353,18	233,27	112,99	9,81	217,55
277,15	-878,93	769,51	658,31	545,16	429,90	312,40	192,49	-72,21	50,58	260,17
279,15	-837,24	727,82	616,62	503,47	388,20	270,71	150,80	-30,52	92,28	303,72
	-794,62	685,20	574,00	460,84	345,59	228,09	108,18	12,09	134,89	348,24
	-751,07	641,64	530,44	417,28	302,04	184,54	-64,63	55,65	178,44	
	-706,53	597,16	485,96	372,77	257,52	140,03	-20,12	100,16	222,96	

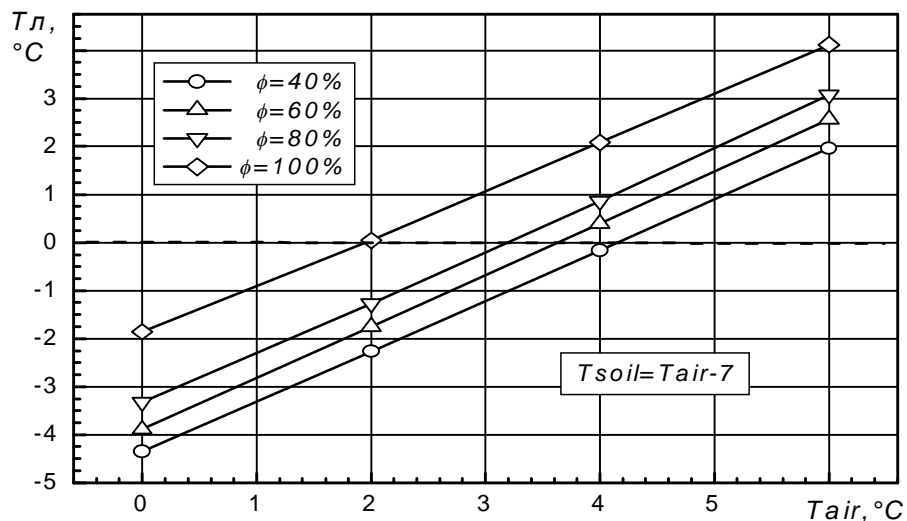


Рис.3. Равновесная температура листа в зависимости от температуры атмосферы на высоте 2 м, разности температур между воздухом и почвой 7°C при различной относительной влажности атмосферного воздуха.

Также видно что при температурах воздуха  $+6^{\circ}\text{C}$  и температуре почвы  $-1^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности от 40% до 100% заморозка не возникает, поэтому в дальнейшем это сочетание параметров не рассматривается.

При защите сада обдувом теплыми струями [15] из уравнения (15) определения теплового потока ( $\Delta Q$ ), подвод которого к листу позволяет поддерживать температуру листа ( $T_{lim}$ ) на требуемом уровне, необходимо выбросить теплоты конвекции и конденсации, поскольку теплопотери листа будут определяться только радиационным теплообменом с почвой и атмосферой, а относительно тёплый воздух вокруг листа, который вытеснил холодный воздух от листа, должен компенсировать эти теплопотери.

Таблица 2 - Потребные количество теплоты и расход топлива для поддержания температуры листа на заданном уровне ( $T_{л}=+1^{\circ}\text{C}$ ) в течении 1 часа при различной относительной влажности.

$T_{air},$ $^{\circ}\text{C}$	$T_{soil},$ $^{\circ}\text{C}$	$\varphi = 40\%$		$\varphi = 60\%$		$\varphi = 80\%$		$\varphi = 100\%$	
		$\Delta Q, \text{МДж}$	$m_f, \text{кг}$	$\Delta Q, \text{МДж}$	$m_f, \text{кг}$	$\Delta Q, \text{МДж}$	$m_f, \text{кг}$	$\Delta Q, \text{МДж}$	$m_f, \text{кг}$
0	-7	164,364	4,325	148,804	3,916	135,691	3,571	105,332	2,772
2	-5	128,693	3,387	111,494	2,934	96,999	2,553	73,169	1,925
4	-3	91,652	2,412	72,648	1,912	56,700	1,492	заморозка нет	

В табл.2 представлены количество теплоты ( $\Delta Q$ ) и потребный расход топлива ( $m_f$ ) для удержания температуры листа в течении 1 часа на уровне  $+1^{\circ}\text{C}$  при низшей теплотворной способности топлива ( $H_u$ ) 38 МДж/кг для двух рядов деревьев на одном прогоне квартала сада.

Из табл.2 видно, что наиболее потребное количество теплоты нам необходимо при более сухом воздухе, поэтому дальнейшие результаты приводятся для относительной влажности атмосферного воздуха  $\varphi = 40\%$ .

Желательно это количество энергии ввести в воздух за время одного прохода техники по улице квартала, поскольку это количество рассчитано на два ряда деревьев, то можно проходить квартал через улицу. По [8, 11, 12] определим расход воздуха подогревающего вентилятор [15] из уравнений (17, 18):

$$\Delta Q = m_{vent} \cdot c_{p vent} \cdot (T_{vent} - T_{air}) \cdot \Delta \tau_{ул}, \quad (17)$$

где  $m_{vent}$ ,  $c_{p vent}$ ,  $T_{vent}$  – массовый расход, теплоёмкость, температура тёплого воздуха от греющего вентилятора,

$\Delta \tau_{ул}$  – время прохода техники по одной «улице».

$$\Delta m_{vent} = \frac{\Delta Q}{c_{p vent} \cdot (T_{vent} - T_{air}) \cdot \Delta \tau_{ул}}, \quad (18)$$

Задаваясь різною швидкістю руху техніки і прийняв що температура теплового повітря не перевищує температуру листа більше ніж на  $5^{\circ}\text{C}$  (більш висока температура можливо обожжить лист) можна з (17) визначити масовий витіток вентилятору  $m_{vent}$ .

Результати розрахунку представлені в табл.3. Знаючи масовий витіток повітря можна визначити об'ємний годинний витіток повітря (тисяч  $\text{м}^3/\text{ч}$ ), який нам знадобиться для вибору вентиляторів по формулі [9].

$$V_{vent} = \frac{m_{vent} \cdot R_{air} \cdot T_{н.у}}{P_{н.у}} \cdot 3,6. \quad (19)$$

Таблиця 3 – Потребний витіток повітря від греючого вентилятору.

	$V$ , км/ч	5	10	15	20	30	40	50	
	$V$ , м/с	1,389	2,778	4,167	5,556	8,333	11,111	13,889	
	$\Delta\tau_{вл}$ , с	72	36	24	18	12	9	7,2	
$m_{vent}$ , кг/с	$T_{air}$ , $^{\circ}\text{C}$	0	379	757	1136	1514	2271	3029	3786
		2	445	889	1334	1779	2668	3557	4446
		4	633	1267	1900	2533	3800	5066	6333
$V_{vent}$ , $10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$	$T_{air}$ , $^{\circ}\text{C}$	0	1146	2292	3438	4584	6876	9169	11461
		2	1346	2692	4038	5384	8076	10768	13460
		4	1917	3834	5752	7669	11503	15338	19172

По результатам розрахунку (табл.3) видно, що підвищення температури повітря призводить до зростання потрібного витітку повітря через вентилятор из-за зменшення різниці температур ( $T_{vent} - T_{air}$ ), якщо всі потрібне кількість теплоти отримувати від теплої струї. Цей витіток можна зменшити за рахунок збільшення допустимої температури струї.

#### Висновки.

1. Уточнена математична модель прихованої заморозки з урахуванням взаємодії процесів теплообміну і масообміну один на одного.

2. Визначено необхідну сумарну потужність джерела тепла для підтримки температури листа на потрібному рівні.

3. Отримані в статті результати дозволяють перейти до розв'язку спектра завдань, пов'язаних з забезпеченням рухомого дискретного джерела обігріву агрокосмосистеми, володіючого можливостями зміни його потужності, траєкторії переміщення, швидкості руху.

4. При температурах повітря вище граничної температури листа можлива комбінована теплова захиста саду з допомогою підігріву повітря і перемішування теплового повітря, але цей питання потребує подальшого кількісного роз'яснення.

5. При температуре воздуха равной или ниже предельной температуры листа, невозможно за один проход техники по улице квартала, обеспечить тепловую защиту сада за счёт обдува струями тёплого воздуха, поскольку промышленность не выпускает стандартных вентиляторов на большую производительность.

6. Вопрос о допустимой температуре нагревающей струи ( $T_{vent}$ ) требует дальнейшего прояснения.

#### Литература

1. *Васюта В.М.* Справочник садовода / *Васюта В.М., Рыбак Г.М., Клименко С.В.* – К.: Наукова думка, 1990. – 352 с. – ISBN 5-12-001375-9.
2. *Васильева К.М.* Сад и цветы / *К.М. Васильева, И.И. Чубарина* – Петрозаводск: Карелия, 1973. – 375 с. – ISBN 1-11-1.
3. *Полуэктов Р.А.* Динамические модели агроэкосистемы / *Ратмир Александрович Полуэктов* – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 311 с. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 311 с. – ISBN 5-286-00552-7
4. *Марчук Г. И.* Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / *Гурий Иванович Марчук.* – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. – 319 с. – ISBN 5-02-033218-6.
5. *Стоян Ю.Г.* Оптимизация технических систем с источниками физических полей / *Ю.Г. Стоян, В.П. Путятин*; АН УССР, Институт проблем машиностроения – К.: Наукова думка, 1988. – 188, [1] с. – ISBN 5-12-009354-X.
6. *Стоян Ю.Г.* Размещение источников физических полей / *Ю.Г. Стоян, В.П. Путятин*; АН УССР, Институт проблем машиностроения – К.: Наукова думка, 1981. – 182 с.
7. *Чубаров Е.П.* Контроль и регулирование с подвижным локальным воздействием / *Евгений Петрович Чубаров.* – М.: Энергия, 1977. – 208 с.
8. *Вукалович М.П.* Техническая термодинамика / *М.П. Вукалович, И.И. Новиков* – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 336 с.
9. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3ч. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн.2. / *Б.В. Баркалов, Н.Н. Павлов, С.С. Амирджанов и др.*; под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. -4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1992. – 416 с. ISBN 5-274-01155-1.
10. *Чудновский А.Ф.* Заморозки / *Абрам Филиппович Чудновский* – М.: Гидрометеиздат, 1949. – 124 с.
11. *Исаченко В.П.* Теплопередача / *Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.*; изд. 3-е перераб., доп. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
12. *Михеев М.А.* Основы теплопередачи / *М.А. Михеев, И.М. Михеева*; изд. 2-е, стереотип. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.



13. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике / Давид Альбертович Франк-Каменецкий; изд 2-е перераб. и доп. – М.: Наука, 1967. – 491 с.

14. Комплексное исследование и моделирование взаимосвязанных процессов переноса тепла, влаги и водорастворимых соединений в почвогрунтах / Бровка Г.П., Дедюля И.В., Ровдан Е.Н., Сычевский В.А. // Труды IV Минского Международного Форума по тепло- и массообмену (22-26 мая 2000 г.). Том 8. Тепломассообмен в капиллярно-пористых телах. – Минск: АНК «ИТМО имени А.В. Лыкова» НАНБ, 2000. – с.135-144. – ISBN 0-948749-98-9.

15. Патент №32163. Україна. Мобільний пристрій для захисту рослин від заморозків / Фришев С.Г., Рудницька Г.В., Колосок І.О. (Україна). – № u200713756; заявл. 10.12.2007; опубл. 12.05.2008.

### **ОБГРУНТУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОТИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЖИМІВ АГРОЕКОСИСТЕМИ**

В.И. Пастухов, А.В. Сергеева, А.В. Рудницкая

**Анотація** – запропоновано математичну модель агроєкосистеми в стані прихованого заморозку з урахуванням взаємовпливу процесів теплообміну і массообміну один на одного для визначення необхідної потужності джерела теплоти та підтримки температури листа на необхідному рівні.

### **SUBSTANTIATION OF CAPACITY OF THE SOURCE OF WARMTH FOR MAINTENANCE OF THERMAL MODELS AGROECOSYSTEM MODES**

V. Pastukhov, A. Rudnytskaya, A. Sergyeyeva

#### **Summary**

The mathematical model agroecosystem in a condition of the latent frost with the account of interference of processes of heat exchange and exchange of weights against each other is offered and necessary capacity of a source of warmth for maintenance of temperature of sheet at demanded level is defined.

УДК 621.9-621.98

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗНОСА РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН

Дудников А.А., к.т.н.,

Беловод А.И., к.т.н.,

Лапенко Т.Г. к.т.н.

*Полтавская государственная аграрная академия*

Тел. (05322) 2-29-81

Кившик А.П., к.т.н.

*Полтавский Облагроснаб*

Тел. (0532) 50-91-91

***Аннотация*** - приводятся теоретические зависимости, позволяющие определять износы контактирующих поверхностей деталей машин в процессе их эксплуатации.

***Ключевые слова*** - износ, деформация, поверхность трения, удельное давления, рабочие органы, процесс упрочнения.

*Постановка проблемы.* Многие элементы машин изнашиваются при взаимодействии с твердой средой (телом). В этом случае необходимо производить оценку износа рабочей поверхности элемента машины, учитывая основные воздействия внешней среды, определяющие интенсивность этого процесса и распределение износа по поверхности трения.

Для этих деталей характерным является: формирование внешних воздействий на основании динамики работы рассматриваемого механизма с учетом соприкосновения средой поверхностей трения; влияние самого износа на изменение условий контакта. Примером таких элементов могут служить рабочие органы: почвообрабатывающих и посадочных машин, свеклоуборочной техники, шнеки для подачи сыпучих смесей и др. Указанные элементы, как правило, работают в тяжелых условиях и, как правило, определяют надежность работы агрегата или машины.

*Анализ последних исследований.* При расчете износа этих поверхностей может быть применен методический подход, когда исходная закономерность изнашивания материала детали распространяется на поверхность трения. Следует при этом учитывать специфику кинематических и силовых факторов, характерных для данного типа

машин, а также технологический процесс упрочнения рабочих поверхностей деталей.

*Формулирование целей статьи.* Изучение износа указанных поверхностей деталей требует проведения специальных исследований.

*Основная часть.* При определении износа следует учитывать как условия касания контактируемой со средой поверхности детали, так и деформацию поверхностных слоев материала деталей в процессе их эксплуатации.

Нельзя не отметить, что выявление характера распределения давления и деформаций в местах контакта является одной из основных задач.

Классические задачи для малых площадей контакта (теория Герца-Беляева) разработаны достаточно подробно. Однако случай, когда начальный контакт происходит по значительной поверхности и значительную роль играют контактные деформации, а не деформация материала деталей, не имеет пока законченного решения.

Условия касания поверхности позволяет получить дополнительное уравнение при расчете износа, если считать, что касание происходит по всей номинальной поверхности и основную роль играет деформация микронеровностей в зоне контакта.

При совместном учете контактных деформаций и износа условия касания могут быть выражены следующими уравнениями:

- при известном направлении сближения контактируемых тел

$$\Delta_{1-2} = \frac{(\dot{E}_1 + \dot{E}_2) + (\delta_1 + \delta_2)}{\tilde{n} \cos \alpha}; \quad (1)$$

- при самоустановке поверхностей

$$(\dot{E}_1 + \dot{E}_2) + (\delta_1 + \delta_2) = \Delta_1 \left(1 - \frac{l}{l_0}\right) + \Delta_1 \frac{l}{l_0}, \quad (2)$$

где  $\Delta_{1-2}$ ,  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  - величины взаимного сближения деталей с учетом деформации и износа поверхностей;  $\dot{E}_1$  и  $\dot{E}_2$  - линейный износ деталей в данной точке, измеренный по нормали к поверхности трения;  $\alpha$  - угол между нормалью к поверхности трения и направлением возможного сближения деталей;  $l$  и  $l_0$  - соответственно нормальная и действительная длина контакта поверхности деталей.

При решении контактной задачи необходимо знать как исходные закономерности изнашивания материалов, так и законы деформации поверхностных слоев. Во многих случаях зависимость контактного перемещения  $\delta$  от давления  $p$  на поверхности выражается степенной функцией [1]:

$$\delta = \lambda \cdot p^n, \quad (3)$$

где  $\lambda$  и  $n$  – константы, зависящие от геометрии поверхности и свойств материалов.

Рассмотрим решение контактной задачи определения износа и деформации дисков поверхностей при линейных законах изнашивания. Применим условие касания для дисков поверхностей при одновременном действии контактных деформаций и износа.

Поскольку изношенные и деформированные поверхности должны совпадать, обеспечивая контакт, то для любой точки поверхности трения можно записать:

$$(\dot{E}_1 + \dot{E}_2) + (\delta_1 + \delta_2) \Delta = const. \quad (4)$$

С учетом законов деформаций и законов изнашивания получаем следующую зависимость:

$$(\lambda_1 + \lambda_2)p + (K_1 + K_2)2\pi n r t p = const, \quad (5)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – определяемые в производственных условиях коэффициенты, когда известны условия работы машины;  $p$  – давление на поверхности контакта;  $\rho$  – текущий радиус поверхности.

После дифференцирования уравнения (5), учитывая, что  $p$  является функцией  $\rho$ , получаем:

$$(\lambda_1 + \lambda_2) \frac{dp}{d\rho} + 2\pi n t (K_1 + K_2) \cdot \left( \rho \frac{dp}{d\rho} + p \right) = 0. \quad (6)$$

Обозначим величины, не зависящие от  $p$  и  $\rho$  через  $B$ :

$$B = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2\pi n (K_1 + K_2) t}. \quad (7)$$

Интегрируя уравнения (6), получим зависимость давления от радиуса  $\rho$ :

$$p = \frac{C}{B + \rho}. \quad (8)$$

Постоянная  $C$  может быть определена из уравнения статики:

$$P = \int_s p \tilde{n} \cos \alpha dS, \quad (9)$$

где  $P$  – высшая сила;  $S$  – поверхность трения.

Подставляя в уравнение (9) значение  $p$  и произведя интегрирование, получаем:

$$C = \frac{P}{2\pi \left( R - r - B \ln \frac{B + R}{B + r} \right)}, \quad (10)$$

где  $R$  и  $r$  – соответственно наружный и внутренний радиус диска.

Решая совместно уравнение (9) и (10) получаем:

$$p = \frac{P}{2\pi \left( R - r - B \ln \frac{B + R}{B + r} \right)} \cdot \frac{1}{B + \rho}. \quad (11)$$

Данная зависимость позволяет находить удельное давление в зоне контакта поверхностей деталей.

*Выводы.* Из данного выражения вытекает, что при  $B = 0$  ( $t = \infty$ ) перераспределение статического давления в динамическое длится весьма долго. При  $B = \infty$  ( $t = 0$ ) второй сомножитель превращается в нуль, т.е.  $p$  не зависимо от  $\rho$  и в этом случае имеет место статистическое давление, обеспечивающее снижение величины износа контактируемых поверхностей.

Литература

1. Левина З.М. Контактная жесткость машин / З.М.Левина., Д.Н. Решетов - М.: Машиностроение, 1991. – 264 с.
2. Поверхностная прочность материалов при трении /под ред. Б.И. Костецкого. – К.: Техника, 1976. – 291с.
3. Сулима А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.

## ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ЗНОСУ РОБОЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИН

А.А. Дудников, О.І. Біловод, Т.Г. Лапенко, О.П.Кившик

**Анотація** - приводяться теоретичні залежності, що дозволяють визначати знос контактуючих поверхонь деталей машин в процесі їх експлуатації.

## THEORETICAL ASPECTS OF TEARING DOWN OF WORKERS ELEMENTS OF MACHINES

A.Dudnikov, A.Belovod, T.Lapenko, O.Kivshik

### *Summary*

**Theoretical dependences over, which allow to determine tearing down of contacting surfaces of details of machines in the process of their exploitation, are Brought.**

УДК 631.331

## МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТАЦИОНАРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР МЕТОДОМ ИХ ОЧЕСЫВАНИЯ НА КОРНЮ

Леженкин А.Н., к.т.н.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-68-74

**Аннотация** – в статье приводится математическая модель уборочного процесса и ее анализ, а также сравнительная оценка существующей комбайновой и предлагаемой стационарной технологии уборки методом очесывания растений на корню.

**Ключевые слова** – математическая модель, очесывание растений на корню, модель функционирования, уборочная машина, стационар.

*Постановка проблемы.* Уборка является ключевой операцией в общей технологической цепи возделывания зерновых культур. Однако, техническое обеспечение зернопроизводства находится на недостаточном уровне.

В Украине наблюдается серьезное сокращение парка зерноуборочных комбайнов. Общее количество комбайнов за 17 лет уменьшилось более чем в 2,5 раза и составляет 41 тыс.шт. [1].

Кроме того, комбайновая технология уборки имеет ряд существенных недостатков, которые снижают ее эффективность.

Повысить эффективность можно, если вместо традиционного скашивания и обмолота использовать метод очесывания растений на корню [2]. При этом наиболее целесообразным является очесывание растений в поле и доработка очесанного вороха на стационаре [3].

В этой связи встает проблема научного обоснования технологии уборки зерновых культур.

*Анализ последних исследований.* Исследованию метода очесывания растений на корню посвящены работы Шабанова П.А. [4], Данченко Н.Н. [5], Голубева И.К. [6], Повиляя В.М. [7], Гончарова Б.И. [8] и др. Данные исследования направлены, главным образом, на обоснование и разработку очесывающих устройств.

Разработке стационарной технологии уборки зерновых культур посвящены исследования [9, 10, 11]. Дальнейшим развитием данных

исследований применительно к условиям фермерских хозяйств явились работы [2, 12, 13].

*Формулирование целей статьи.* С целью обоснования стационарной технологии уборки зерновых культур необходимо решить следующие задачи:

- разработать и обосновать общую технологическую схему уборки зерновых культур методом их очеса на корню;
- разработать модели функционирования технологических процессов машин и агрегатов, обеспечивающих эффективную уборку и послеуборочную доработку зерновых культур;
- построить общую математическую модель всего уборочного процесса и проанализировать ее;
- научно обосновать и выполнить процедуры учета энергозатрат комбайновой и стационарной технологий уборки зерновых культур.

*Основная часть.* На основании анализа результатов предыдущих исследований [А. Б. Лурье, Л. В. Погорелова, Э. В. Жалнина, П. А. Шабанова, Н. Н. Данченко, И. К. Голубева. и др.], а также исследований агробиологических и механико-технологических свойств зерновых культур была разработана структурная схема технологического процесса уборки зерновых культур методом очесывания их на корню (рис.1), преобразующая входные воздействия в виде условий функционирования  $X(\Gamma_q)$  в выходные  $Y(\Gamma_q)$ , определяющие количественные и качественные показатели работы.

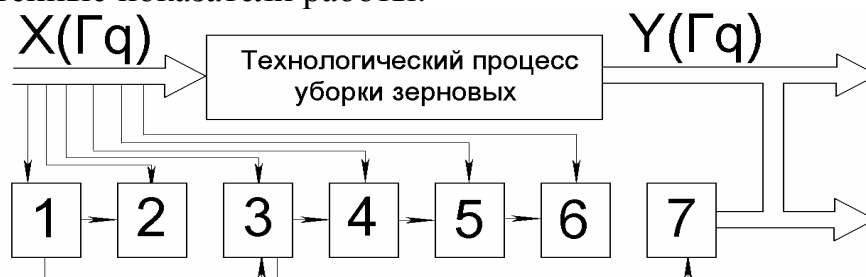


Рис.1. Модель функционирования технологического процесса уборки зерновых методом очеса на корню.

Подсистемами в данной системе являются, в основном, последовательно соединенные технологические процессы, выполняемые комплексами мобильных машин и стационарных агрегатов, например, таких как: 1 - очесывание растений на корню; 2 - срез, измельчение и разбрасывание очесанной соломы по полю; 3 - сепарация очесанного вороха; 4 – измельчение оборванных колосков и грубых солоmistых примесей; 5 – смешивание измельченной массы; 6 – приготовление кормовых брикетов; 7 – очистка зернового вороха.

Уборочный процесс зерновых является сложной многопараметрической системой, схема функционирования которой имеет иерархи-

ческую структуру, включающую в себя модели отдельных процессов, явлений и их взаимосвязи.

Первой операцией в технологической цепи уборки зерновых культур является очес растений на корню, который выполняет полевая уборочная машина.

Полевая уборочная машина работает в условиях постоянно меняющихся внешних воздействий вероятностной природы. Такими факторами являются: неровности поверхности поля  $Z(l)$ , вызывающие колебания очесывающего устройства, урожайность соломы  $U_c(l)$  и зерна  $U_3(l)$ , высота стеблестоя  $H(l)$ , влажность зерна  $W_3(l)$  и влажность соломы  $W_c(l)$  и т.д. В связи с этим все внешние воздействия и выходные показатели работы полевой уборочной машины следует рассматривать как случайные функции (процессы) времени или пути. Для изучения технологического процесса уборочной машины представим ее в виде информационной модели, построенной по принципу «вход-выход» (рис.2).

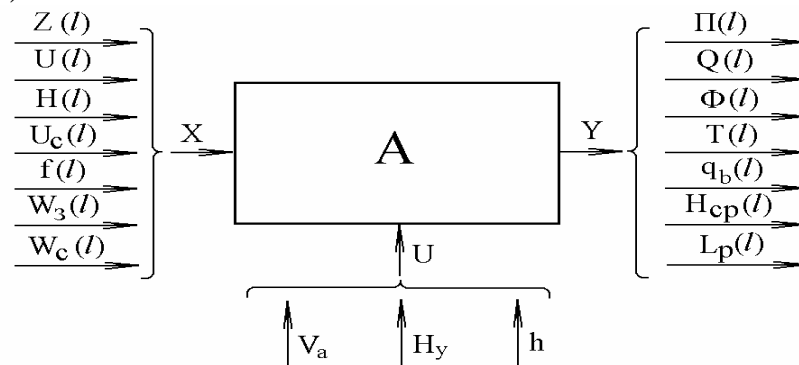


Рис.2. Информационная модель технологического процесса полевой уборочной машины.

На входе модели действует вектор-функция условий работы (внешних возмущений):

$$X = \{Z(\ell), U(\ell), H(\ell), U_c(\ell), f(\ell), W_3(\ell), W_c(\ell)\}. \quad (1)$$

В качестве выходной переменной принимается вектор-функция количественных показателей выполнения технологического процесса уборки:

$$Y = \{П(\ell), Q(\ell), Ф(\ell), Т(\ell), q_b(\ell), H_{cp}(\ell), L_p(\ell)\}, \quad (2)$$

где  $П(\ell)$  - суммарные потери зерна за машиной;

$Ф(\ell)$  - фракционный состав вороха;

$Т(\ell)$  - общее травмирование зерна;

$Q(\ell)$  и  $q_b(\ell)$  - производительность характеризующаяся количеством уборочной площади (га/ч) и количеством очесанного вороха в единицу времени (кг/с);

$H_{cp}(\ell)$  - высота среза стерни;



$L_p(\ell)$  - длина резки соломы.

Управляющими воздействиями в модели являются глубина погружения очесывающего устройства в стебли ( $h$ ), скорость движения уборочного агрегата ( $V_a$ ) и высота установки режущего аппарата.

Второй операцией технологического процесса уборки зерновых является доработка очесанного вороха.

Доработка зернового вороха может быть представлена в виде взаимосвязанных операций, описывающей возможные реализации отдельных технологических операций различными рабочими органами (рис. 3). Стационарная работа этих рабочих органов в поточной линии, особенности их технологических процессов, а также особенности очесанного вороха, определяют специфику моделей, а также методов и средств обеспечения их технологической надежности.

Модель функционирования технологического процесса, выполняемого бункером-дозатором очесанного вороха, можно рассматривать, как модель трех основных технологических операций: кратковременное хранение (ХВ), транспортирование (ТВ) и дозирование (ДВ). Вектор входных возмущений модели (БД) целесообразно рассматривать как многокомпонентный градиент, описывающий состояние очесанного вороха, характеризуемого его фракционным составом  $\Phi(t)$ , размерно-массовыми характеристиками  $L(t)$ , влажностью зерна  $W(t)$  и влажностью соломы  $W_c(t)$ .

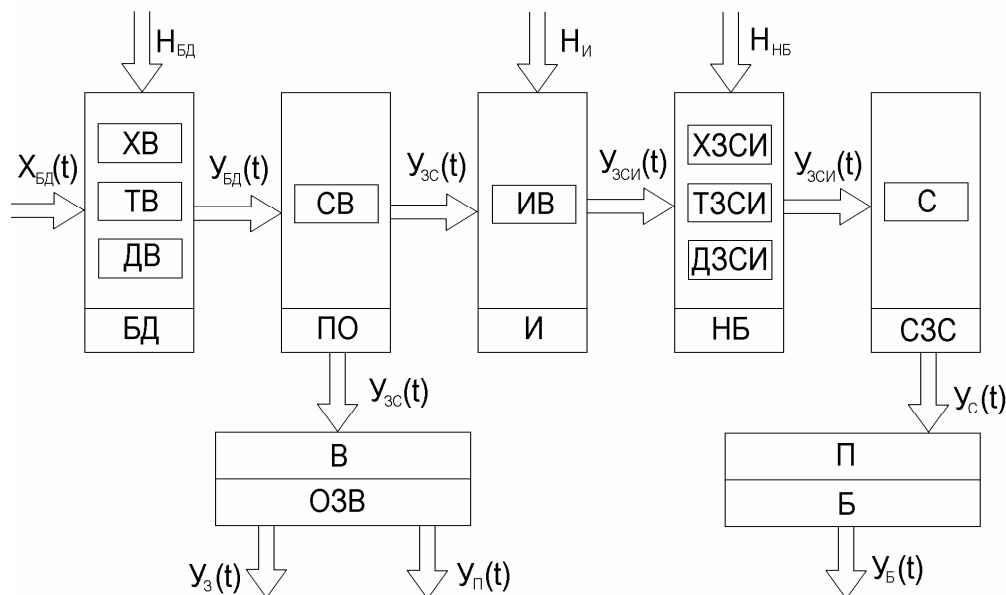


Рис.3. Структурно-логическая схема функционирования стационарного пункта доработки очесанного вороха.

Результатом функционирования  $Y_{БД}(t)$  технологического процесса бункера-накопителя является дозированная подача вороха на предварительную обработку. Величина подачи характеризуется век-



пункт. При этом учитывалось, что поток порций очесанного вороха (требуваний) создают полевые уборочные машины, накапливая его в прицепных емкостях. Прицеп-тележка трактором перемещается с поля на стационарный пункт доработки, и тем самым, создает поток порций очесанного вороха (требуваний) на доработку (обслуживание) их стационарным агрегатом.

Возможные состояния технологической цепи уборочного процесса, которые учитывают функционирование, местонахождение и взаимодействие машин, как в поле, так и на зернотоке, можно представить в виде графа состояний (рис. 4).

На основании построенного графа состояний и интенсивности переходов была получена математическая модель уборочного процесса в виде системы алгебраических уравнений (3) описывающих совместное функционирование звеньев УТК.

Интенсивности потоков очесанного вороха ( $\lambda_{у.м}$  и  $\lambda_{т}$ ), трактора с пустым прицепом при движении с зернотока на поле  $\lambda_{т.х}$  и обслуживания машинами порций вороха ( $\lambda_{т.з}$ ,  $\lambda_{в.п}$ ,  $\lambda_{д}$ ) определялись из зависимостей:

$$\lambda_{у.м.} = \frac{1}{t_{у.м.}}; \lambda_{м.з.} = \frac{1}{t_{м.з.}}; \lambda_{м.} = \frac{1}{t_{м.}}; \lambda_{м.х.} = \frac{1}{t_{м.х.}}; \lambda_{в.п.} = \frac{1}{t_{в.п.}}; \lambda_{д.} = \frac{1}{t_{д.}}, \quad (4)$$

где  $\lambda_{у.м.}$  и  $t_{у.м.}$  - интенсивность и среднее время заполнения уборочной машиной тележки очесанным ворохом;

$\lambda_{т.з.}$  и  $t_{т.з.}$  - интенсивность и среднее время замены полной тележки на пустую;

$\lambda_{т}$  и  $t_{т}$  - интенсивность и среднее время перемещения тележки с ворохом на зерноток;

$\lambda_{т.х.}$  и  $t_{т.х.}$  - интенсивность и время холостого движения трактора с пустым прицепом;

$\lambda_{в.п.}$  и  $t_{в.п.}$  - интенсивность и время выгрузки полного прицепа в бункер;

$\lambda_{д}$  и  $t_{д}$  - интенсивность и время на доработку вороха.

Для сбора очесанного вороха были разработаны технологические схемы прицепной (рис 5) и самоходной уборочных машин с рабочими органами очесывающего типа конструкции лаборатории уборочных машин ТДАТУ.

Технологический процесс прицепной уборочной машины (рис. 5) протекает следующим образом. При движении машины по полю очесывающее устройство очесывает растение, воздушный поток создаваемый барабанами 2 и 3 направляет ворох в приемную камеру 11, откуда он скребковым транспортером 4 подается в пневмотранспортер 6 и под воздействием воздушного потока создаваемого центробежным



Оценка адекватности полученной модели проводилась согласно значений множественного коэффициента регрессии и дисперсии неадекватности. Согласно проведенных расчетов, множественный коэффициент регрессии находится в диапазоне 0,9977...1,000, а дисперсия неадекватности равняется нулю. Из приведенных данных следует, что полученная модель обладает достаточной точностью для описания изменения вероятностей нахождения машин уборочного комплекса в различных состояниях.

После раскодировки математическая модель приняла вид [17]:

$$\begin{aligned}
 p_1 &= 0,118248 - 31,2267 \cdot \lambda_D - 30,16 \cdot \lambda_T + 8533,33 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 175,975 \cdot \lambda_{YM} - \\
 &\quad - 30285,7 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} - 6349,21 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_2 &= 0,0140236 - 1,404444 \cdot \lambda_D + 0,568889 \cdot \lambda_T - 711,111 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + \\
 &\quad + 55,0889 \cdot \lambda_{YM} - 6857,14 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + 7936,51 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_3 &= 0,0644853 - 18,3289 \cdot \lambda_D - 11,1467 \cdot \lambda_T + 3377,78 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 104,346 \cdot \lambda_{YM} - \\
 &\quad - 29142,9 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + 7936,51 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_4 &= 0,0644689 + 5,06667 \cdot \lambda_D - 20,7378 \cdot \lambda_T - 2133,33 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 41,2698 \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 14285,7 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} - 11111,1 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_5 &= - 0,00290133 + 1,40444 \cdot \lambda_D + 2,26667 \cdot \lambda_T - 888,889 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 16,0603 \cdot \lambda_{YM} \\
 &\quad - 6285,71 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + 7936,51 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \tag{5} \\
 p_6 &= - 0,0218262 + 15,1022 \cdot \lambda_D + 13,0044 \cdot \lambda_T - 7644,44 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 157,397 \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 31428,6 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} - 65079,4 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_7 &= 0,730871 - 35,6444 \cdot \lambda_D - 114,462 \cdot \lambda_T + 21688,9 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T - 737,733 \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 25142,9 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + 138095 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_8 &= 0,00466578 - 1,36 \cdot \lambda_D + 0,444444 \cdot \lambda_T + 44,1841 \cdot \lambda_{YM} - 12571,4 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 3174,6 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_9 &= 0,0295476 - 4,01778 \cdot \lambda_D - 8,23111 \cdot \lambda_T + 1955,56 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 19,4032 \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 15428,6 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + 7936,51 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_{10} &= - 0,00122844 - 0,186667 \cdot \lambda_D - 0,871111 \cdot \lambda_T + 533,333 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + \\
 &\quad + 21,3365 \cdot \lambda_{YM} \\
 &\quad - 5142,86 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} - 1587,3 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_{11} &= - 0,0164431 + 6,59556 \cdot \lambda_D + 21,0222 \cdot \lambda_T - 7111,11 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 24,5016 \cdot \lambda_{YM} - \\
 &\quad - 12571,4 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + 11111,1 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_{12} &= 0,134399 + 3,08444 \cdot \lambda_D - 42,6222 \cdot \lambda_T - 888,889 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 87,3778 \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 30857,1 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} - 12698,4 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_{13} &= - 0,0309062 + 14,2578 \cdot \lambda_D + 8,124444 \cdot \lambda_T - 5155,56 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 77,946 \cdot \lambda_{YM} - \\
 &\quad - 35428,6 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + 22222,2 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_{14} &= - 0,027972 + 0,728889 \cdot \lambda_D + 11,2 \cdot \lambda_T - 1777,78 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 232,857 \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 14285,7 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} - 85714,3 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_{15} &= - 0,055648 + 43,2267 \cdot \lambda_D + 168,16 \cdot \lambda_T - 8533,33 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T - 324,133 \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 4571,43 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} - 33333,3 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_{16} &= 0,00122 + 1,15556 \cdot \lambda_D + 1,68 \cdot \lambda_T - 711,111 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T - 2,58413 \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 3428,57 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + 11111,1 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}.
 \end{aligned}$$

В качестве оценочного критерия функционирования УТК был

принят коэффициент эффективности уборочных машин, транспортных средств и стационарного агрегата доработки вороха.

$$\eta_{у.м.} = \frac{1}{Y} \sum Y_j p_{yj}; \quad \eta_m = \frac{1}{T} \sum T_j p_{mj}; \quad \eta_o = \frac{1}{D} \sum D_j p_{oj}. \quad (6)$$

где  $Y_j$  - число работающих уборочных машин;

$T$  - число тракторов для транспортировки очесанного вороха;

$D$  - число агрегатов доработки очесанного вороха;

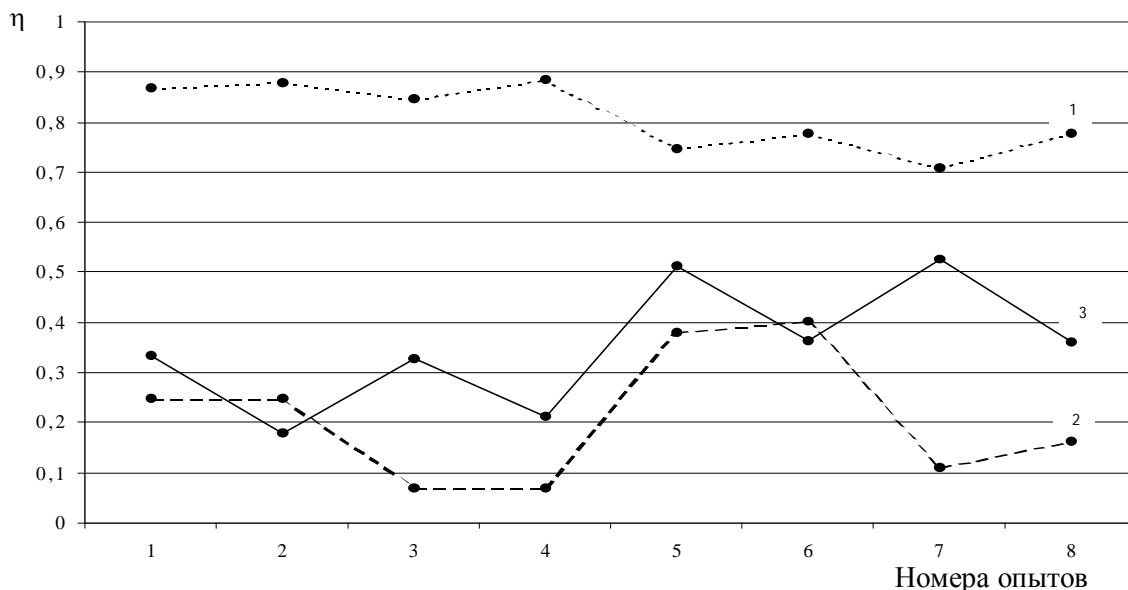
$P_{Y_j}$ ,  $P_{T_j}$ ,  $P_{D_j}$  - соответствующие вероятности состояний.

Полученные математические модели (5), а также формулы (6) дают возможность найти выражение для определения коэффициента эффективности в зависимости от изменений интенсивности потоков, которые в общем случае зависят от производительности звеньев УТК.

При расчете принималось число тракторов для транспортировки очесанного вороха равным числу уборочных агрегатов, а также было принято, что в фермерском хозяйстве функционирует один стационарный агрегат доработки очесанного вороха.

Тогда с учетом формул (6), а также графа состояний и интенсивностей переходов уборочно-транспортного комплекса (рис. 5) коэффициенты эффективности уборочной машины, трактора для транспортировки очесанного вороха и стационарного агрегата доработки определяются из соотношений перевозок.

$$\begin{aligned} \eta_{у.м.} &= p_1 + p_3 + p_4 + p_7 + p_8 + p_{11} + p_{12} + p_{15} \\ \eta_g &= p_1 + p_2 + p_3 + p_5 + p_8 + p_{10} + p_{12} + p_{13} \\ \eta_T &= p_1 + p_2 + p_4 + p_6 + p_8 + p_{10} + p_{12} + p_{14}. \end{aligned} \quad (7)$$



1 – изменение коэффициента эффективности уборочной машины;

2 – изменение коэффициента эффективности агрегата;

3 – изменение коэффициента эффективности трактора.

Рис.6. Диаграмма изменений коэффициентов эффективности звеньев УТК

Коэффициенты эффективности, переменные величины, так как они зависят от численных значений вероятностей состояний звеньев уборочно-транспортного комплекса, которые в свою очередь измеряются в зависимости от значений интенсивностей потоков.

Уравнения, характеризующие изменение коэффициента эффективности имеют вид:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{УМ}} &= 0,62564 - 10,20576 \cdot \lambda_{\text{Д}} + 23,36674 \cdot \lambda_{\text{Т}} + 14934,1 \cdot \lambda_{\text{Д}} \cdot \lambda_{\text{Т}}; \\ \eta_{\text{Д}} &= 0,30179 - 14,360615 \cdot \lambda_{\text{Т}} + 242,564 \cdot \lambda_{\text{У}} + 28572,3 \cdot \lambda_{\text{Т}} \cdot \lambda_{\text{УМ}}; \\ \lambda_{\text{Т}} &= 0,25802 - 17,76225 \cdot \lambda_{\text{Д}} + 498,01 \cdot \lambda_{\text{УМ}} + 36000 \cdot \lambda_{\text{Д}} \cdot \lambda_{\text{УМ}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Численные значения коэффициентов эффективности в зависимости от значений интенсивностей потоков приведены на диаграмме (рис.6).

Как видно из приведенной диаграммы (рис. 6) коэффициент эффективности уборочной машины изменяется в диапазоне 0,746...0,884, т.е. его значения незначительно зависят от производительности уборочной машины. Исходя из полученного результата уборочная машина практически полностью загружена. Ее простои обусловлены технологическими причинами (сменой заполненной тележки).

Таблица 1 - Сравнительные данные энергозатрат комбайновой и стационарной технологий.

Наименование показателей	Единица измерения	Комбайновая технология	Стационарная технология с применением очесывающих устройств
Прямые затраты энергии при работе	МДЖ/га	Комбайна 627,7	Трактора 325,46
	МДЖ/кг	0,21	0,108
Энергозатраты живого труда при работе	МДЖ/га	Комбайна 71,73	Трактора 33,6
	МДЖ/кг	0,024	0,011
Энергоемкость	МДЖ/га	Комбайна 769	Трактора 39,03
	МДЖ/кг	0,25	0,013
	МДЖ/га	Комбайна 7,69	Уборочной машины 60,46
	МДЖ/кг	0,25	0,02
	МДЖ/га	-	Прицепа 2ПТС-40 149,36
	МДЖ/кг	-	0,02
Прямые энергозатраты на перевозку зерна с поля на зерноток	МДЖ/га	Автомобиля 152,77	Трактора 204
	МДЖ/кг	0,051	0,068
Энергоемкость	МДЖ/га	Автомобиля 24,88	Трактора 38,95
	МДЖ/кг	0,0083	0,013

Продолжение таблицы 1.

	МДЖ/га МДЖ/кг	- -	Прицепа 2ПТС-40 149,36 0,02
Энергозатраты живого труда при перевозке зерна	МДЖ/га МДЖ/кг	Автомобиля 30,0 0,01	Тракториста 33,6 0,011
Расчет энергозатрат на доработку очесанного вороха			
Прямые энергозатраты на сепарацию очесанного вороха	МДЖ/га МДЖ/кг	- -	6,0 0,002
Прямые энергозатраты на домолот оборванных колосьев	МДЖ/га МДЖ/кг	- -	27,0 0,009
Прямые энергозатраты на работу трансп. механизмов	МДЖ/га МДЖ/кг	- -	9,0 0,003
Энергоемкость агрегата доработки вороха	МДЖ/га МДЖ/кг	- -	75,0 0,006
Энергозатраты живого труда при доработке вороха	МДЖ/га МДЖ/кг	- -	Операторов 13,02 0,004
Энергозатраты на уборку соломы			
Прямые энергозатраты на измельчение соломы	МДЖ/га МДЖ/кг	146,46 0,024	- -
Прямые энергозатраты на транспортировку соломы	МДЖ/га МДЖ/кг	512 0,085	8,65 0,011
Энергоемкость трактора для транспортировки соломы	МДЖ/га МДЖ/кг	41,6 0,007	- -
Энергоемкость прицепа-тележки для перевозки соломы	МДЖ/га МДЖ/кг	298,72 0,004	- -
Энергозатраты живого труда при перевозке соломы	МДЖ/га МДЖ/кг	35,86 0,005	- -
Энергоемкость трактора при скирдовании соломы	МДЖ/га МДЖ/кг	41,6 0,007	39,03 0,005
Энергоемкость погрузчика	МДЖ/га МДЖ/кг	7,44 0,007	6,97 0,009
Прямые затраты энергии на скирдование соломы	МДЖ/га МДЖ/кг	762 0,127	99,06 0,127
Затраты живого труда при скирдовании соломы	МДЖ/га МДЖ/кг	183,6 0,03	13,4 0,0017
Полные энергозатраты на уборку зерновой и незерновой части урожая	МДЖ/га	3705,6	1255,95
Полные энергозатраты на уборку и трансп. зерна	МДЖ/кг	0,56	0,31
Полные энергозатраты на уборку, транспортировку и скирдование соломы	МДЖ/кг	0,31	0,203



В свою очередь эффективность использования трактора напрямую зависит от плеча. При увеличении расстояний от поля до зернотока коэффициент эффективности трактора увеличивается и составляет 0,512...0,520, при минимальных расстояниях его значение находится в диапазоне 0,18...0,361. При расчетах принималось расстояние от поля до зернотока равным 2,5...4,0 км. Увеличение плеча перевозок очесанного вороха до 8 км может привести к простоям уборочного агрегата, из-за отсутствия пустой тележки. Поэтому наиболее целесообразно для фермерских хозяйств располагать зерноток на расстоянии 4,0...5,0 км от поля.

Численные значения коэффициента эффективности агрегата доработки очесанного вороха колеблются в широких пределах 0,07...0,401 и зависят от интенсивности.

Невысокие значения коэффициента эффективности агрегата доработки играют в целом позитивную роль, так как при этом нет простоев уборочного агрегата в поле и доставляемые с поля порции очесанного вороха обрабатываются своевременно.

Для оценки эффективности стационарной технологии уборки предлагается использовать энергетический критерий.

С этой целью была проведена сравнительная оценка энергозатрат на уборку урожая зерновых культур по существующей комбайновой и разработанной стационарной технологии с применением очеса растений на корню (табл. 1) [18].

*Выводы.* 1. Выполненные в данном исследовании методологические разработки в области совершенствования технологии уборки зерновых культур позволили сформировать общую технологическую схему уборки зерновых, включающую в себя сбор очесанного вороха в поле и его последующую доработку на стационаре.

Результаты исследований технологических процессов уборочных агрегатов и условий их функционирования посредством структуризации функции управления позволили наметить пути их совершенствования, заключающиеся в формализованном описании состояний уборочно-транспортного комплекса (УТК) и установлении временных характеристик для оценки состояний элементов УТК с последующим определением параметров и режимов работы стационарного агрегата доработки очесанного вороха.

2. Экспериментально установлено, что уборочные агрегаты в условиях нормального функционирования находятся под воздействием входных возмущений, имеющих вероятностную природу. К ним относятся урожайность зерна и соломы, высота стеблестоя, влажность зерна и соломы и т.д. Вероятностная природа входных возмущений обуславливает вероятностный характер выходных процессов и оказывает существенное влияние на показатели эффективности технологи-

ческих процессов УТК.

3. В работе технология уборки зерновых методом очёса растений на корню представлена динамической системой с многокомпонентными случайными (в вероятностном смысле) входами  $X(\Gamma q)$  в виде условий функционирования и выходом  $Y(\Gamma q)$ , определяющим качество уборочного процесса. Функционирование уборочной машины рассматривается как её реакция на входные воздействия, заданные многокомпонентной вектор-функцией

$$X = \{Z(l), U_3(l), H(l), U_C(l), f(l), W_3(l), W_C(l)\}$$

при фиксированном управлении  $u = \{h, V_a, H_y\}$ , обеспечивающие результат в виде  $m$ -мерной вектор-функции

$$Y = \{П(l), Q(l), \Phi(l), T(l), q_6(l), H_{cp}(l), L_p(l)\}.$$

4. Установлено, что общепринятый анализ экономической эффективности технологии уборки, основанный на сравнении затрат на производственный процесс не всегда объективно отражает эффективность выполненных исследований и разработок.

В данном случае для оценки эффективности технологии предлагается сравнительный анализ энергозатрат на уборку зерновой и не-зерновой части.

5. Анализ энергозатрат позволяет утверждать, что предлагаемая технология позволяет снизить общие энергозатраты на уборку 1 га на 66%, энергозатраты, приходящиеся на уборку и транспортировку на зерноток 1 кг зерна на 45%, а энергозатраты, приходящиеся на транспортировку и скирдование соломы на 35%.

#### Литература

1. Статистичний щорічник України за 2007 рік / За ред.Осауленко. – К.: Консультант, 2008. – 572 с.

2. Кушнарєв А.С. Энергосберегающая технология уборки зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств / А.С. Кушнарєв, А.Н. Леженкин // Перспективные технологии уборки зерновых культур, риса и семян трав: сб. докл. междунар. научн.- технич. конф. – Мелитополь, 2003.- С. 17 – 21.

3. Пат. 20841 Україна, МПК А01D41/08. Спосіб збирання зернових культур/ О.М. Леженкін (Україна).- №И200609091; под. 16.08.2006; надр. 15.02.2007,бюл.№2.

4 Шабанов П.А. Механико-технологические основы обмолота зерновых культур на корню: дис...докт. техн. наук / П.А. Шабанов.– Мелитополь – 1988. – 336 с.

5 Данченко Н.Н. Обоснование параметров щеточного устройства для очесывания метелок риса на корню: автореф. дис... канд. техн. наук / Н.Н. Данченко. – Челябинск, 1983. – 15 с.

6 *Голубев И.К.* Обоснование основных параметров и режимов работы двухбарабанного устройства для очеса риса на корню: дис... канд. техн. наук / И.К. Голубев. – М., 1989. – 201 с.

7 *Повиляй В.М.* Исследование процесса уборки селекционных посевов риса методом очесывания метелок на корню и обоснование параметров очесывающего устройства: дис... канд. техн. наук / В.М. Повиляй. – Краснодар, 1980. – 165 с.

8 *Гончаров Б.И.* Исследование рабочего процесса очесывающего устройства для обмолота риса на корню с целью уменьшения потерь зерна: дис... канд. техн. наук / Б.И. Гончаров. – М., 1982. – 217 с.

9 Разработать и внедрить перспективную технологию уборки зерновых культур в хозяйствах Приазовского района, обеспечивающую повышение производительности в 1,5...2,0 раза, снижение потерь зерна в 2...3 раза: отчет о НИР/МИМСХ; Рук. В.Н. Цыбульников – Мелитополь, 1986.- 67 с.

10 Разработать и внедрить перспективную технологию уборки зерновых культур в хозяйствах Приазовского района, обеспечивающую повышение производительности в 1,5...2,0 раза, снижение потерь зерна в 2...3 раза: отчет о НИР/МИМСХ; Рук. Н.Н. Данченко. - Тема 0270-Х; №ГР01860043979. – Мелитополь, 1987. – 82 с.

11 Разработать и внедрить перспективную технологию уборки зерновых культур в хозяйствах Приазовского района, обеспечивающую повышение производительности в 1,5...2,0 раза, снижение потерь зерна в 2...3 раза; отчет о НИР/МИМСХ; Рук. П.А. Шабанов. - Тема 0270-Х; №ГР01860043979. – Мелитополь, 1988. – 44 с.

12 *Леженкин А.Н.* Перспективная технология уборки зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств Юга Украины / А.Н. Леженкин // Актуальные проблемы инженерного обеспечения АПК: международ. науч. конф. . – Ярославль, 2003. – Ч. III. - С. 28 – 29.

13 *Леженкин А.* Уборка зерновых методом очеса / А. Леженкин // Сел. механизатор.-2004.-№11.- С.27.

14 *Леженкин А.Н.* Моделирование полевой уборки зерновой части урожая машиной для фермерских и крестьянских хозяйств / А.Н. Леженкин // Механизация и электрификация сел. х-ва. – 2005. - №5. – С. 15 – 18.

15 *Леженкин О.М.* Оптимізація технологічного процесу збирання зернових для фермерських та селянських господарств / О.М. Леженкін // Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2005. – Вип.25. – С. 130 – 140.

16 *Леженкин А.Н.* Формирование стационарной технологии уборки зерновых культур в условиях фермерских хозяйств Украины / А.Н. Леженкин // Праці ТДАТА. – 2006. – [Вип.40]. - С. 195 – 204.

17 *Леженкин А.Н.* Математические модели технологического процесса уборки зерновых культур / А.Н. Леженкин // Вестник / МГАУ

им. В.П. Горячкина. Агроинженерия.- 2008.- Вып.1(26).- С.67-69.

18 *Леженкин А.Н.* Энергетическая оценка стационарной технологии уборки зерновой части урожая / А.Н. Леженкин// Механиз. и электриф. сел. хоз-ва.-2007.-№2.- С.5-7.

## **МЕТОДОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ СТАЦІОНАРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР МЕТОДОМ ЇХ ОЧОСУВАННЯ НА КОРЕНІ**

О.М. Леженкін

*Анотація* - у статті приводиться математична модель збирального процесу і її аналіз, а також порівняльна оцінка існуючої комбайнової й запропонованої стаціонарної технології збирання методом очосування рослин на корені.

## **METHODOLOGY OF MODELLING OF STATIONARY TECHNOLOGY OF CLEANING OF GRAIN CROPS THEIR METHOD ON THE ROOT**

A. Lezhenkin

### *Summary*

**In article the mathematical model of harvest process and its analysis, and also a comparative estimation of existing traditional and offered stationary technology of cleaning by a method plants on a root is resulted.**

УДК 658.011.56

## МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ПРИ ОЧИЩЕННІ ЗЕРНА НА ЗЕРНОПУНКТАХ

Постнікова М.В., асп. \*

Никифорова Л.Є., д.т.н.,

Карпова О.П., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-23-41

**Анотація** – запропоновано для розробки науково-обґрунтованих норм витрат електроенергії на потокових лініях зернопунктів враховувати фізико-хімічні фактори зерна, які впливають на питому витрату електроенергії.

**Ключові слова** – раціональне використання електроенергії, вологість зерна, засміченість зерна, питомі витрати електроенергії.

*Постановка проблеми.* Питомі витрати електроенергії на виконання технологічних операцій по очищенню зерна на зернопунктах залежать від багатьох технологічних, технічних та суб'єктивних факторів. Більшість з цих факторів є змінними і мають тісний зв'язок між собою. Як правило, зміна одного з них викликає зміну інших. Деякі фактори, що впливають на витрату електроенергії, мають конкретні кількісні значення. До них відносяться фізико-механічні фактори зерна, технологічні, енергетичні фактори. Деякі з них не піддаються кількісній оцінці, наприклад, кваліфікація оператора, різні відхилення при виконанні технологічних операцій. Тому питання виявлення впливу фізико-хімічних факторів на питому витрату електроенергії є актуальним.

*Аналіз останніх досліджень.* Вивченням взаємозв'язку між енергетичними характеристиками технологічного обладнання при очищенні зерна і нормуванням електроенергії займалися вчені в системі хлібоприймальних підприємств [1], а також в сільському господарстві - для агрегатів, які виробляє “Вороніжсільмаш” [2]. Ястребов П.П. [1] теоретично узагальнив енергетичну проблему в процесах зберігання хлібних культур, якою він займався 35 років. Автор дав енергетичну оцінку різним видам операцій і процесів на хлібоприймальних підприємствах. Однак, на жаль, результатами цих досліджень

---

© д.т.н., Никифорова Л.Є., асп. Постнікова М.В., к.т.н. Карпова О.П.

\* Науковий керівник – д.т.н., доц. Никифорова Л.Є.

неможливо скористатися для ЗАВ-20, ЗАР-5, ЗАВ-40, ЗАВ-25, так як набір машин хлібоприймальних підприємств відрізняється від набору машин ЗАВ.

Карпова О.П. [2] досліджувала електроспоживання зернопунктів при багатофакторному впливі на процес впливу фізико-механічних, технологічних, енергетичних факторів на електроспоживання, отримала багатофакторну модель електроспоживання для агрегатів ЗАВ-20, ЗАР-5 методами планування експерименту. Автор запропонувала науково-обґрунтовані норми питомої витрати електроенергії при обробці зерна на агрегатах ЗАВ-20, ЗАР-5 для півдня України. Для цього були проведені натурні дослідження на агрегатах ЗАВ-20, ЗАР-5. Однак, подібні дослідження добре було б застосувати і для інших, більш продуктивних агрегатів – ЗАВ-40, ЗАВ-50 та ін.

*Формулювання цілей статті.* Метою статті є виявлення впливу фізико-хімічних факторів зерна на питому витрату електроенергії.

*Основна частина.* Як показали дослідження [2, 3], всі фактори, що впливають на питому витрату електроенергії стосовно до зернопунктів можна поділити на наступні виробничі фактори: фізико-хімічні, технологічні, енергетичні.

До фізико-хімічних факторів відносяться: вид зернової культури, вологість, засміченість, об'ємна маса, сипкість. Найбільший вплив на питому витрату електроенергії оказують вид зернової культури, вологість зерна. Питома витрата електроенергії на очистку ячменя вище, ніж пшениці в середньому на 13%, на очистку однієї тонни насіння вище, ніж однієї тонни продовольчого зерна в середньому на 20%.

Із збільшенням вологості на 1% питома витрата електроенергії збільшується в середньому на 0,2 кВт·год./т – 18%. Пояснюється це тим, що із збільшенням вологості зерна зменшується його об'ємна маса. А це є причиною зниження продуктивності зерноочисних машин. В середньому продуктивність при зростанні вологості на 1% знижується на 0,5 т/год. (рис. 1, 2).

Дослідження проводилися для зерна з різною вологістю в межах від 10 до 17%. В результаті досліджень було отримано безліч енергетичних характеристик, з яких видно, що питома витрата електроенергії із збільшенням вологості зерна зростає (рис. 3).

Засміченість зерна оказує найбільший вплив на продуктивність зерноочисних машин. При збільшенні засміченості на 1% питома витрата електроенергії збільшується в середньому на 0,1 кВт·год./т – 8% внаслідок зниження продуктивності зерноочисних машин (рис. 4).

На енергоємність операцій з зерном впливає об'ємна маса зерна. За ознакою об'ємної маси зерно поділяється на три групи: важке, легке і соняшник.

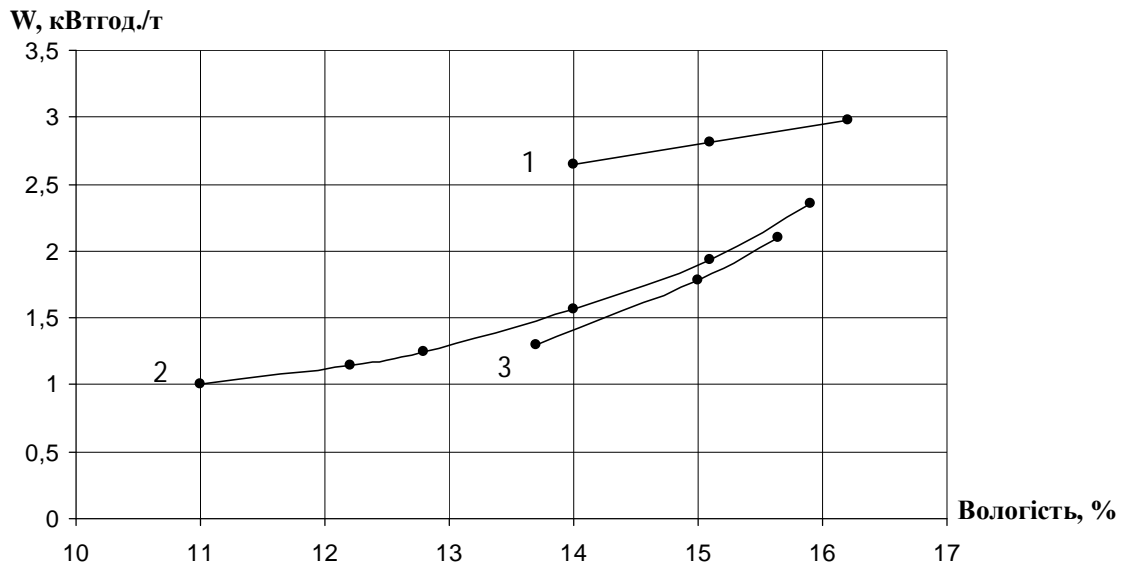


Рис. 1. Залежність питомої витрати електроенергії від вологості для ОС-4,5 при  $Q = 2,0$  т/год. (1 – рис, 2 – ячмінь, 3 – пшениця).

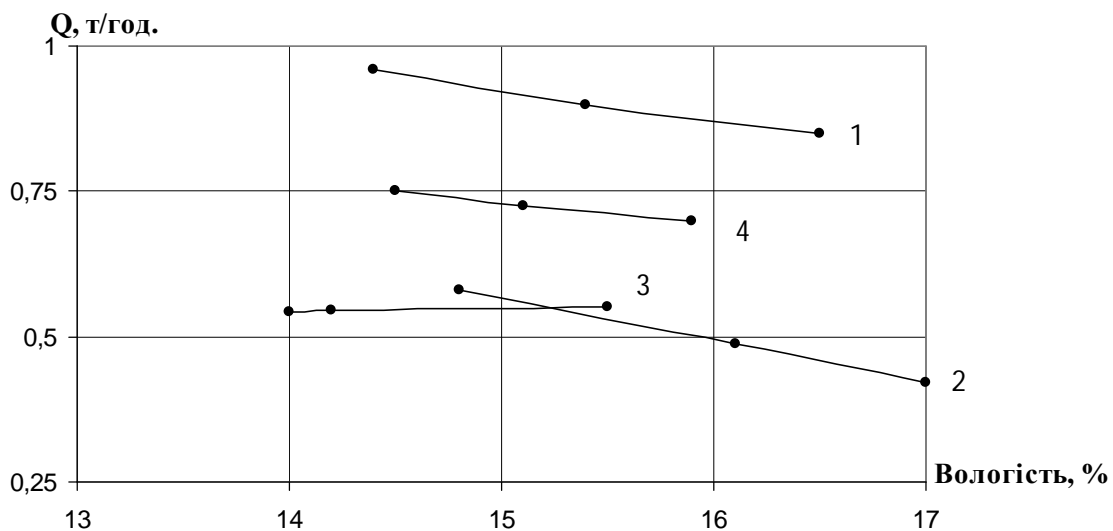


Рис. 2. Залежність продуктивності машини ОС-4,5 від вологості зерна для 1 – пшениці насінної, 2 – риса насінного, 3 – соняшника, 4 – ячменя насінного.

Маса зерна впливає на енергоємність транспортування. Питома витрата електроенергії при транспортуванні легковагого зерна буде більше, ніж великовагого. Це пояснюється тим, що коефіцієнт завантаження робочих машин підвищується при транспортуванні важкого зерна, а продуктивність (по об'ємній масі) збільшується. В результаті цього із-за зменшення питомої складової холостого ходу знижується загальна питома витрата електроенергії.

Сипкість зерна залежить від вологості, що визначає продуктивність механізмів, що транспортують.

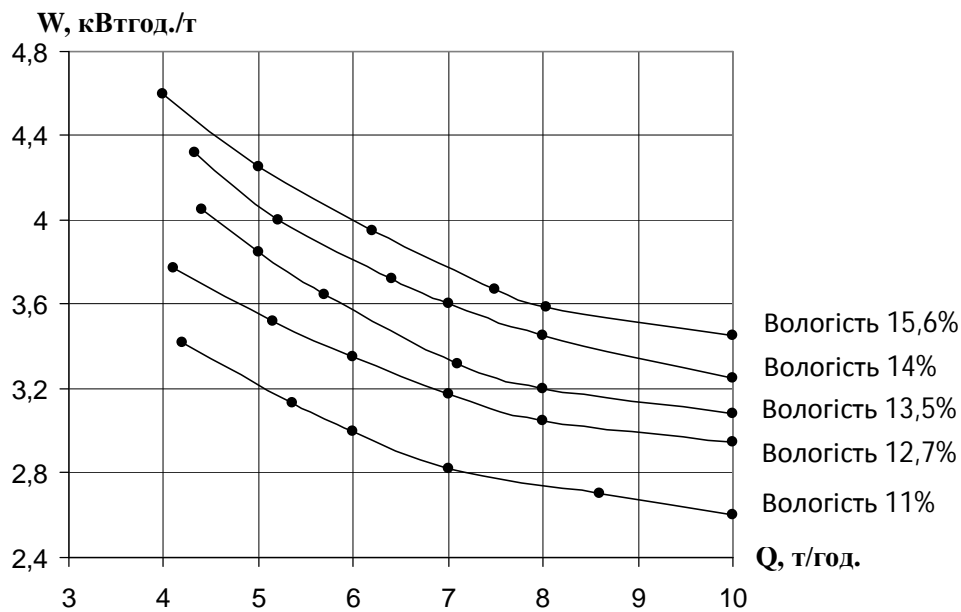


Рис. 3. Залежність питомої витрати електроенергії від продуктивності при очищенні ячменя насінного на ЗАВ-20.

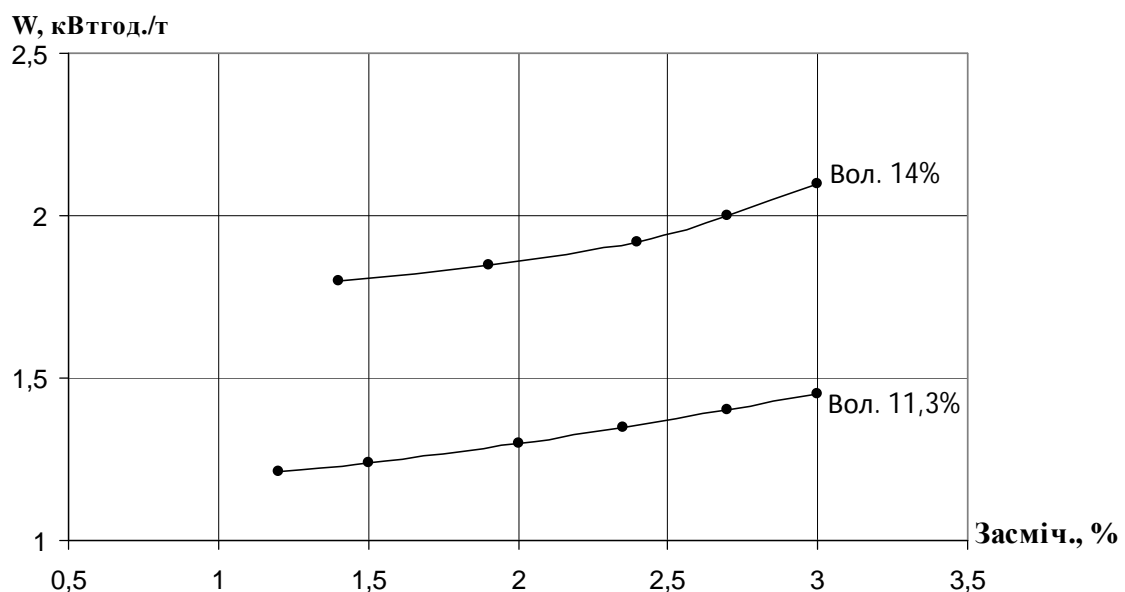


Рис. 4. Залежність питомої витрати електроенергії від засміченості для ОС-4,5 (ячмінь насінний).

З підвищенням вологості зерна питома витрата електроенергії на транспортні операції збільшується. Із збільшенням сипкості збільшується продуктивність механізмів, зменшується питома витрата електроенергії на транспортування зерна.

*Висновки.* Із фізико-хімічних факторів зерна найбільший вплив на електроспоживання оказує вид культури, вологість і засміченість зерна. Ці фактори необхідно враховувати при плануванні електроспоживання.



## Література

1. *Ястребов П.П.* Использование и нормирование электроэнергии в процессах переработки и хранения хлебных культур / *П.П. Ястребов.* – М.: Колос, 1973. – 331 с.
2. *Карпова А.П.* Исследование влияния технических и технологических факторов на электропотребление при подработке зерна на юге СССР : автореф. дис... канд. техн. наук / *А.П. Карпова.* – К., 1981. – 21 с.
3. *Постнікова М.В.* Розробка науково-обґрунтованих норм енергоємності при обробці зерна на зернопунктах / *М.В. Постнікова* // Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика : Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. Тематичний збірник наукових праць. – Харків :ХНТУСГ, 2008. - №30. – С. 511-512.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА ЭНЕРГОЁМКОСТЬ ПРИ ОЧИСТКЕ ЗЕРНА  
НА ЗЕРНОПУНКТАХ**

М.В. Постникова, Л.Е. Никифорова, А.П. Карпова

**Аннотация** – предложено для разработки научно-обоснованных норм расхода электроэнергии на поточных линиях зернопунктов учитывать физико-химические факторы зерна, которые влияют на удельный расход электроэнергии.

**MODELING OF THE INFLUENCE PHYSICAL FACTOR  
ON ENERGOYOMKOSTI WHEN CLEARING GRAIN  
ON CORN POINTS**

M. Postnikova, L. Nikiforova, A. Karpova

**Summary**

Is offered for development scientifically-is motivated of the rates of the consution to electric powers on production lines of the corn points to take into account physico-chemical factors grain, which influence upon specific consution of the electric powers.

УДК 631.371:621.

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОВОГО ЗНОСУ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПІД ДІЄЮ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ

Безменнікова Л. М., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (042) 42-32-63

**Анотація** – стаття присвячена розробці моделі функціонального діагностування силового трансформатора на базі процесів нагріву силового трансформатора при несиметричному навантаженні з урахуванням|з врахуванням| температурних умов навколишнього середовища. Розроблена модель дозволяє визначати температуру найбільш нагрітої точки фази силового трансформатора залежно від температури верхніх шарів масла|мастила,олії| і кратності сили струму, а також сумарний тепловий знос ізоляції.

**Ключові слова** – експлуатаційні фактори, процес нагріву, температура найбільш нагрітої точки, температури верхніх шарів масла, кратності сили струму, тепловий знос ізоляції|мастила,олії|.

*Постановка проблеми.* Силкові трансформатори сільських трансформаторних підстанцій, як правило, працюють з нерівномірним графіком навантаження, середньодобове відхилення може досягати 50% [1].

При цьому трансформатор зазнає дію токів короткого замикання, пускових токів, перенапруги, вібрації, коливань температури, вологості навколишнього середовища (як добового, так і сезонного).

Всі ці експлуатаційні фактори призводять до підвищення температури активних частин трансформатора понад допустимих значень, трансформатор перегрівається. А це призводить до зниження строку служби або виходу з ладу трансформатора.

*Аналіз останніх досліджень.* З аналізу літературних джерел встановлено, що наявна система технічного обслуговування (ППРЕсг) [2] є регламентною і використовує стратегію відновлення за відмовою і наробітком на відмову, а тому завжди маємо втрати і відмови. Цю проблему можна вирішити на основі комбінованої системи обслуго-

вування, яка складається з системи ППРЕсг і неперервного діагностування технічного стану силового трансформатора.

*Основна частина.* Для оперативного контролю експлуатаційних режимів роботи силового трансформатора споживчих підстанції розроблена математична модель теплових процесів, яка дозволяє одержати інформацію про температурний стан обмоток і швидкості теплового зносу ізоляції трансформатора, у будь-який момент часу, контролюючи температуру масла, силу струму в його фазах, а також визначити допустиме значення квадрата імпульсу надструму для оцінки теплових процесів і величини додаткового зносу ізоляції силового трансформатора при дії надструму [3].

Математична модель має вигляд:

Витратою ресурсу ізоляції обмоток фаз:

$$E_A = \Delta t_i \sum_{i=1}^n \varepsilon_{Ai} ;$$

$$E_B = \Delta t_i \sum_{i=1}^n \varepsilon_{Bi} ;$$

$$E_C = \Delta t_i \sum_{i=1}^n \varepsilon_{Ci} ,$$

де  $\Delta t$  - проміжок часу контролю, с;

$\varepsilon_{Ai}$ ,  $\varepsilon_{Bi}$ ,  $\varepsilon_{Ci}$  - відповідно швидкість теплового зносу ізоляції обмоток фаз «А», «В», «С» на і – її ділянці, бг/г.

Швидкість теплового зносу ізоляції обмоток фаз на і – її ділянці:

$$\varepsilon_{Ai} = \varepsilon_n \cdot e^{B \left( \frac{1}{\Theta_{1H}} - \frac{1}{\Theta_{Ai}} \right)} ;$$

$$\varepsilon_{Bi} = \varepsilon_n \cdot e^{B \left( \frac{1}{\Theta_{1H}} - \frac{1}{\Theta_{Bi}} \right)} ;$$

$$\varepsilon_{Ci} = \varepsilon_n \cdot e^{B \left( \frac{1}{\Theta_{1H}} - \frac{1}{\Theta_{Ci}} \right)} ,$$

де  $\varepsilon_n$  - номінальна швидкість витрати ресурсу ізоляції, бг/г;

$B$  - параметр, що характеризує клас ізоляції, К;

$\Theta_{1H}$  - абсолютна тривало допустима (номінальна) температура ізоляції, К;

$\Theta_{Ai}$ ,  $\Theta_{Bi}$ ,  $\Theta_{Ci}$  - відповідно абсолютна поточна температура ізоляції фаз «А», «В», «С» на і – її ділянці, °С.

Абсолютна поточна температура ізоляції фаз:

$$\Theta_{1Ai} = \vartheta_{1Ai} + 273;$$

$$\Theta_{1Bi} = \vartheta_{1Bi} + 273;$$

$$\Theta_{1Ci} = \vartheta_{1Ci} + 273,$$

де  $\vartheta_{Ai}$ ,  $\vartheta_{Bi}$ ,  $\vartheta_{Ci}$  - відповідно поточна температура обмоток фаз «А», «В», «С» на  $i$  – її ділянці, °С.

Поточна температура обмоток фаз:

$$\vartheta_{Ai} = \vartheta_{mi} + \Delta_{A_{yсм(i)}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_i}{T_{\text{эк}}}}\right) + \left(\Delta_{A(i-1)} + (250 + \Delta_{A(i-1)}) \cdot e^{\gamma \cdot \Pi_{Ii}} - 250\right) \cdot e^{-\frac{\Delta t_i}{T_{\text{эк}}}}$$

$$\vartheta_{Bi} = \vartheta_{mi} + \Delta_{B_{yсм(i)}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_i}{T_{\text{эк}}}}\right) + \left(\Delta_{B(i-1)} + (250 + \Delta_{B(i-1)}) \cdot e^{\gamma \cdot \Pi_{Ii}} - 250\right) \cdot e^{-\frac{\Delta t_i}{T_{\text{эк}}}}$$

$$\vartheta_{Ci} = \vartheta_{mi} + \Delta_{C_{yсм(i)}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_i}{T_{\text{эк}}}}\right) + \left(\Delta_{C(i-1)} + (250 + \Delta_{C(i-1)}) \cdot e^{\gamma \cdot \Pi_{Ii}} - 250\right) \cdot e^{-\frac{\Delta t_i}{T_{\text{эк}}}}$$

де  $\vartheta_{mi}$  - поточна температура масла, °С;

$\Delta_{A_{yсм(i)}}$ ,  $\Delta_{B_{yсм(i)}}$ ,  $\Delta_{C_{yсм(i)}}$  - відповідно усталені значення абсолютних перевищень температур обмоток у фазах «А», «В», «С» на  $i$  – її ділянці, оС ;

$T_{\text{эк}}$  - еквівалентна постійна часу нагріву, с;

$\Delta_{A(i-1)}$ ,  $\Delta_{B(i-1)}$ ,  $\Delta_{C(i-1)}$  - відповідно абсолютних перевищень температур обмоток у фазах «А», «В», «С» на  $(i-1)$  – її ділянці, оС ;

$\gamma$  - коефіцієнт, що характеризує конструктивні параметри трансформатора,  $1/A^2$ ;

$\Pi_{IAi}$ ,  $\Pi_{IBi}$ ,  $\Pi_{ICi}$  - відповідно імпульс квадрата надструма у фазах «А», «В», «С» на  $i$  – її ділянці,  $A^2 \cdot c$ .

Усталені значення абсолютних перевищень температур обмоток для кожної фази:

$$\Delta_{A_{yсм}} = \frac{a \cdot k_A^2 \cdot (n + \alpha \cdot P_{2H} \cdot \Lambda_{23}) + m}{\frac{1}{P_{2H}} \cdot b - \alpha \cdot a \cdot k_A^2 \cdot d} ;$$

$$\Delta_{B_{yсм}} = \frac{a \cdot k_B^2 \cdot (n + \alpha \cdot P_{2H} \cdot \Lambda_{23}) + m}{\frac{1}{P_{2H}} \cdot b - \alpha \cdot a \cdot k_B^2 \cdot d} ;$$

$$\Delta_{\text{Сист}} = \frac{a \cdot k_C^2 \cdot (n + \alpha \cdot P_{2H} \cdot \Lambda_{23}) + m}{\frac{1}{P_{2H}} \cdot b - \alpha \cdot a \cdot k_C^2 \cdot d},$$

де  $P_{2H}$  - номінальні втрати активної потужності у магнітопроводі, Вт;

$\alpha$  - температурний коефіцієнт опору матеріалу обмоток,  $1/^\circ\text{C}$ ;

$a$  - постійний параметр;

$b$  - постійний параметр,  $\text{Вт}^3/^\circ\text{C}^3$ ;

$d$  - постійний параметр,  $\text{Вт}^2/^\circ\text{C}^2$ ;

$n$  - постійний параметр,  $\text{Вт}^2/^\circ\text{C}^2$ ;

$m$  - постійний параметр,  $\text{Вт}^2/^\circ\text{C}^2$ ;

$\Lambda_{23}$  - теплова провідність між магнітопроводом і маслом,  $\text{Вт}/^\circ\text{C}$ ;

$k_{Ai}$ ,  $k_{Bi}$ ,  $k_{Ci}$  - відповідно кратності сили струму в фазах трансформатора на  $i$ -ї ділянці.

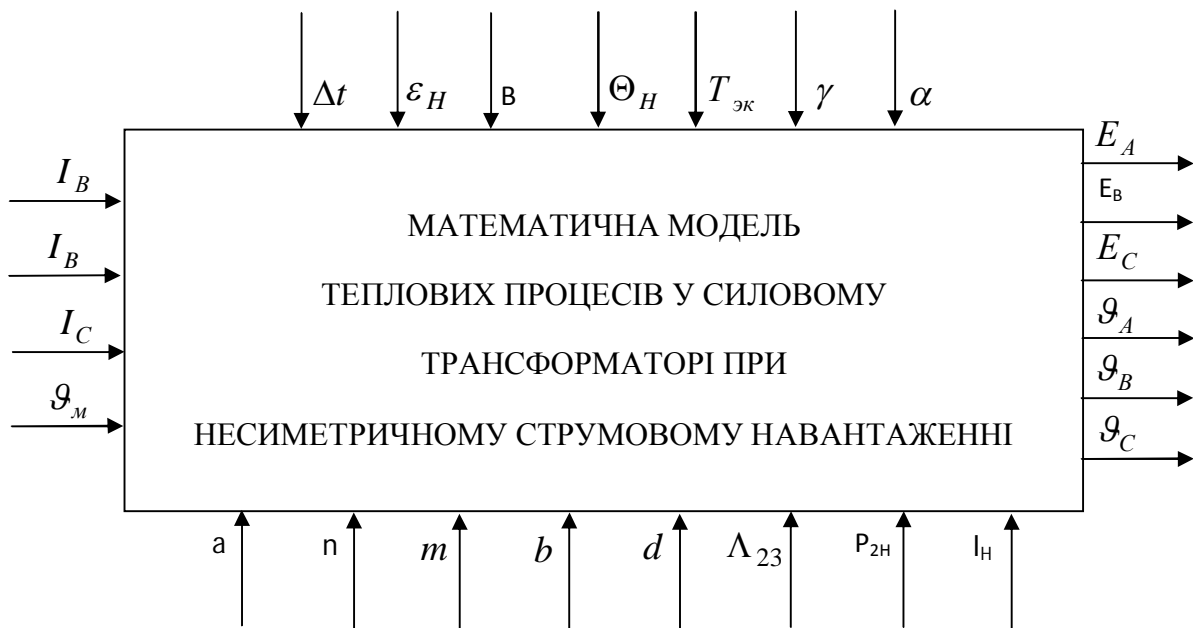


Рис. 1. Структурная схема математичної моделі теплових процесів у силовому трансформаторі під дією експлуатаційних факторів.

Імпульс квадрата надструму в фазах трансформатора на  $i$ -ї ділянці:

$$\Pi_{IAi} = I_H^2 \cdot k_{Ai}^2 \cdot t_{ct};$$

$$\Pi_{IBi} = I_H^2 \cdot k_{Bi}^2 \cdot t_{ct};$$

$$\Pi_{ICi} = I_H^2 \cdot k_{Ci}^2 \cdot t_{ct},$$

де  $t_{ct}$  - час дії надструму, с.

Кратність сили струму у фазах:

$$k_{Ai} = \frac{I_{Ai}}{I_H};$$
$$k_{Bi} = \frac{I_{Bi}}{I_H};$$
$$k_{Ci} = \frac{I_{Ci}}{I_H},$$

де  $I_H$  - номінальне значення сили струму в фазах трансформатора, А;  
 $I_{Ai}$ ,  $I_{Bi}$ ,  $I_{Ci}$  - відповідно сили струму в фазах силового трансформатора на  $i$ -ї ділянці, А.

Структурна схема теплових процесів у силовому трансформаторі під дією експлуатаційних факторів представлена на рис.1.

#### *Висновки.*

1. Розроблена математична модель процесу теплового зносу ізоляції силових трансформаторів сільських підстанцій. Дана математична модель дозволяє отримати інформацію про тепловий стан обмоток трансформатора.

2. Функціональний стан силових трансформаторів пропонується контролювати за наступними показниками: температурою обмоток, швидкістю теплового зношення ізоляції обмоток та витратами ресурсу ізоляції.

#### *Література*

1. *Овчаров В.В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве./ *В.В. Овчаров* – К.: УСХА, 1990. – 168 с.

2. *Єрмолаєв С. О.* Експлуатація енергообладнання та засобів автоматизації в системі АПК: Підручник / За ред. С. О. Єрмолаєва. // *С. О. Єрмолаєв, О. О. Мунтян, В. Ф. Яковлєв* – К.: Мета, 2003.

3. *Безменнікова Л.М.* Аналітичне дослідження залежності температури обмоток силового трансформатора у функції температури масла і кратності сили струму. Праці ТДАТА. Вип. 32. / *Л.М. Безменнікова, В.В. Овчаров.* – Мелітополь, 2005. – С. 39-43

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОВОГО ЗНОСУ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПІД ДІЄЮ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ**

Л. М. Безменнікова

*Анотація* – Стаття присвячена розробці моделі функціонального діагностування силового трансформатора на базі процесів нагріву силового трансформатора при несиметричному навантаженні з урахуванням|з врахуванням| температурних умов навколишнього середовища. Розроблена модель дозволяє визначати температуру найбільш нагрітої точки фази силового трансформатора залежно від температури верхніх шарів масла|мастила,олії| і кратності сили струму, а також сумарний тепловий знос ізоляції.

## **MATHEMATICAL MODEL OF PROCESS THERMAL WEAR OF ISOLATION IN POWER TRANSFORMER IS UNDER ACTION OF OPERATING FACTORS**

L. Bezmennicova

### *Summary*

It is offered mathematical model diagnostic functional condition power transformer, which allows getting information on тепловом condition windings of the transformer, any time times.

УДК 339. 13.662.75

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВОСПРОИЗВОДСТВА ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ

Вороновская Е.В., к.э.н.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

**Аннотация.** – исследовано влияние первого закона термодинамики на процесс воспроизводства плодородия почвы. Определена модель воспроизводства биоэнергетического потенциала почвы с учетом формулы энергетического прогресса.

**Ключевые слова** – энергия, земля, энергетический баланс, моделирование, динамическое плодородие.

*Постановка проблемы.* С момента возникновения земледелия способ ведения хозяйства изменился только в худшую сторону. Древние полеводы хоть как-то пытались вовлекать органику в круговорот, мы же упорно исключаем её из агроценоза. Используя таким варварским способом одни и те же почвы, мы доводим их до полной гибели. Мы не создали устойчивого земледелия, превратив природные почвы в пашни. Чтобы обойти нехватку почвенной энергии, за последние полвека создано несколько научных направлений и производств. Однако ни новые сорта, ни новые технологии не восстанавливают почвенную базу. Необходимо изменение существующей модели сельскохозяйственного производства и потребления. Определяющим условием формирования модели есть новые экономические знания на основах физической экономии, утверждения мышления, адекватного природным законам бытия.

*Анализ последних исследований.* Работы украинских ученых: С. Подолянского, В. Вернадского, Н. Туган-Барановского, Н. Руденка, В. Шевчука позволяют определить новые направления воспроизводства почвы с позиции физической экономии. В работах отмечается, что хозяйствование в аграрной сфере имеет антиэнтропийный характер, а соблюдение требований физической экономии обеспечит сохранение украинских черноземов, рост эффективности сельского хозяйства. Несмотря на значительные наработки в этой сфере, существует множество нерешенных вопросов, которые требуют дальнейших исследований, в частности воспроизводства плодородия почвы.



*Формулирование целей статьи.* Моделирование технологического процесса воспроизводства плодородия почвы с учетом закона сохранения и преобразования энергии.

*Основная часть.* С давних времен человек при использовании земли оценивал ее, прежде всего с точки зрения способности производить урожай растений. Успех сельского хозяйства оценивали по рекордным урожаям, ценою значительных затрат на его получения.

Но, в основе любой хозяйственной деятельности лежит использование природного фактора. Согласно первому закону термодинамики, энергия не образовывается и не уничтожается, а только изменяет свою форму. Все вещества, которые используются в хозяйственной деятельности, сначала изымаются из природной среды и снова возвращаются в окружающую среду. Именно этот фактор в экономической теории не учитывается. За теорией физической экономии землям, как ключевому фактору создания абсолютной прибавочной стоимости, должны быть, как минимум компенсирована потеря плодородия.

С. Подолинский считал, что главным источником добавленной стоимости в экономике есть способность земли и работы продуктивно использовать энергию Земли и Солнца. Смысл человеческой работы, а отсюда и богатства, нужно искать в способности задержать на поверхности земли и принудить действовать солнечную энергию длительное время.

Идеи С. Подолинского использовал В. Вернадский, создав парадигмы земной биосферы и ноосферы. На этих началах появилась и «Энергия прогресса» Николая Руденка. В работах ученого речь идет о единстве естественных и гуманитарных знаний. Именно такой подход может обеспечить решение вопроса источника общественного прогресса. Энергией прогресса Г. Руденко называет абсолютную добавочную стоимость. Но эту категорию он определяет из позиции энергетической теории. Он пишет: « Попробуем увидеть ее (добавочную стоимость) так, как видел С.А. Подолинский, - не в деньгах, а в виде энергии» [3].

Н. Руденко выделяет абсолютную и относительную добавочную стоимость. Абсолютная добавочная стоимость - это дополнительная энергия солнца. «... Под абсолютной добавочной стоимостью, пишет автор, - следует понимать ту энергию, которая есть для земного шара новой, дополнительной, т.е. такой, которой она раньше не имела».

Настоящий источник добавочной стоимости содержится не мышцах человека, а в гумусовом пласте планеты, предопределяя ее плодородие. А «плодородие земли, которая лежит в основе абсолютной добавочной стоимости - это, в конце концов, накопленная на протяжении миллиардов лет солнечная энергия» [2].

Кроме этого, ученый указывает на то, что «...из всех видов человеческой деятельности только земледелие компенсирует потери земной цивилизации, а остальные общественные сферы полностью работает на энтропию... (Энтропия - это есть рассеянная энергия в мировом пространстве) [2].

Итак, мы десятилетиями вносим на поля массу энергии в виде минеральных удобрений, горючего, техники, работы, а производительность земель сельскохозяйственного назначения до конца 20 столетие снизилась в полтора раза, а продукция подорожала. Мы просто отнимали у поля прошлогоднюю энергию Солнца.

Современное гумусное состояние черноземов — результат многовековой эволюции под влиянием антропогенной деятельности человека. На территории Украины за 120 лет после исследования В. Докучаева потери гумуса в пахотном пласте черноземов колеблются от 21 до 40 процентов при среднегодовых показателях, соответственно, от 0,5 до 0,9 тонны на гектар.

Плодородие - главное средство производства в сельском хозяйстве. Человечество в целом некогда не занималось воспроизводством плодородия земель. А как можно создавать стоимость и содержать стабильную экономику, когда постоянно теряем главное средство производства? Вывод прозрачный: главный закон стабильности экономики - закон воспроизведения динамического плодородия путем организации кругооборота органики в агроценозах [1].

Сегодня существуют два подхода к воспроизводству плодородия почвы (рис. 1):

1. Первый подход отображает ситуацию, когда факторы интенсификации влияют на воспроизводства почвы опосредованно (орошение, осушение, внесение минеральных удобрений и.п.), приводя в большинстве случаев к негативным изменениям почвы.

2. Второй подход за первоочередное задание ставит проблему повышение плодородия почвы и через ее выходит на интенсификацию использования земель.

До этого времени все расходы на повышения плодородия почвы были нацелены на увеличения валового производства сельскохозяйственной продукции, не учитывающие принципы и законы природной среды. А на урожай работает не потенциальное плодородие, а процесс в реальном времени.

Сельскохозяйственная наука оперирует двумя видами плодородия. Потенциальное плодородие - это вероятная продуктивность почвы, исходя из содержания питательных элементов и гумуса. Эффективное плодородие - реальная продуктивность, которую получили на практике. Ни то, ни другое не объясняет, в чём заключена суть плодо-

родия, и как его увеличить. Ошибочен сам подход. Плодородие - не набор параметров, а это процесс.



Рис. 1. Характеристика подходов к интенсификации использования земель.

Жизнь растений обеспечивает обоюдное взаимодействие почвенных организмов, минеральных веществ и органики – динамическое плодородие.

Динамическое плодородие – это биологическое превращение энергии старого органического вещества в новую биомассу. Чем больше навоза и соломы разлагается непосредственно в поле, тем больше энергии будет отдано плодородию, и тем больше энергии Солнца будет запасено в урожае.

В известной формуле ( $K = E - F$ , где  $K$  — капитал,  $E$  — энергия прогресса,  $F$  — количество энтропии) энергетического прогресса М. Д.Руденка объединены законы природы, которые стали ее основой.

Построенную Н.Д.Руденком формулу энергии прогресса можно принять за критерий, который характеризует ее в нескольких измерениях. Общей закономерностью есть разделение энергии прогресса на 5 равновеликих единиц: он важен для осознания натурально-продуктовой структуры абсолютной добавочной стоимости и становится основополагающим для обеспечения ее бесперебойного циркулирования в экономическом организме общества.

Открытые им новые пропорции есть предельно простыми: условная единица объема продукции, выращенной на протяжении года, должна быть распределена по 5-ти основным направлениям: 2/5 (в виде соломы и травы) — для скармливания скоту (1/5) для удобрения земли органикой (1/5), а 3/5 ( в виде зерна) — для потребления сами-

ми производителями этой продукции (1/5), работниками промышленности (1/5) и удовлетворения нужд государства (1/5).

Важно, что объединяя солому и зерно, Н. Д. Руденко доказывает, что распределение энергии должно быть пропорциональным человеку, животному и земли. Только при таком разделении, настаивает ученый, возможно прекращения истощения земли.

Применение энергетического подхода при моделировании процессов воспроизводства плодородия почвы является необходимым условием формирования стратегии сталости развития аграрного производства. За О.Н. Соляник, энергетический подход - это "инструмент научного исследования, в основу которого положено понятия энергии как общей меры разных видов движения и взаимодействия, а также законов ее сохранения и трансформации" [4, с.8].

Моделирование - это всякое научное познание, представляющее собой процесс конструирования моделей. Его можно представить как процесс выделения наиболее существенных свойств каких-либо объектов или явлений, модель же является отображением этих существенных свойств.

При построении моделей воспроизводства плодородия почвы применяют методы общесистемного анализа. В первую очередь это - выделение из системы отдельных структурных элементов, таких как живые и косные компоненты. Другой важный элемент - установление характера процессов, в которых участвует каждый элемент. В данном моделировании можно используются балансовые компартментальные модели, когда рассматриваются потоки вещества и энергии между составляющими модель компартментами, содержание "вещества" в каждом из которых и представляет собой отдельную переменную системы.

Модель должна включать анализ биоэнергетического потенциала сельскохозяйственных предприятий. При помощи составления баланса гумуса можно определить энергетическую оценку 1 га сельскохозяйственных угодий и дать оценку экономико-экологической эффективности использования земли с перспективой дальнейшего целенаправленного управления процессами воспроизводства плодородия почвы.

По данным исследования в 2009 году потери гумуса в Запорожской области составили -2989 грн. на 1 га пашни севооборота.

Баланс гумуса включает стати затрат и образование гумуса по каждому севообороту и через коэффициенты перевода дает возможность определить энергетическую и стоимостную оценку. Баланс питательных веществ в земледелии помогает изучить их вынос с почвы урожаем и поступление в почву с других источников.

Энергетический анализ по каждому севообороту позволяет определить энергетические затраты для дальнейшего планирования ор-

ганизации управления потоками энергии и их оптимизации. Результат энергетической оценки зависит только от объективных природных свойств производственных ресурсов, которые используются. Это в свою очередь позволяет определить эффективность использования биоэнергетических ресурсов при выращивании сельскохозяйственных культур в севообороте. Именно, закон сохранения и превращения энергии должен стать основой рационального подхода использования энергетических ресурсов в сельском хозяйстве. Естественная основа теории воспроизводства плодородия почвы закон возврата - частное проявление всеобщего закона сохранения вещества и энергии.

Управление плодородием почвы в современном земледелии должно осуществляться на основе соответствующих моделей. Модель плодородия почвы представляет собой сочетание экспериментально установленных показателей плодородия, находящихся в тесной корреляции с величиной урожая. Модель плодородия должна разрабатываться для конкретных почвенно-климатических и производственных условий выращивания сельскохозяйственных культур.

Воспроизводство плодородия почвы начинают с определения оптимальных параметров модели плодородия. Модели плодородия строго дифференцированы в зависимости от природных условий хозяйства, специализации земледелия, эколого-экономического уровня производства.

Экспериментальное обоснование параметров плодородия конкретных земледельческих регионов позволяет дать объективную агрономическую оценку почвы. Это означает, что каждая модель плодородия почвы должна обеспечивать энергетическую эффективность агросистемы, обеспечить рациональное использование не возобновляемой и возобновляемой энергии, охрану окружающей среды.

*Выводы.* Учитывая, что сегодня наблюдается интенсивное использование энергетических ресурсов для выращивания сельскохозяйственных культур, а аккумулятивная энергия в виде гумуса для воспроизводства плодородия почвы имеет стремительную тенденцию к снижению, необходимо новая модель системы земледелия.

Модель, которая учитывала бы энергетическую и экономическую эффективность выращивания сельскохозяйственных культур при условии воспроизводства и сохранения плодородия земель, опираясь на определения системы показателей биоэнергетического потенциала.

#### Литература

1. *Нелен В.М.* Наша земля і майбутнє України / *В.М. Нелен* //Формування ринкової економіки: Зб. наук. Праць КНЕУ. Київ 2009. –с. 76-83

2. Руденко М.Д. Энергия прогресса: очерки из физической экономики [Текст]. – 2-ге вид. допов. / М.Д. Руденко. – Тернополь: Джура, 2005. – 412 с.

3. Казначеев В.П. Учение В.И. Вернадского о преобразовании биосферы и экология человека / В.П. Казначеев, Ф.Т. Янишова. – М.: Знание 1986. - 224с.

4. Соляник О.М. Енергетичний підхід у загальній системі еколого-економічних відносин / Автореф. дис.... канд. екон. наук. - Суми: СумДУ, 2004. - 20 с.

5. Шидула М.К. Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві [Текст] / М.К. Шидула –К.: Оранта, 1998. 223 с.  
закону термодинамики

## МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВІДТВОРЕННЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ

О.В. Вороновська

**Анотація** – досліджено вплив першого закону термодинаміки на процес відтворення родючості ґрунту. Визначено модель відтворення біоенергетичного потенціалу ґрунту з урахування формули енергетичного прогресу.

## MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF REPRODUCTION OF FERTILITY OF GROUND

E. Voronovskaya

### Summary

**The influence of the first law of thermodynamics on process of reproduction of fertility of ground is investigated. The model of reproduction of an energy potential of ground is determined in view of the formula of power progress.**

УДК 631.311

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИСКОВОГО ПЛУГА**

Семенюта А.М.,

*Гуляйпільський механічний завод ВАТ «Мотор-Січ»*

Білокопитов О.В., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Волик Б.А., к.т.н.

Колбасін В.О., к.т.н.

*Дніпропетровський державний аграрний університет**Тел. (0619) 42-25-85*

**Анотація** - в роботі аналітично обґрунтоване розташування корпусів на рамі плуга виходячи з забезпечення сталості виконання технологічного процесу при зміні кутів постановки диска до напрямку руху.

**Ключові слова** – *математична модель, дисковий плуг, характеристика борозни.*

*Постановка проблеми.* В останній час ґрунтообробні машини, в основі яких закладені робочі органи дискового типу, отримали пріоритетне розповсюдження. Пов'язане це перш за все з більш якісним виконанням технологічного процесу при меншій тяговій опорі у порівнянні з полицевим обробітком. Особливе місце в цій групі мають машини, в яких дискові робочі органи мають можливість зміни кутів в усіх трьох площинах - це дискатори та дискові плуги.

Дослідження робочих органів дискового типу та машин на їх основі являють собою досить складну задачу. Відсутність чіткої математичної моделі у свою чергу ускладнює розрахунок та проектування машини. Як наслідок, основний тягар на відпрацювання конструктивних параметрів лягає на польові та лабораторні випробування.

*Аналіз досліджень та публікацій.* Аналізом відомих конструктивних рішень машин, в основі яких закладено робочі органи дискового типу, встановлено, що практично всі параметри даних машин відпрацьовувались експериментально і мають обмежену аналітичну основу. Причиною тому є складність аналізу та опису руху ґрунтового шару як по робочій поверхні, так і після сходу з неї. А без цього створити повноцінну математичну модель не можливо.

Сили, що діють на диск практично не можливо привести до однієї рівнодіючої і тому в розрахунках доводиться користуватись головним вектором та моментом. При розрахунку діючих сил треба враховувати

- опір різанню кромкою леза;
- силу зсуву шару ґрунту сферичною поверхнею диска;
- сили тертя;
- сили інерції внаслідок надання шару ґрунту обертального руху.

Дисковий плуг з розташуванням дисків за класичною схемою полиневого плуга має переваги у порівнянні з дискатором при використанні на глибинах обробки 15 см та більше. Проте, невирішеною є проблема стабілізації його ходу при кількості дисків більше за три.

*Метою роботи є аналітичне обґрунтування схеми розташування дисків на рамі дискового плуга.*

*Основна частина.* Напрямок дії результуючої сили тяги дискового плуга при зміні кутів постановки диска на відміну від дискатора буде змінюватись. Розглянемо розрахункову схему (рис.1).

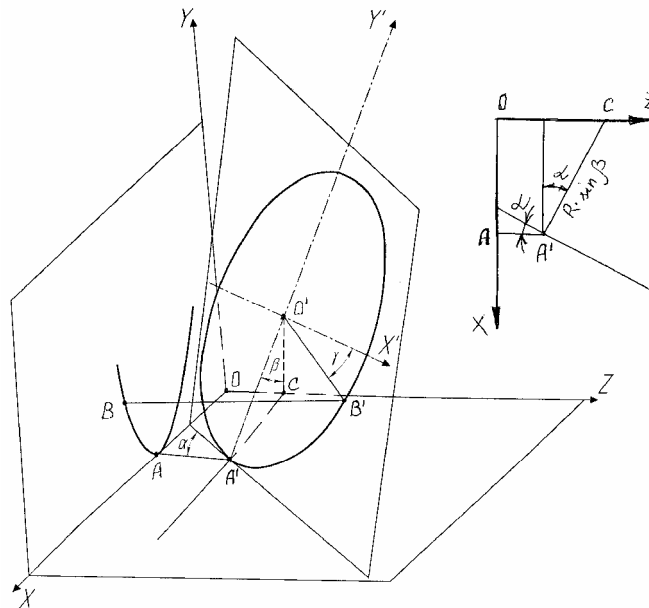


Рис. 1. Розрахункова схема до визначення профілю борозни.

Помістимо площину  $XOY$  перпендикулярно напрямку руху диска. Сам диск розмістимо в площині, встановленій під кутом  $\alpha$  до напрямку руху і кутом  $\beta$  до вертикалі. Коло диска утворене переміщенням точки  $B'$  при зміні центрального кута  $\gamma$ . Перпендикуляр  $O'C$  співпадає з віссю стояка диска і проходить через  $OZ$ . Проекція на  $XOY$  точки  $B'$  буде являти собою профіль борозни.

Особливе значення в проекції буде мати точка  $A$ , яка являє собою максимальне значення глибини борозни і положення якої



відносно  $OZ$  суттєво впливає на напрямок результуючої сили тяги. З розрахункової схеми рівняння профілю борозни

$$X = R \cdot \cos\alpha \cdot (\sin\beta + \cos\gamma) \quad (1)$$

$$Y = R \cdot (1 - \sin\gamma) \cdot \cos\beta \quad (2)$$

Результати розрахунку для найбільш імовірних значень кутів  $\alpha$  і  $\beta$  представлені в табл.1, характерні профілі борозни – на рис. 2.

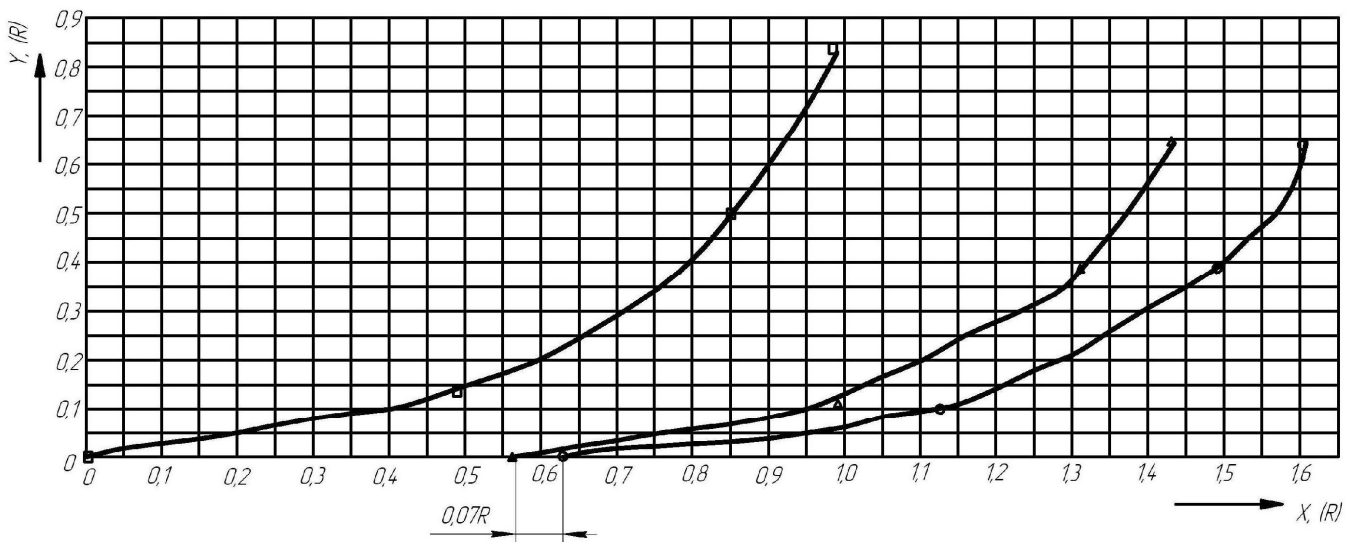


Рис. 2. Характерні профілі борозни в долях від радіусу диска (вісь  $Y$  співпадає з віссю стояка диска,  $X = R \cdot X_{(R)}$ ,  $Y = R \cdot Y_{(R)}$ )

□ -  $\alpha = 10^\circ$ ;  $\beta = 0^\circ$       Δ -  $\alpha = 30^\circ$ ;  $\beta = 40^\circ$       ○ -  $\alpha = 10^\circ$ ;  $\beta = 40^\circ$ .

Аналіз графіків (рис.2.) та даних таблиці 1. показує, що положення борозни та її профіль суттєво залежать від кутів постановки диска. Так, абсолютний максимум дна борозни (точка А) при  $R = 450$  мм та  $R = 650$  мм становить відповідно 284 мм та 410 мм. Проте, більш реальний діапазон зміни становить  $0,07R$ , відповідно 32 мм та 45 мм.

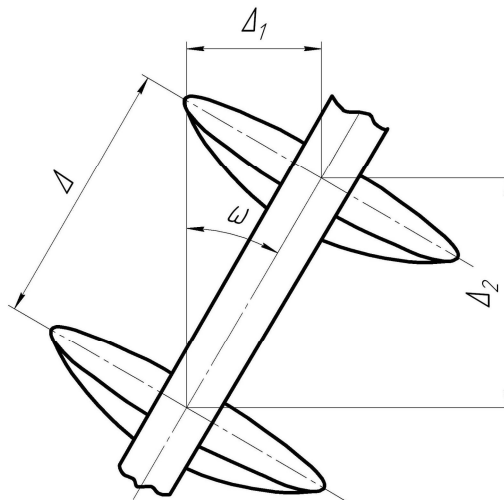


Рис. 3. Розрахункова схема до визначення  $\Delta_1$  та  $\Delta_2$ .

Таблиця 1 - Результати розрахунку профілю борозни для найбільш імовірних значень кутів  $\alpha$  і  $\beta$ .

$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	X	Y
10	0	10	0,97	0,83
		30	0,85	0,50
		60	0,49	0,13
		90	0	0
	20	10	1,31	0,78
		30	1,20	0,47
		60	0,84	0,12
		90	0,35	0
	40	10	1,60	0,64
		30	1,49	0,39
		60	1,13	0,10
		90	0,63	0
30	0	10	0,85	0,83
		30	0,75	0,50
		60	0,43	0,13
		90	0	0
	20	10	1,15	0,78
		30	1,05	0,47
		60	0,73	0,12
		90	0,30	0
	40	10	1,41	0,64
		30	1,31	0,39
		60	0,99	0,10
		90	0,56	0
50	0	10	0,63	0,83
		30	0,56	0,50
		60	0,32	0,13
		90	0	0
	20	10	0,85	0,78
		30	0,78	0,47
		60	0,54	0,12
		90	0,22	0
	40	10	1,05	0,64
		30	0,97	0,39
		60	0,73	0,10
		90	0,41	0

У відповідності до розрахункової схеми (рис.3) визначаємо  $\Delta_1$  та  $\Delta_2$ , відповідно відстані між осями стояків та по ходу машини.

При роботі машин з дисковими робочими органами на дні борозни утворюються непорушені гребні, висота яких чітко агротехнічно аргументована. Тому, відстань  $\Delta_1$  визначаємо з точки зору саме висоти цих гребенів.

Висота непорушеного гребня над дном борозни

$$h = Y = R \cdot (1 - \sin \gamma_h) \cdot \cos \beta, \quad (3)$$

де  $\gamma_h$  – центральний кут, що відповідає висоті  $h$  над дном борозни,

$$\gamma_h = \arcsin \left( 1 - \frac{h}{R \cdot \cos \beta} \right), \quad (4)$$

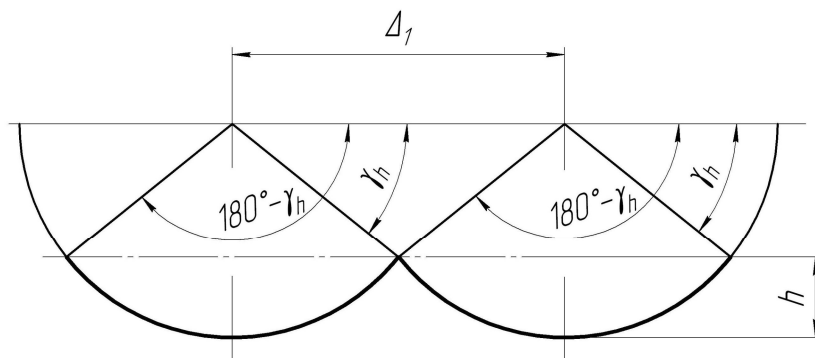


Рис. 4. Розрахункова схема до визначення  $\Delta_1$ .

З розрахункової схеми (рис.4) відстань  $\Delta_1$  не повинна перевищувати

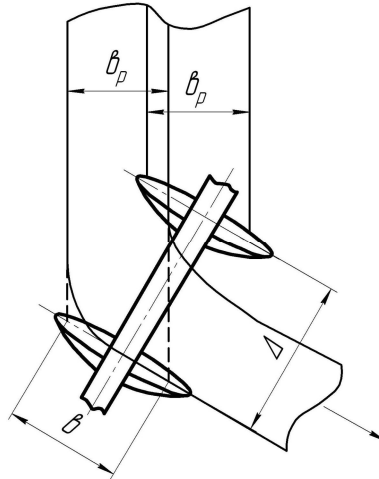
$$\Delta_1 < 2 \cdot R \cdot \cos \gamma_h = 2 \cdot R \cdot \cos \left[ \arcsin \left( 1 - \frac{h}{R \cdot \cos \beta} \right) \right] \quad (5)$$

Як показує аналіз отриманої формули, умова перекриття за шириною захвату на рівні поверхні ґрунту буде виконуватись.

Відстань  $\Delta$  ( $\Delta_2$ ) між дисками в продольному напрямку повинна забезпечувати вільне проходження ґрунтового потоку при зміні кутів параметрів постановки дисків (рис.5). Найбільш детально поведінку підрізаного шару ґрунту дослідив С.Г.Мударісов [1]. Він виділяє три основні різновиди його деформації:

- без зміни об'єму (вологі ґрунти);
- зі зменшенням об'єму (сухі рихлі ґрунти);
- зі збільшенням об'єму (сухі щільні ґрунти).

Автором відмічено, що збільшення об'єму відбувається в основному за рахунок збільшення вертикального розміру шару ґрунту. Найбільшу ширину ґрунтового потоку слід очікувати в першому випадку і вона буде практично співпадати з профілем борозни. Таким чином, відстань між робочими органами у прокольному напрямку достатньо прийняти такою, що дорівнює максимальній ширині захвату диска.

Рис. 5. Розрахункова схема до визначення  $\Delta$  та  $\Delta_2$ .

Як показує практика експлуатації дискаторів, диск зберігає працездатність при зануренні у ґрунт не більше ніж  $2/3$  його радіусу. Це відповідає центральному куту  $\gamma = 20^\circ$ . Максимальна глибина борозни в цьому випадку

$$a = 0,66 \cdot R \cdot \cos \beta, \quad (6)$$

$$\text{Ширина захвату диска } b_p = R \cdot \cos \alpha \cdot (\sin \beta + \cos 20^\circ) - R \cdot \cos \alpha \cdot (\sin \beta + \cos(180^\circ - 20^\circ)) = 1,88 \cdot R \cdot \cos \alpha, \quad (7)$$

Таким чином, відстань між дисками у повздовжній площині

$$\Delta > 1,88 \cdot R \cdot \cos \alpha, \quad (8)$$

кут нахилу поздовжньої балки рами

$$\theta = \arcsin \frac{\cos \left[ \arcsin \left( 1 - \frac{h}{R \cdot \cos \beta} \right) \right]}{0,94 \cdot \cos \alpha}, \quad (9)$$

За своїм призначенням заднє опорне колесо повинно компенсувати дію реакції ґрунту у поперечній площині, тобто його дія аналогічна дії польової дошки полицевого плуга. Конструктивно опорне колесо складається з диска 1 і опорного котка 2 (рис.6.).

Бокове зусилля сприймається диском колеса, а опорний коток обмежує його занурення. Таким чином, робоча частина диска 1 обмежена площею сегменту ВСЕF (вид А).

З розрахунку тягового опору нами отримане значення повздовжньої складової сили опору. Поперечна складова цієї сили

$$W_\Gamma = W_\Sigma \cdot \sin \alpha, \quad (10)$$

Ця сила повинна бути компенсована силою зминання ґрунту

$$W_r^i = W_\Gamma = q \cdot S \cdot h, \quad (11)$$

$$S = \frac{W_\Gamma}{q \cdot h}, \quad (12)$$

де  $q$  – коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту;  $S$  – площа контакту;  $h$  – припустима глибина зминання.

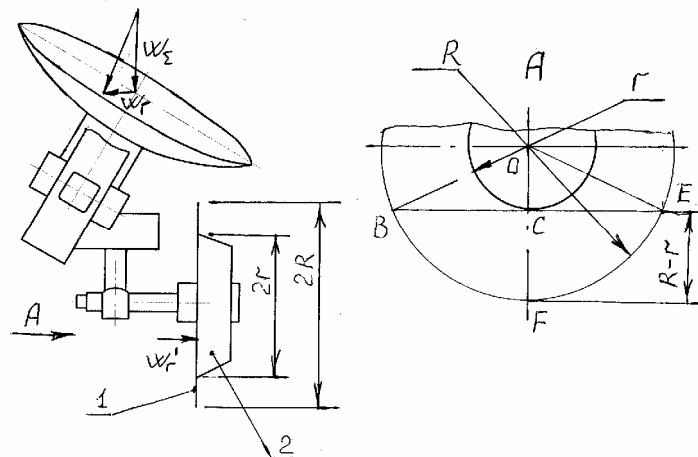


Рис. 6. Розрахункова схема заднього опорного колеса.

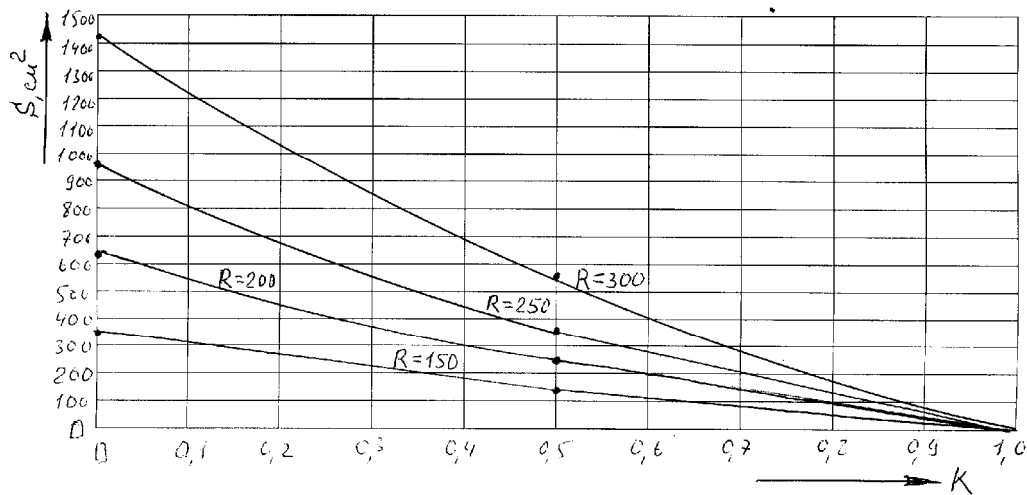


Рис. 7. Залежність площі контакту диска борозного колеса від співвідношення  $k = \frac{r}{R}$ . (У зв'язку з тим, що у довідковій літературі одиниці виміру за правило  $q[\text{н/см}^3]$  та  $h[\text{см}]$ , площу контакту наводимо у  $[\text{см}^2]$ ).

Площа сектора  $OBFE$

$$S_C = R^2 \cdot \arccos \frac{r}{R} , \tag{13}$$

площа трикутника  $OBE$

$$S_{\Delta} = r \cdot \sqrt{R^2 - r^2} . \tag{14}$$

Тоді, пошукувана площа сегменту  $BCEF$

$$S = R^2 \cdot \arccos \frac{r}{R} - r \cdot \sqrt{R^2 - r^2} . \tag{15}$$

Введемо позначення  $k = \frac{r}{R}$ . Тоді, рівняння (15) прийме вид

$$S = R^2 \cdot (\arccos(k) - k \cdot \sqrt{1 - k^2}) . \tag{16}$$

Якщо задатися величиною  $R$ , то площа контакту буде визначатись величиною  $k$ . Проте, рівняння (16) у явному виді вирішити не можливо. Тому, представимо результати розрахунку у вигляді графіків (рис.7). Таким чином, для визначення радіусу котка борозного колеса необхідно за формулою (12) визначити мінімально необхідну площу контакту і потім, задавши величину  $R$  за графіком (рис.7) визначити  $k$ . Потрібний радіус буде дорівнювати  $r = k \cdot R$ .

*Висновки.* Особливістю дискового плуга є те, що напрямок дії сили тяги не співпадає з полицевим плугом і того ж змінюється у відповідності до зміни кутів постановки дисків. Тому, використання рами серійного плуга хоча і є можливим, але не оптимальним. Запропонована методика розрахунку компоновки дискового плуга дозволяє максимально зменшити дію бокових сил, але повністю їх компенсувати не є можливим. Використання у якості компенсуючого елемента замість польової дошки диска борозного колеса в даній конструкції є найбільш виправданим.

#### Література

1. *Мударисов С.Г.* Повышение качества обработки почвы путем совершенствования рабочих органов машин на основе моделирования технологического процесса: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук /С.Г. Мударисов – Челябинск, 2007. – 40 с.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИСКОВОГО ПЛУГА

А.Н. Семенюта, А.В. Белокопытов, Б.А. Волик, А.А. Колбасин

**Аннотация - в работе аналитически обосновано расположение корпусов на раме плуга исходя из обеспечения устойчивости выполнения технологического процесса при изменении углов постановки диска относительно направления движения.**

### MATHEMATICAL MODEL OF DISK PLOUGH

A. Semenyta, J. Bilokopitov, B. Volik, O. Kolbasin

#### *Summary*

**In-process it is analytically reasonable location corps on a frame to the plough coming from providing of constancy of implementation of technological process at the change of corners of raising of disk to direction of motion.**

УДК 519.85:621.1:620.9

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГНЕТАТЕЛЯ ИМПУЛЬСНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Левцев А.П., д.т.н.,

Макеев А.Н.,

Кудашев С.Ф.

*Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева*

E-mail: tggi@rambler.ru

**Аннотация** – В работе определены зависимости амплитуды колебаний диафрагмы и подачи импульсного нагнетателя, от частоты колебаний и её площади.

**Ключевые слова** – импульсный нагнетатель, система теплоснабжения, генератор гидравлического удара.

*Постановка проблемы.* В настоящее время потенциал развития традиционных систем теплоснабжения, с точки зрения их энергоэффективности, практически исчерпан. В них почти полностью выбран максимум производительности и эффективности путём применения современного теплоиспользующего оборудования, электронных приборов учёта и контроля потребления тепловой энергии. В частности, применение профилированных каналов и насечек на теплопередающих поверхностях увеличивает коэффициент теплоотдачи не более чем на 10 %. К тому же, все без исключения, системы теплоснабжения с традиционной организацией циркуляции теплоносителя в них, не обладают самоочищающейся способностью - склонны к зарастанию, образованию накипи, шлама и прочих отложений, что дополнительно ведет к снижению теплоотдачи теплоиспользующего оборудования. Слой накипи толщиной 3 мм вызывает потерю 5-10% тепла и понижает КПД источника теплоты на 10-25%. Однако, существующие на данный момент, системы теплоснабжения могут получить принципиально новое направление повышения энергоэффективности за счет перехода к импульсной циркуляции теплоносителя. Известно, что коэффициент теплоотдачи движущегося потока значительно зависит от частоты пульсаций скорости его истечения и может увеличиваться более чем в 2 раза [1]. Так котлы пульсирующего горения при КПД 93-95 % имеют значительно меньшую поверхность теплообмена и на 30-40% меньше.

*Формулировка цели статьи.* Одним из кардинальных путей решения данной проблемы является перевод циркуляции теплоносителя в системе теплоснабжения из стационарного (постоянного) режима в импульсный (колебательный). При этом можно использовать несколько эффектов импульсного режима движения теплоносителя. Во-первых, увеличение теплоотдачи, как минимум, на 40%, во-вторых, самоочищение теплопередающих поверхностей оборудования и, в третьих, можно использовать генерируемый импульс количества движения теплоносителя, например, для организации циркуляции низкотемпературного теплоносителя в контуре системы теплоснабжения в случае использования независимой схемы.

*Анализ последних исследований.* Схемы и опытные образцы подобных импульсных систем разработаны на кафедре теплоэнергетических систем ГОУВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва», отдельно для систем теплоснабжения, присоединяемых к источнику теплоты по зависимой и независимой схемам [5,6,7,8].

*Основная часть.* Принципиальная схема импульсной системы отопления, при независимом присоединении к источнику теплоты, имеет вид, представленный на рис.1. и работает следующим образом. Изначально осуществляют её заполнение соответствующими видами теплоносителей (высокотемпературным и низкотемпературным), затем, при помощи сетевого насоса 5, осуществляют циркуляцию высокотемпературного теплоносителя от источника теплоты 1 по подающему 2 и обратному 6 трубопроводам через теплообменник 3 и самовозбуждаемый генератор гидравлического удара 4, который может быть установлен в подающий 2 или обратный 6 трубопровод.

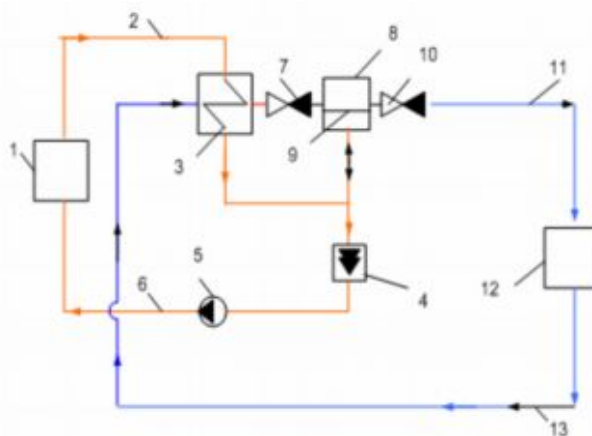


Рис. 1. Принципиальная схема импульсной системы теплоснабжения при независимом присоединении к источнику теплоты.

При достижении определенной (заданной) скорости циркуляции высокотемпературного теплоносителя через самовозбуждаемый гене-



ратор гидравлического удара 4 его проходное сечение автоматически закрывается и возникает гидравлический удар, положительная волна распространения которого, воздействуя с одной стороны на эластичную диафрагму 9 импульсного нагнетателя 8 приводит к осуществлению пульсирующей, соответствующей периоду смены положительной волны гидравлического удара на отрицательную, организации движения низкотемпературного теплоносителя через первый 7 и второй 10 обратные клапаны относительно второй стороны эластичной диафрагмы 9. В момент, когда положительная волна распространения гидравлического удара израсходует свою энергию и сменит знак на противоположный проходное сечение самовозбуждаемого генератора гидравлического удара 4 автоматически откроется и циркуляция высокотемпературного теплоносителя возобновится до тех пор, пока его скорость не достигнет вновь величины, достаточной для автоматического закрытия его проходного сечения. С каждым последующим циклом возобновления циркуляции высокотемпературного теплоносителя эластичная диафрагма 9 возвращается в свое первоначальное положение и при закрытом в это время обратном клапане выхода 10 производит некоторое разряжение в импульсном нагнетателе 8, благодаря чему открывается обратный клапан входа 7 и осуществляется последующая циркуляция низкотемпературного теплоносителя в системе теплоснабжения 12 через разводящий подающий 11 и обратный трубопровод 13.

Определение оптимальных конструктивных параметров импульсной системы теплоснабжения удобно производить методами математического моделирования, преимущества которых общеизвестны. Рассмотрим схему включения и действие гидродинамического водоподъемного устройства в системе теплоснабжения с независимым присоединением системы отопления (рис. 2.).

При подаче потока высокотемпературного теплоносителя на вход А происходит его перераспределение по контурам АБВГ и АДГ в зависимости от положения балансировочного вентиля Д. При этом в контуре АБВГ жидкость приобретает значение установившейся скорости  $g_1 = g_2$ , на участке АДГ установившаяся скорость достигает значения  $g_3$ , на участке БЕ в начальный момент  $g_4 = 0 \text{ м/с}$  и на участке АЕ  $g_5 = 0$  (будем условно считать на всем протяжении работы  $g_5 = 0$ , т.к.  $g_5$  в процессе нагнетания не участвует, гидроаккумулятор Е используется только для предотвращения распространения волны гидравлического удара за пределы гидродинамического водоподъемного устройства).

Благодаря особой конструкции ударного узла В поток жидкости скоростью  $g_1 = g_2$  закрывает его проходное сечение и возникает гид-

равлический удар. При этом возникают и происходят одновременно волновые и гидродинамические процессы.

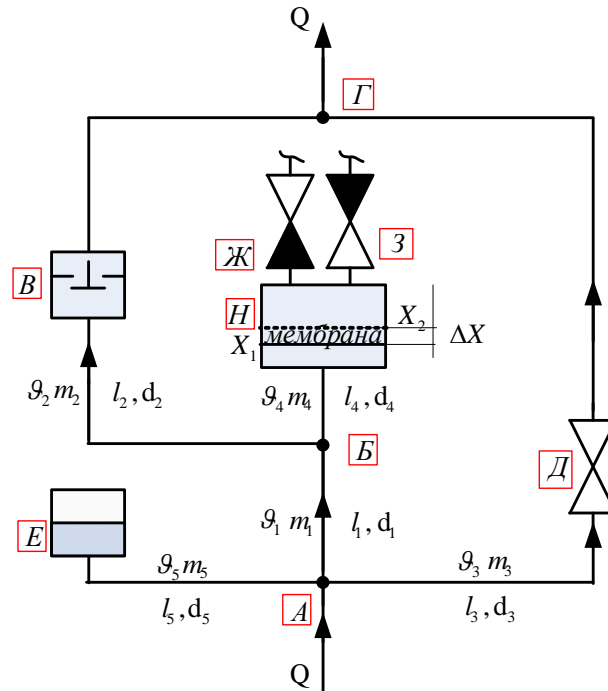


Рис. 2. Схема перераспределения потоков жидкости в гидродинамическом водоподъемном устройстве.

А - вход высокотемпературного теплоносителя; Б - узел подключения нагнетателя; В – самовозбуждаемый генератор гидравлического удара (ударный узел); Г - выход высокотемпературного теплоносителя; Д - клапан балансировочный; Е - гидроаккумулятор; Ж, З - вход и выход низкотемпературного теплоносителя

При разработке математической модели приняты следующие допущения:

1. Давление в верхней части цилиндра через клапаны (входной и выходной) равно давлению внешнему  $\tilde{P}$ , которое вполне можно считать постоянным;

2. Будем считать, что  $\tilde{P} = 0$ , т.к. при перемещении диафрагмы (поршня) действует разность давлений  $P - \tilde{P}$ , где  $P > 0$ ;

3. На участке длительного постоянства  $P(t)$  давление  $P_0$  уравнивается силой сжатия пружины, взятой по модулю (рис.3.)

$$F_{\Gamma}^0 = k(l_0 - l_1) = P_0 S,$$

где  $l_0$  - состояние нулевого сжатия пружины пружины, м;

$l_1$  - отвечает положению сжатия пружины, м;

$S$  - площадь поршня,  $m^2$ .

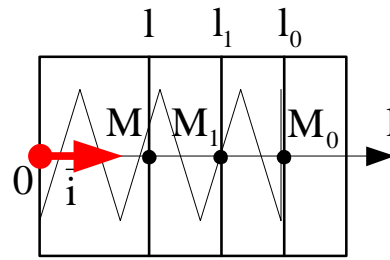


Рис. 3. Схема нагнетателя при перемещении диафрагмы (поршня) нагнетателя.

Обозначим:

$$x = (l - l_0),$$

$$x_1 = (l_1 - l_0).$$

При переменном  $P(t)$  возникает сила инерции  $\bar{F}_{ин} = M\ddot{\bar{r}}$ , которая уравнивает силу Гука  $\bar{F}_Г = -kx\bar{i}$  и силу давления  $\bar{F}_P = -PS\bar{i}$  (без учета силы трения).

Так как  $\bar{r} = \overline{OM} = l\bar{i} = (l_0 + x)\bar{i}$ , то

$$\bar{F}_{ин} = M\ddot{\bar{r}} = \bar{F}_Г + \bar{F}_P, \Leftrightarrow M\ddot{x}\bar{i} = -kx - pS, \Rightarrow$$

$$\begin{cases} \ddot{x} + \omega^2 x = -\frac{S}{M}P, \\ \omega = \sqrt{\frac{K}{M}}. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $M$  - масса, кг (зависит от перемещения поршня).

Общее решение однородного уравнения имеет вид:

$$\ddot{\tilde{x}} + \omega^2 \tilde{x} = 0$$

$$\tilde{x}(t) = a\cos(\omega t) + b\sin(\omega t),$$

а частное решение подбирается в зависимости от типа  $P(t)$ .

Найдем решение в предположении постоянства  $P(t)$  (на некотором участке  $(t_1, t_2)$ ).

В этом случае :

$$x_0(t) = -\frac{S}{M\omega^2}P_0,$$

где  $P(t) = P_0$ . и общее решение (1) на участке постоянства  $P(t) = P_0$  имеет вид:

$$x(t) = a\cos(\omega t) + b\sin(\omega t) = -\frac{S}{M\omega^2}P_0, \quad t_1 \leq t \leq t_2 \quad (2)$$

Константы  $a, b$  подбираются исходя из начальных или граничных условий.

4. Считая на участке длительного постоянства процесс установившимся, в положении  $l_1$ , где  $x_1 = x(t) = l_1 - l_0$ , что отвечает давлению  $P_0$ , получим:

$$x(t) = x_1 = -\frac{S}{M\omega^2} P_0.$$

5. Рассмотрим периодическую пульсацию  $P(t)$ ,  $t > 0$ , с периодом  $\tau$ , длительностью  $\tau_1 < \tau$ , амплитудой  $\Delta P = h > 0$ , представленную на рис.4.

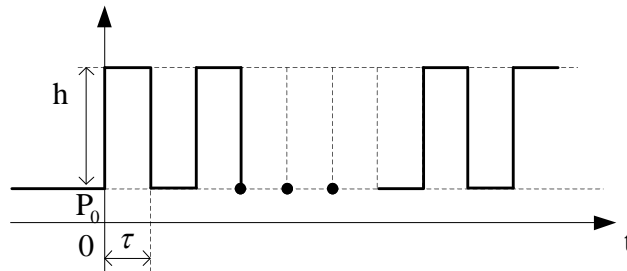


Рис. 4. Периодические пульсации  $P(t)$ .

С учетом формулы (2) на  $n$ -м участке при  $t_{n-1} \leq t \leq t_n$  общее решение имеет вид:

$$x_n(t) = \begin{cases} a_n \cos(\omega t) + b_n \sin(\omega t) - \frac{S}{M\omega^2} (P_0 + h), & (n-1)\tau \leq t \leq (n-1)\tau + \tau_1, \\ \tilde{a}_n \cos(\omega t) + \tilde{b}_n \sin(\omega t) - \frac{S}{M\omega^2} P_0, & (n-1)\tau + \tau_1 \leq t \leq n\tau. \end{cases} \quad (3)$$

В местах скачкообразного изменения  $P(t)$  добавляется половина гладкого согласования  $x_n(t)$  с  $\tilde{x}_{n-1}(t)$  и внутри  $x_n(t)$  с  $\tilde{x}_n(t)$ :

$$\begin{cases} x_n(t_{n-1}) = \tilde{x}_{n-1}(t_{n-1}), \\ \dot{x}_n(t_{n-1}) = \dot{\tilde{x}}_{n-1}(t_{n-1}). \end{cases} \quad \text{и} \quad \begin{cases} x_n(t_{n-1} + \tau_1) = \tilde{x}_n(t_{n-1} + \tau_1), \\ \dot{x}_n(t_{n-1} + \tau_1) = \dot{\tilde{x}}_n(t_{n-1} + \tau_1). \end{cases} \quad (4)$$

Условие (4) принимает вид:

$$\begin{cases} a_n \cos(\omega t_{n-1}) + b_n \sin(\omega t_{n-1}) - \frac{S}{M\omega^2} (P_0 + h) = \tilde{a}_{n-1} \cos(\omega t_{n-1}) + \tilde{b}_{n-1} \sin(\omega t_{n-1}) - \frac{S}{M\omega^2} P_0, \\ -a_n \sin(\omega t_{n-1}) + b_n \cos(\omega t_{n-1}) = -\tilde{a}_{n-1} \sin(\omega t_{n-1}) + \tilde{b}_{n-1} \cos(\omega t_{n-1}). \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} a_n \operatorname{Cos}[\omega(t_{n-1} + \tau)] + b_n \operatorname{Sin}[\omega(t_{n-1} + \tau)] - \frac{S}{M\omega^2}(P_0 + h) = \tilde{a}_{n-1} \operatorname{Cos}[\omega(t_{n-1} + \tau)] + \\ + \tilde{b}_{n-1} \operatorname{Sin}[\omega(t_{n-1} + \tau)] - \frac{S}{M\omega^2}P_0, \\ -a_n \operatorname{Sin}[\omega(t_{n-1} + \tau)] + b_n \operatorname{Cos}[\omega(t_{n-1} + \tau)] = -\tilde{a}_n \operatorname{Sin}[\omega(t_{n-1} + \tau)] + \tilde{b}_n \operatorname{Cos}[\omega(t_{n-1} + \tau)]. \end{cases} \quad (6)$$

Обозначим  $\alpha_n = \omega t_n$ ,  $\beta_n = \omega(t_n + \tau)$ , перепишем (5) и (6) в следующем виде:

$$\begin{cases} (a_n - \tilde{a}_{n-1}) \operatorname{Cos} \alpha_n + (b_n - \tilde{b}_{n-1}) \operatorname{Sin} \alpha_{n-1} = \frac{Sh}{M\omega^2}, \\ -(a_n - \tilde{a}_{n-1}) \operatorname{Sin} \alpha_{n-1} + (b_n - \tilde{b}_{n-1}) \operatorname{Cos} \alpha_{n-1} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} (a_n - \tilde{a}_{n-1}) \operatorname{Cos} \beta_n + (b_n - \tilde{b}_{n-1}) \operatorname{Sin} \beta_{n-1} = \frac{Sh}{M\omega^2}, \\ -(a_n - \tilde{a}_{n-1}) \operatorname{Sin} \beta_{n-1} + (b_n - \tilde{b}_{n-1}) \operatorname{Cos} \beta_{n-1} = 0. \end{cases} \quad (8)$$

из (7) и (8) определяем

$$\begin{cases} a_n - \tilde{a}_{n-1} = \frac{Sh}{M\omega^2} \operatorname{Cos} \alpha_{n-1}, \\ b_n - \tilde{b}_{n-1} = \frac{Sh}{M\omega^2} \operatorname{Sin} \alpha_{n-1}, \\ a_n - \tilde{a}_n = \frac{Sh}{M\omega^2} \operatorname{Cos} \beta_{n-1}, \\ b_n - \tilde{b}_n = \frac{Sh}{M\omega^2} \operatorname{Sin} \beta_{n-1}. \end{cases} \quad (9)$$

В начальной точке  $t=0$  согласование ведется по  $x_0(t) = x_1$ ,  $x_0 = 0$  слева, а справа -  $x_1(t) = a_1 \operatorname{Cos}(\omega t) + b_1 \operatorname{Sin}(\omega t) - \frac{S}{M\omega^2}(P_0 + h)$  при  $t=0$ .

Тогда получаем:

$$\begin{cases} x_0(0) = x - \frac{S}{M\omega^2}P_0 = x_1(0) = a_1 - \frac{S}{M\omega^2}(P_0 + h), \\ \dot{x}_0(0) = 0 = \dot{x}_1(0) = \omega b_1. \end{cases}$$

Таким образом для начала алгоритма имеем:

$$\begin{cases} a_1 = \frac{S}{M\omega^2}, \\ b_1 = 0. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \tilde{a}_1 = \frac{S}{M\omega^2}(1 - \operatorname{Cos}(\omega\tau_1)), \\ \tau_1 = -\frac{Sh}{M\omega^2} \operatorname{Sin}(\omega\tau_1). \end{cases} \quad (10)$$

Учитывая, что  $\beta_n = \alpha_n + \omega\tau_1$  получаем:

$$\begin{cases} \cos \beta_n = \cos(\omega \tau_1) \cos \alpha_n - \sin(\omega \tau_1) \sin \alpha_n, \\ \sin \beta_n = \sin(\omega \tau_1) \cos \alpha_n + \cos(\omega \tau_1) \sin \alpha_n, \\ \alpha_n = \omega t_n = n \omega \tau. \end{cases} \quad (11)$$

Учитывая, что  $a_1, b_1$  известны из (10), то найдем

$$\begin{cases} a_2 = a_1 + \frac{Sh}{M\omega^2} \cos \alpha_1 = \frac{Sh}{M\omega^2} (1 + \cos \alpha_1), \\ b_2 = \frac{Sh}{M\omega^2} \sin \alpha_1, \\ \tilde{a}_2 = \frac{Sh}{M\omega^2} (1 + \cos \alpha_1 - \cos \beta_1), \\ \tilde{b}_2 = \frac{Sh}{M\omega^2} (\sin \alpha_1 - \sin \beta_1). \end{cases}$$

И далее получим значения коэффициентов на  $n$  – м шаге:

$$\begin{cases} a_n = a_{n-1} + \frac{Sh}{M\omega^2} [\cos \alpha_{n-1} - \cos \beta_{n-2}], \\ b_n = b_{n-1} + \frac{Sh}{M\omega^2} [\sin \alpha_{n-1} - \sin \beta_{n-2}], \\ \tilde{a}_n = a_{n-1} + \frac{Sh}{M\omega^2} [\cos \alpha_{n-1} - \cos \beta_{n-1} - \cos \beta_{n-2}], \\ \tilde{b}_n = b_{n-1} + \frac{Sh}{M\omega^2} [\sin \alpha_{n-1} - \sin \beta_{n-1} - \sin \beta_{n-2}]. \end{cases}$$

Результаты математического моделирования, реализованные в программе Microsoft Office Excel 2003, представлены на рис. 5-6.

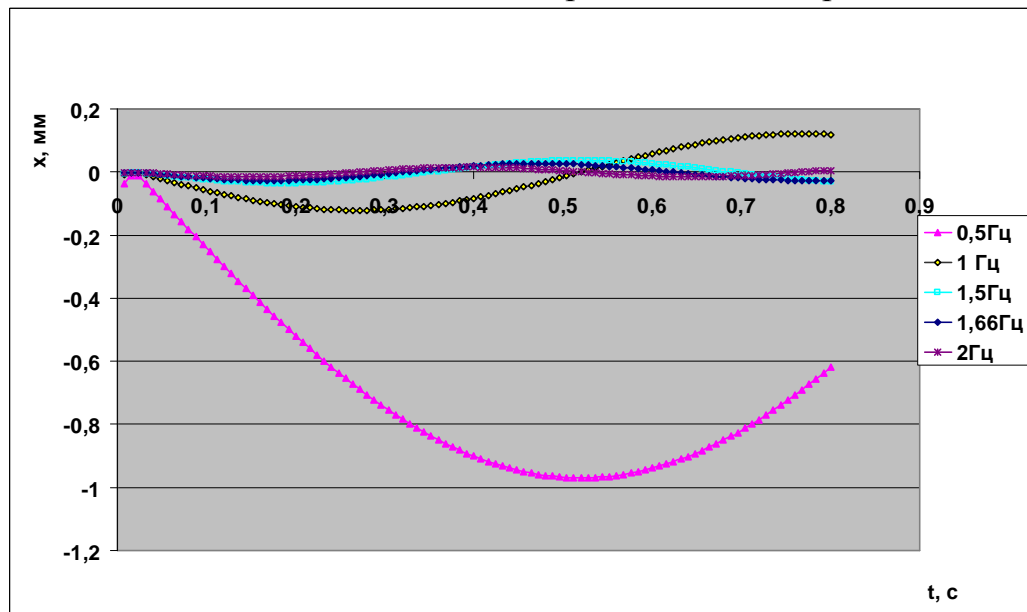


Рис. 5. Амплитуда колебаний мембраны  $X(t)$  в зависимости от частоты колебаний.

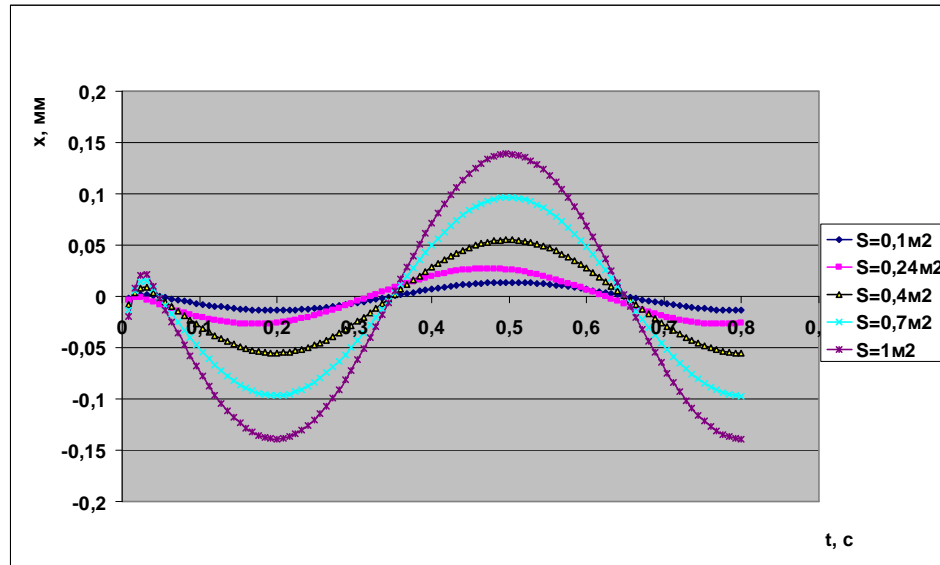


Рис. 6. Амплітуда коливань мембрани  $X(t)$  в залежності від площі мембрани.

*Выводы.* Из графиков видно, что амплитуда колебаний диафрагмы, а соответственно и подача импульсного нагнетателя, существенно зависит от частоты колебаний и её площади. Чем меньше частота колебаний, тем больше амплитуда. Это связано с тем, что за больший промежуток времени разгона теплоноситель в питательной трубе приобретает больший импульс количества движения и потому, в момент гидравлического удара, мембрана перемещается на большее расстояние, чем при высокочастотных колебаниях.

С увеличением площади диафрагмы амплитуда также возрастает, что также соответствует действительности, так как при увеличении площади поверхности давление на единицу площади уменьшается, но в условиях, когда сила противодействия со второй стороны диафрагмы постоянна, наблюдаем увеличение подачи импульсного нагнетателя.

#### Литература:

1. Галицейский, Б.М. Тепловые и гидродинамические процессы в колеблющихся потоках / Б.М. Галицейский, Ю.А. Рыжов, Е.В. Якуш. - М. : Машиностроение, 1977. -256 с.
2. Чистопольский, С.Д. Гидравлические тараны / С.Д. Чистопольский. – М.-Л. : ОНТИ, 1936 – 148 с.
3. Овсепян, В. М. Гидравлический таран и таранные установки / В.М. Овсепян. - М. : Машиностроение, 1968. – 125 с.
4. Ростовцевъ, В.Н. Утилизация малых падений воды для целей осушения и орошения земель / В.Н. Ростовцевъ. - Петроградъ, 1916. – 50с.

5. Пат. РФ №82798, МПК F04F7/02. Таран гидравлический / *А.Н. Макеев, А.П. Левцев.* - № 2008150029; заявлено 17.12.2008; опубл. 10.05.2009, бюл.№ 13.

6. Пат. РФ №86841, МПК A01G25/00. Ударный узел для газогидравлического устройства / *А.П. Левцев, А.Н. Макеев.* - № 2009116882; заявлено 04.05.2009; опубл. 20.09.2009, бюл.№ 26.

7. Пат РФ №87501, МПК F24D11/00. Автономная система отопления для здания автономного пользования / *А.П. Левцев, А.Н. Макеев, А.А. Лазарев.* - № 2009113871; заявлено 13.04.2009; опубл. 10.10.2009, бюл.№ 27.

8. Пат. РФ №88104, МПК F24D 3/02. Система отопления (варианты) / *А.Н. Макеев, А.П. Левцев, А.А. Лазарев.* - № 2009126711; заявлено 13.07.2009; опубл. 27.10.2009, бюл.№ 30.

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАГНІТАЧА ІМПУЛЬСНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

Левцев А.П., Макеев А.Н., Кудашев С.Ф.

**Анотація** – В роботі визначені залежності амплітуди коливань діафрагми і подачі імпульсного нагнітача від частоти коливань і її площі.

## **MATHEMATICAL DESIGN OF SUPERCHARGER IMPULSIVE SYSTEM OF SUPPLY IS WARM**

Levcev A.P., Makeev A.N., Kudashev S.F.

**Dependences of amplitude vibrations diaphragm and serve impulsive supercharger are in-process certain, from frequency of vibrations and its area.**



УДК 631.3:6311.6

## **ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ВІТЧИЗНЯНИХ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД УМОВ І РЕЖИМІВ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Думенко К.М., к.т.н.

*Миколаївський державний аграрний університет*

Тел. +038(0512) – 34-01-91

**Анотація** – викладено аналіз якості роботи нової технологічної лінії для отримання насіння пасльонових культур в залежності від основних параметрів роботи подрібнювача плодів овочевих культур.

**Ключові слова** – подрібнювач, бичовий механізм, технологічна лінія, насінник.

*Постановка проблеми.* Однією з гострих проблем в аграрному секторі країни є оновлення техніко-технологічної бази виробництва. Особливо важливо це при великому рівні зношеності машин. Так біля 73 ... 98% зернозбиральних комбайнів відпрацювали свій ресурс і підтримуються в робото здатному стані в період збирання тільки за рахунок ремонтних робіт.

Зернокомбайновий парк складається, в основному (на 70 %) з комбайнів СК-5 «Нива», який вже морально і фізично застаріли [1, 4]. Парк машин катастрофічно скорочується до критичної межі в 30 тис. штук [2].

Визначення необхідної кількості комбайнів і їх складу на основі аналізу витрат коштів на придбання техніки і збитків від несвоєчасного збору врожаю запропоновано у роботах [2, 7]. Розраховуючи, що оптимальний строки складає 10 днів, а його перебільшення веде до неминучих втрат (табл. 1.1.), розрахункова кількість необхідних Україні комбайнів складає 50...52 тис. штук., класу 9 кг/с. Однак у приведених розрахунках не приділено уваги можливим простоям машин пов'язаними з технічними обслуговуваннями і планованими роботами.

В умовах практично вичерпаного ресурсу темпи спрацьованості машин на порядок перевищують темпи її оновлення. У таких умовах збільшується сезонне навантаження на комбайни і у 2 ... 3 рази, розтя-

гуються строки їх експлуатації [1]. У свою чергу зростання тривалості збирання врожаїв приносить щорічні втрати врожаю до 4 млн. тон.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Не можна не погодитися з думкою яка була висловлена у роботі [2] про практичну відсутність вітчизняного зернокомбайнобудування. Спроби створити вітчизняні комбайни на рівні кращих зарубіжних зразків закінчились дрібносерійним виробництвом не досить досконалих машин. У цій ситуації сільгоспвиробники вимушені купувати закордонні комбайни. Однак нова техніка надто дорога і не завжди адаптована до місцевих умов експлуатації. Виникають також проблеми у підготовці обслуговуючого персоналу як в експлуатації машин, так і в їх сервісному технічному обслуговуванні.

За останні 15 років Української державності повністю відсутні, будь-які фундаментальні дослідження пов'язані з проблемою надійності вітчизняної зернозбиральної техніки, а тим більше з підвищенням рівня надійності старіючих комбайнів. Відсутні нові оригінальні технічні рішення наведеної проблеми.

*Формулювання цілей статті.* На сьогодні забезпечення надійності складної техніки у тому числі і сільськогосподарської потребує особливої уваги. Підхід, що базується тільки на раціональному проектуванні, виходячи з інтуїтивних уявлень і досвіду конструктора вже не є достатній для розробки сучасних складних машин. Про необхідність виділення питань забезпечення надійності сучасних машин, їх комплектів і систем в окремий науковий напрямок говорить наступне:

1. постійне ускладнення машин у напрямку підвищення багатоопераційності і продуктивності, що потребує приділення особливої уваги проблемі їх розробки на стадії проектування;

2. скорочення термінів розробки і економічні обмеження, що унеможливають використання в повному обсязі результатів багаторічної експлуатації машин і їх систем;

3. необхідність урахування людського фактору при експлуатації складної техніки в реальних умовах обмеженості часу на прийняття управлінського керуючого рішення;

4. успіхи теорії і практики науки про надійність технічних систем досягнуті за останні роки в механіці та інших розвинутих в цьому напрямку галузях промисловості.

Надійності технічних систем і комплексів присвячено багато досліджень, що охоплюють як відновлюємі, так і невідновлюємі системи. Значна більшість таких робіт виконана для енергетичних, електричних, комп'ютерних та інших систем і в меншій степені такі дослідження відомі в галузі побудови складних механічних систем, до яких можна віднести і сучасні сільськогосподарські машини.

*Основна частина.* Зернозбиральна техніка експлуатується у складних умовах пов'язаних з впливом як зовнішнього середовища, так навантаження при виконанні технологічних процесів.

Період комбайнового збирання врожаю зернових культур проходить з червня до листопада. Він характеризується різними погодними умовами, зміною температур в широких межах (від  $+40^{\circ}$  до  $-10^{\circ}\text{C}$ ). Вологість повітря також може суттєво змінюватися (від 25% до 80%). Польові умови ускладнені експлуатацією техніки при високому вмісті в повітрі пилу і вихлопних газів. Додатково на механізми комбайну впливають силові і вібраційні навантаження обумовлені роботою комбайну і іншої техніки, що використовується при зборі врожаю.

Польовий характер виконання робіт при зборі врожаю зернових несе ймовірність випадкових сутічок робочих органів комбайну з твердими включеннями, що зустрічаються на полі. Для запобігання можливих пошкоджень механізмів комбайнів, в їх конструкціях передбачені різні захисні пристрої. Вони повинні спрацьовувати і при перевантаженнях, що виникають в наслідок нерівномірної подачі зерностеблевої маси, або зміни її властивостей при різній вологості. Суттєвий вплив на навантаження механізмів вносить забур'яненість хлібів рослинами, що по своїм якостям відрізняються від хлібної маси. В наслідок цього можуть виникати забивання робочих органів і решіт очисної системи комбайну стеблами або устюжними залишками. Можливе й закручування стеблевої маси в жмути, що також стає причиною перевантаження, а може навіть зупинки робочих органів.

До нерівномірності розподілу хлібної маси в підсистемах комбайну приводить його робота на похилих ділянках поля. При нахилі машини відбувається переміщення зернового матеріалу в наслідок чого виникають ділянки з високою його щільністю. Це також стає причиною перевантаження робочих органів.

Умови роботи механізмів комбайну відрізняються високою ступеню запиленості атмосфери. Висока запиленість є результатом наявності пилу на стеблах і колосках рослин, а також відділення мілких складових вороху, які під дією молотильних барабанів відділяються у повітря. Але і сама система повітряно-решітної очистки зерна створює атмосферу високої запиленості частками абразивного і органічного походження. Робота механізмів в таких умовах (особливо відкритих вузлів тертя) ускладнюється їх інтенсивним зношенням.

Таким чином, специфічними умовами експлуатації комбайнів є:

- можливість виникнення аварійних пошкоджень при попаданні сторонніх твердих предметів;
- перевантаження механізмів, вузлів, трансмісій в наслідок нерівномірної подачі рослинного матеріалу;

- наявність повітряного середовища з високим вмістом абразивних часток і запиленістю домішками органічного походження.

Зернозбиральні комбайни працюють у польових умовах виконуючи безпосередньо операції скошування або підйому з валків хлібної маси, обмолоту її, відділення зерна від соломи і сепарації його від вороху. При взаємодії з потоком хлібостою можливі раптові аварійні пошкодження робочих органів особливо при попаданні разом з хлібною масою сторонніх твердих предметів. Аварійні пошкодження можуть виникнути і в результаті втомлюючої дії циклічних навантажень, або перевантажень обумовлених нерівномірною подачею хлібної маси. Раптові аварійні пошкодження залежать від ступеня засміченості поля сторонніми включеннями, тобто: культури існуючої загальної землеробства, конструктивної міцності робочих органів і застосування спеціальних пристроїв захисту від можливих аварійних пошкоджень. Аварійні пошкодження характеризуються інтенсивністю їх проявлення і нажаль займають немале місце серед причин виходу з ладу робочих органів сільськогосподарських машин.

У практиці експлуатації комбайнів зустрічаються відмови пов'язані з різного роду забиваннями систем охолодження, змащування або очистки. Відомі відмови в наслідок негерметичності гідравлічної апаратури. Нерідко зустрічаються відмови які пов'язані з порушенням в роботі електричних або електронних систем комбайнів. Вони можуть виникати раптово, або формуватися поступово приводячи до функціональних відмов тих чи інших систем комбайну.

Особливе місце у роботі механічних систем займають відмови пов'язані зі зношенням деталей механізмів і вузлів. Відмови, що обумовлені зношенням деталей займають суттєву долю серед інших відмов характерних і для комбайнів. В більшій мірі вони проявляються з часом експлуатації машин. Вважається, що в умовах високої запиленості домінуючою формою зношування може бути абразивне [1-6]. Цей вид зношування обумовлений безпосередньою взаємодією робочих поверхонь металу з твердими абразивними частинками, які знаходяться в запиленому повітрі або на поверхні рослин і попадають в зону тертя [1-10]. В залежності від механізму контакту може спостерігатися абразивне зношування подряпанням, коли під дією твердої частинки з поверхні металу робочого органу відокремлюється мікро стружка [5, 7, 9]. Можливе і полідеформаційне руйнування поверхні частинкою, яка переміщується по поверхні робочого органу з перекочуванням [13]. В результаті багатоциклових навантажень на поверхнях тертя проявляється втомлююче зношування з відокремленням частинок металу [3, 9, 11]. Важливу роль в інтенсифікації зношування відіграють і хімічно-активні речовини, що завжди присутні у зволоженій рослинній масі [1, 3, 10]. Вони сприя-

ють зниженню міцності поверхневого шару внаслідок проникнення молекул поверхово-активних речовин в кристалеву структуру метала [8, 14]. Крім цього хімічно-активні складові безпосередньо впливають на активізовані механічною дією поверхні тертя вступаючи в реакції і утворюючи плівки з'єднань які потім відокремлюються у вигляді продуктів зношування [2, 4, 12]. Як правило представлений механізм і хімізм зношування проявляється в комбінованій формі з домінуючим впливом одного з факторів.

Абразивне зношування може спостерігатися у ріжучих елементів жниварок, бил, сегментів, гряділів або інших робочих елементів мотального апарату. Під дією абразивних частинок зношуються витки шнекових транспортуючих і сепаруючих робочих органів. Можливо зношування і підшипникових вузлів якщо вони конструктивно недостатньо захищені від попадання пилу.

Відмови ланцюгових транспортерів можуть виникати в результаті пускових перевантажень, зміною кроку, втратою рухомості шарнірними з'єднаннями елементів ланцюга.

Шнекові робочі органи зношуються по периметру торців витків, що приводить до збільшення зазорів між шнеком і кожухом і як наслідок - втрати продуктивності транспортерів.

Причинами прояву деяких пошкоджень є недостатня якість виготовлення деталей і вузлів. Низька технологічна культура, безвідповідальність і відсутність контролю приводить до розрегулювання, забивання механізмів, розгерметизація гідравлічних систем тощо. У механізмах приводу, трансмісіях спостерігаються перекося в базуванні деталей, що визиває циклічні перевантаження і руйнування валів та кронштейнів від втомленості матеріалу [11].

Велика частина відмов є наслідком конструкторських прорахунків у виборі матеріалів або рішенні конструктивних параметрів деталей і вузлів. Особливо це проявляється при руйнуванні від втомленості матеріалу, коли деталі не витримують необхідної кількості циклів навантаження, обумовленої повним ресурсом експлуатації машин. Так наприклад простої з усуненню відмов складають до 6 годин, а трудомісткість робіт знаходиться у межах 4-10 люд/год. Порівняно з цим простої на ремонт зернокомбайну «Домінатор 204 МЕГА» відбувається у середньому через 15 днів роботи. Відповідно для комбайну «ДОН-1500» - через 4 дня роботи [7]. Тобто практично у 4 рази частіше. По мірі зношування машин, ремонтні періоди збільшувалися. Втрати зерна від простоїв комбайнів приведені у табл. 1. Аналіз приведених результатів показує, що для «Домінатора 204 МЕГА» характерні постійні стабільні втрати, які з роками експлуатації практично не змінюються. Цього не можна сказати про «ДОН-1500», у якого навіть з початку експлуатації втрати були

у 3 рази більше і поступово при зношенні за вісім років експлуатації стали у 6 разів більше. Отримані дані свідчать про суттєвий вплив якості виготовлення, надійності зернокомбайну як складної машини на втрати від простоїв.

Таблиця 1 - Втрати зерна від простоїв комбайнів у ремонті, ц/га.

Комбайн	Рік експлуатації							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ДОН-1500 (Росія)	0,9	0,9	1,2	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8
Домінатор (Германія)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Таким чином видно, що за основними технічними показниками комбайн «Домінатор 204 МЕГА» кращий за «ДОН-1500», однак і його ціна у 4 рази більша ніж у «ДОН-1500».

*Висновки.* Оцінка надійності вітчизняних зернозбиральних комбайнів від особливостей умов і режимів їх експлуатації надійності вітчизняних зернозбиральних комбайнів говорить про необхідність перейняття досвіду у зарубіжних виробників комбайнів з метою забезпечення високими показниками надійності, що досягаються відпрацюванням нових конструкцій, випробовуванням їх на стендах і у реальній експлуатації [13]. Створення нового покоління більш сучасної сільськогосподарської техніки нерозривно базується на аналізі роботи і виявленні недоліків при експлуатації попередніх машин.

#### Література

1. *Бондар М.* Нема альтернативи вітчизняному комбайнобудуванню! / *М. Бондар* // Техніка АПК. – 2002. - № 10-11. – С. 6-7.
2. *Коновський В.В.* «ДОН» или «Енисей» - какие комбайны надежнее? / *В.В.Коновський, Г.Н. Ерохин* // Сельскохозяйственная техника. – 2006. - № 91. – С. 35.
3. *Митрофанов О.* Надійність вітчизняних зернозбиральних комбайнів – міфи та реальність / *О.Митрофанов* // Техніка АПК. – 2004. - № 12. – С. 22-23.
4. *Погорілий Л.* Порівняльний аналіз конструкцій і експлуатаційних показників зернозбиральних комбайнів / *Л. Погорілий, С. Коваль* // Сільгосптехніка України. – 1997. – № 2. – С. 8-10.
5. *Войтюк В.* Вплив строків експлуатації на модель зміни працездатності зернозбиральних комбайнів / *В. Войтюк, А. Демко, С. Демко* // Техніка АПК. – 2005. - № 8. – С. 14-18.
6. *Сковородин В.Я.* Справочная книга по надежности сельскохозяйственной технике / *В.Я. Сковородин, Л.В. Тишкин.* – 1985. – 202 с.

7. *Жалнин Э.В.* Прогнозы развития зерноуборочной техники /Э.В. Жалнин // Техника в сельском хозяйстве. – 1998. - №4.
8. *Погорілий Л.В.* Напрямки розвитку конструкцій і узагальнені технологічні показники зернозбиральних комбайнів / Л.В. Погорілий, С.М.. Коваль // Науковий вісник НАУ.- 1998. - № 9.
9. *Погорілий Л.В.* Зернозбиральна техніка: проблеми, альтернативи, прогноз / Л.В. Погорілий, С.М. Коваль, В. Ясенецький // Техніка АПК. – 2003. - № 7. – С.4-7.
10. *Масло І.* Обґрунтування технологій збирання зернових і структури парку зернозбиральних комбайнів / І. Масло, М. Грицишин, М. Босий // Техніка АПК. – 1999. - № 4. – С. 8-9.
11. *Коваль С.* Революційні технології зернозбирання обчислюючими жниварками / С. Коваль, В. Івасюк, І. Іваненко, Рожанський [та інші] // Техніка АПК. – № 6. – С. 8- 10.
12. *Войтюк Д.Г.* Нагальна проблема сьогодення - поповнення парку зернозбиральних комбайнів / Д.Г. Войтюк // Техніка АПК. – 2001. - № 4. – С. 21.
13. *Ломакин С.* Зерноуборочный комбайн для вашего пользования. Взвешиваем все “за” и “против”/С. Ломакин – 2005. - № 1, 2, 3.

## **ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ И РЕЖИМОВ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

К.М. Думенко

***Аннотация*** – изложен анализ качества работы новой технологической линии для получения семян пасленовых культур в зависимости от основных параметров работы измельчителя плодов овощных культур.

## **AN ESTIMATION OF RELIABILITY OF DOMESTIC COMBINE HARVESTERS IS DEPENDING ON TERMS AND MODES OF THEIR EXPLOITATION**

K. Dumenko

### ***Summary***

The analysis of problem of reliability of domestic combine harvesters is expounded in the agrarian sector of Ukraine. The conducted estimation of reliability of domestic combine harvesters is from the features of terms and modes of their exploitation which is based on the index of outages.

УДК: 621.43.019

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ДВЗ

Пархоменко А.П., к.т.н.,

Вершков О.О., к.т.н.,

Зіновкін К.Ю.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

(0616) 42-25-85

**Анотація** – в роботі представлений аналіз сил, що діють в кінематичних парах кривошипно-повзунного механізму в існуючих двигунах внутрішнього згорання та шляхи збільшення ресурсу з'єднання поршень-палець.

**Ключові слова** – розрізна втулка, бобишки, зрізний конус, імпульс сили, горюча суміш, сили тертя, тиск.

*Постановка проблеми.* При роботі двигуна внутрішнього згорання на поршень діє не тільки висока температура, яка утворюється в процесі згорання паливної суміші, але і тиск газу та інерційні сили. Тому від ресурсу поршня в значній мірі залежить в цілому ресурс ДВЗ. Сили, що діють на поршень передаються на поршневий палець, який при взаємодії з отвором бобишек ущільнює їх поверхню утворюючи щілину. При збільшенні отвору в бобишках більш ніж допустимо їх не відновлюють, а замінюють поршень. Тому необхідно розробити нові технології відновлення внутрішніх поверхонь бобишек поршня.

*Аналіз останніх досліджень.* В сучасних двигунах внутрішнього згорання існують декілька схем з'єднання поршня з шатуном. Наприклад: палець, плаваючого типу; палець, запресований в бобищі поршня (прокручується у втулці верхньої головки шатуна); палець, запресований у втулці верхньої головки шатуна, а в бобишках поршня повертається. Була проаналізована конструкція кривошипно-повзунного механізму двигуна внутрішнього згорання, яка складається з колінчатого валу, шатуна, в верхню головку якого запресована бронзова втулка, поршня з бобишками, поршневого пальця та стопорного кільця. Недоліком конструкції кривошипно-повзунного механізму є те, що поршневий палець, що з'єднує шатун з поршнем плаваючого типу, тобто під час роботи двигуна внутрішнього згоран-



ня він прокручується як в отворах бобишек поршня, так і в бронзовій втулці верхньої головки шатуна. Палець виконаний з загартованої сталі тому твердість його набагато більша ніж у бронзової втулки та поверхні отворів бобишек в поршні. При роботі двигуна на поршень діють великі сили тиску та сили інерції, які передаються на всі деталі кривошипно-повзунного механізму. Тому поверхня отворів втулки та бобишек ущільнюється. У кожній з посадок діє сила тертя, що залежить від коефіцієнту тертя. У бронзи він менший, ніж у алюмінієвого сплаву. Твердість у алюмінієвого сплаву менша ніж у бронзи, тому ресурс кривошипно-повзунного механізму залежить від з'єднання пари поршневий палець – отвір в бобиках поршня.

Також було проаналізовано кривошипно-повзунний механізм дизельного двигуна, в якому палець запресовується в бобишки поршня, тому палець разом з поршнем прокручується відносно втулки, запресованої в верхню головку шатуна. Тому знос отворів бобишек від тертя починається, коли поверхня ущільнюється і з'являються щілини між пальцем та поверхнею отворів у бобишках. Така конструкція збільшує ресурс кривошипно-повзунного механізму.

Недолік цих конструкцій – при зносі отворів в бобиках поршня, замінюють всю поршкову групу. Так як поршень виготовлено з алюмінієвого сплаву, заміна його призводить до великих матеріальних витрат.

*Формування цілей статті.* Метою роботи є математичне моделювання робочого процесу поршневої групи та розробка технології відновлення внутрішньої поверхні бобишек поршня.

*Основна частина.* З метою усунення вищезазначених недоліків запропонована нова технологія відновлення внутрішньої поверхні бобишек поршня. Для збільшення ресурсу поршня, отвори в його бобишках виконані в формі зрізного конуса. Поршень з'єднується з пальцем за допомогою втулок, які виготовленні розрізними, в яких внутрішня поверхня циліндрична, а зовнішня в формі зрізаного конуса. Розрізні втулки піджимаються за допомогою спеціальних гайок, які сполучені між собою за допомогою пружини, що проходить крізь отвір в пальці. Запропонована конструкція кривошипно-повзунного механізму (рис.1.) працює наступним чином:

Сполучають шатун 2 з поршнем 1, поршневим пальцем 3, що проходить крізь отвори 4 в бобишках 5 та бронзової втулки 6, що запресована в верхню головку шатуна 2. Між поршневим пальцем 3 та отвором 4 в бобишці 5 встановлена розрізна втулка 7, а в осьовий отвір поршневого пальця 3 встановлена пружина 8. В пружину 8 загвинчують різьбову частину гайки 9, який плоскою частиною упирається в розрізну втулку 7. Гайка 9 загвинчують у пружину 8 з обох сторін поршневого пальця 3, так, щоб зусилля, яке виникає у

пружині 8, було достатнім для переміщення розрізної втулки 7 і поршневий палець 3 не прокручувався в бобишках 5. В процесі роботи двигуна внутрішнього згорання пальна суміш, що знаходиться в камері згорання, запалюється миттєво, тому виникає імпульс сили (удар), а при розширенні газів виникає тиск, що передається через поршень 1 на всі деталі кривошипно-попзунного механізму. Від дії імпульсу сили, тиску та сил інерції поверхня отворів 4 в бобишках 5 та зовнішня поверхня розрізної втулки 7 ущільнюються, тому між ними виникає щілина. Але, так як, у пружині 8 постійно діє зусилля, яке стягує гайки 9, то вони переміщують розрізні втулки 7 і щілина ущільнюється. В результаті чого збільшується ресурс пари поршень–палець, тим самим, зменшуються фінансові витрати на ремонт.

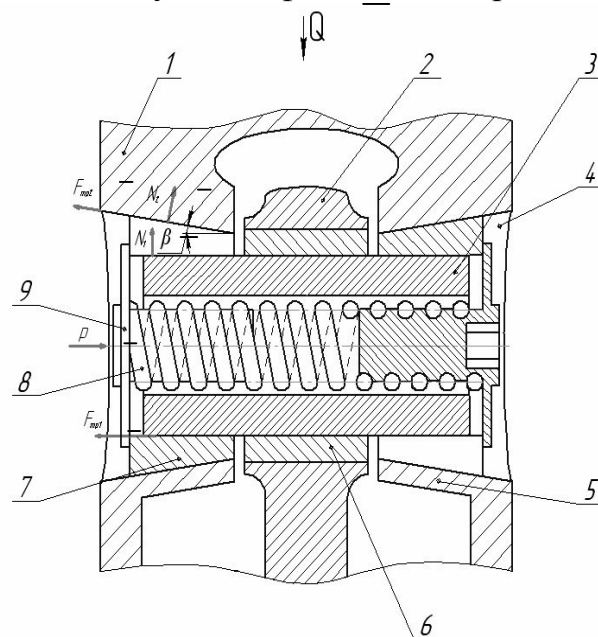


Рис.1. Схема модернізації поршня.

Силу на тяжіння пружини, яка необхідна для стискання цанги, можна визначити:

$$P_H = P_1 + P_2,$$

де:  $P_1$  – сила, необхідна для подолання сили тертя, що виникає у з'єднанні палець-розрізна втулка, Н;

$P_2$  - сила, необхідна для подолання сили тертя, що виникає у з'єднанні поршень- розрізна втулка, Н.

Для визначення сили тертя  $P_1$  застосовуємо гіпотезу – о рівномірній вертикальній осадці кожної утворюючої циліндра. Тиск пальця викличе в циліндричній стороні розрізної втулки відповідні нормальні реакції. Позначимо через  $p$  тиск, що діє на одиницю площини та вважатимемо, що цей тиск рівномірно розподіляється по всій

поверхні з'єднання пальця з втулкою. Тоді елементарна сила  $dN$ , що відповідає елементарній площині  $dS = lr d\alpha$  визначається за формулою:

$$dN = p_1 \cdot r_1 \cdot \alpha \cdot dl \pm F_i,$$

де  $F_i$  - сила інерції поршня, знак якої залежить від положення поршня.

Проінтегруємо та отримуємо:

$$N = 2 \cdot p_1 \cdot r_1 \cdot \int_0^{\alpha_0} \alpha \cdot dl \pm F_i,$$

$$N = 2 \cdot p_1 \cdot l \cdot r_1 \cdot \alpha_0 \pm F_i.$$

Силу тертя визначаємо за формулою:

$$F = f \cdot N = f_1 \cdot (2 \cdot p_1 \cdot l \cdot r_1 \cdot \alpha_0 \pm F_i).$$

Так як, розрізна втулка повинна, при наявності між нею та пальцем щілини, рівномірно переміщуватись, то сила натягу пружини  $P_1$  повинна бути не менше сили тертя  $F_{\text{тр}1}$ , тоді:

$$P_1 = F_{\text{тр}1} = f_1 \cdot (2 \cdot p_1 \cdot l \cdot r_1 \cdot \alpha_0 \pm F_i).$$

Виразимо питомий тиск  $p_1$  через вертикальну силу  $Q$ . Так як, вертикальні складові питомого тиску  $p_1 \cdot \cos \alpha$  повинні скласти суму повному тиску  $Q$ , то:

$$Q = 2 \int_0^{\alpha_0} p_1 \cdot l \cdot r_1 \cdot \cos \alpha \cdot dl \pm F_i,$$

$$Q = 2 \cdot p_1 \cdot l \cdot r_1 \cdot \sin \alpha \pm F_i.$$

Підставляємо знайдені значення в рівняння рушійної сили:

$$P_1 = f_1 \cdot (2 \cdot p_1 \cdot l \cdot r_1 \cdot \alpha_0 \pm F_i) = f_1 \cdot (2 \cdot p_1 \cdot l \cdot r_1 \cdot \alpha_0 \pm F_i) \frac{Q}{2 \cdot l \cdot r_1 \cdot \sin \alpha_0 \pm F_i}$$

$$P = Q \cdot f \left( \frac{\alpha_0}{\sin \alpha_0} \right).$$

При  $\alpha = \frac{\pi}{2}$

$$P_1 = Q \cdot \left( \frac{\pi}{2} f \right) = Q f',$$

де:  $\frac{\pi}{2} f = f_1$  - приведений коефіцієнт тертя.

Силу  $P_2$  визначимо наступним чином:

$$P_2 = (N_2 \pm F_i) \cdot f \cos \beta$$

$$P_2 = f_2 (2 \cdot l_2 \cdot r_2 \cdot \cos \alpha_0 \pm F_i) \cdot \frac{Q \cdot \cos^2 \beta}{2 \cdot l_2 \cdot r_1 \cdot \sin \alpha_0 \pm F_i} - f_2 (2 \cdot l_2 \cdot r_2 \cdot \cos \alpha_0$$

$$\pm F_i) \cdot \frac{Q \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}{2 \cdot l_2 \cdot r_1 \cdot \sin \alpha_0 \pm F_i}$$

$$P_2 = f \cdot Q \cdot \cos^2 \beta \frac{\alpha_0}{\sin \alpha_0} - Q \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta \left( \frac{\alpha_0}{\sin \alpha_0} \right)$$

$$= f \cdot Q \cdot \cos \beta \left( \frac{\alpha_0}{\sin \alpha_0} \right) (\cos \beta - \sin \beta)$$

Позначимо  $f * \frac{\alpha_0}{\sin \alpha_0} = f'$

$$P_2 = Qf' * \cos \beta (\cos \beta - \sin \beta)$$

Тоді сила на тягіння пружини дорівнює:

$$P = Qf' + Qf' * \cos \beta (\cos \beta - \sin \beta)$$

*Висновки.* Аналіз існуючих схем з'єднання поршня з шатуном показав, що при зносі отворів в бобишках поршня, поршнева група вибраковується.

Нова технологія відновлення внутрішньої поверхні отвору бобишек значно збільшує ресурс поршня.

Визначена сила, необхідна для стискання втулок, яка є вихідним значенням, для розрахунку геометричних параметрів пружини.

Література

1. Лукин В. Н. Двигатель внутреннего сгорания. / В. Н. Лукин - М.: "Высшая школа", 1985
2. Головчук А. Ф. Трактори / А. Ф. Головчук. Київ: "Грамота", 2003.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВС

А.П. Пархоменко, О.О. Вершков, К.Ю. Зиновкин.

**Аннотация** – в работе представлен анализ сил, которые действуют в кинематических парах кривошипно-ползунного механизма в существующих двигателях внутреннего сгорания и пути увеличения ресурса соединения поршень-палец.

## MATHEMATICAL DESIGN OF WORKING PROCESS PISTON GROUP ICE

A. Parkhomenko, O. Vershkov, K. Zinovkin

### Summary

The paper analyzes the forces that act in the kinematic pairs crank-piston mechanism in the existing internal combustion engines and ways to increase resource connection porschen-finger.

УДК 658.382.3:621.3:63

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ ЗАРЯДІВ СТАТИЧНОЇ ЕЛЕКТРИКИ

Бабенко О. М., ст. викладач

Таврійський державний агротехнологічний університет

тел. (0619)42-14-38

**Анотація** – стаття присвячена аналізу нейтралізації зарядів статичної електрики.

**Ключові слова** – нейтралізація, індукційні нейтралізатори, високовольтні нейтралізатори .

*Постановка проблеми.* Проблема стає в захисту від статичної електрики. Одним з ефективних методів захисту від статичної електрики є іонізація повітря. У місцях великого скупчення зарядів статичної електрики застосовують іонізатори (нейтралізатори) двох типів: індукційні та високовольтні.

*Аналіз останніх досліджень та публікацій.* Індукційні нейтралізатори дуже прості і широко застосовуються. Вони бувають із голками, пилоподібні й дротяні. У першому випадку (рис. 1) металеві голки закріплені на стержні й заземлені.

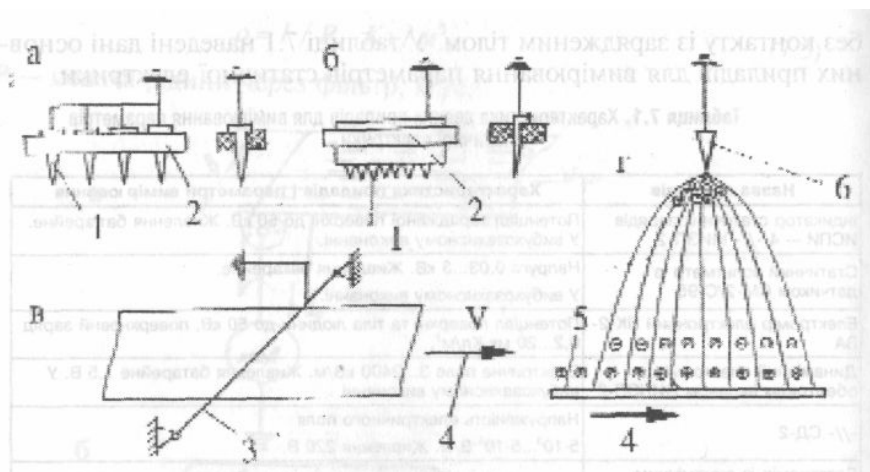


Рис.1. Індуктивні нейтралізатори статичної електрики.

а – з голками; б - пилоподібні; в – зі сталевим дротом; г – нейтралізація зарядів; 1 – голки; 2 – стержень; 3 – дріт-електрод; 4 - напрямок діелектрики; 5 – наелектризований діелектрик; 6 – зона ударної іонізації; 7 – розрядний електрод.

З рис.1, в видно, що для нейтралізації рухомої наелектризованої стрічки застосовано заземлений сталевий провід. Недоліком цього нейтралізатора є те, що він діє, коли потенціал наелектризованого тіла сягає декількох кіловольтів.

*Формулювання цілей статті.* Необхідно виконувати вимір та контроль параметрів статичної електрики, що виникає у виробничих умовах та впроваджувати технології, які будуть попереджати виникнення зарядів статичної електрики.

*Основна частина.*

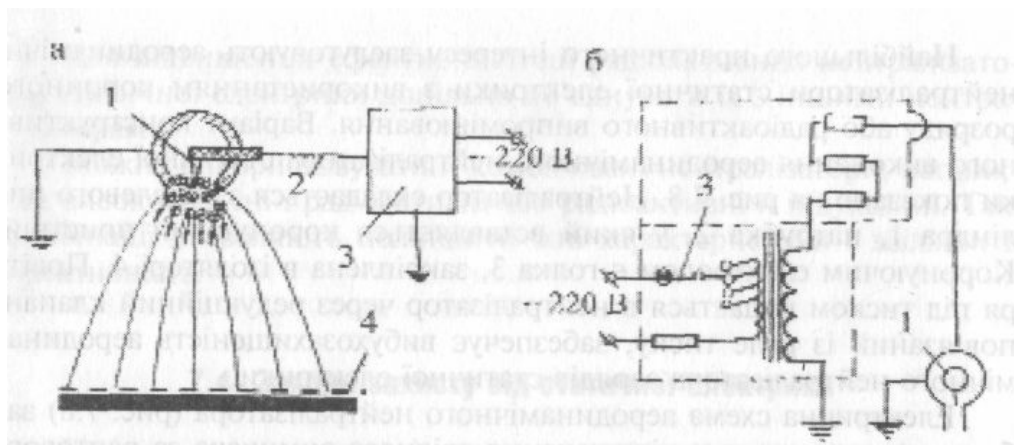


Рис.2. Високовольтний нейтралізатор змінної напруги.

а – нейтралізація зарядів; б – електрична схема; 1 – розрядний електрод; 2 – високовольтний кабель; 3 – високовольтне живлення; 4 –наелектризована поверхня.

На рис 1, з показана схема нейтралізації зарядів індукційним нейтралізатором. Такі нейтралізатори особливо ефективні при високих потенціалах зарядженого тіла.

Для збільшення ефективності доцільно зменшувати віддаль між кінчиками голок і нейтралізуючою поверхнею до 5...20 мм.

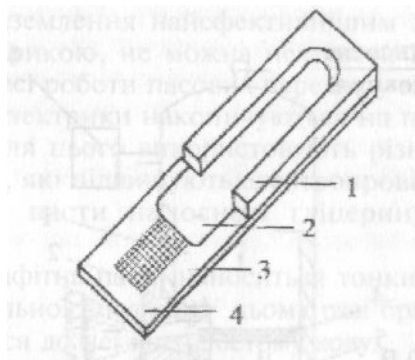


Рис.3. Радіоактивний нейтралізатор (смуга);

1 – основа; 2 – радіоактивна сітка; 3 – захисна фольга; 4 – пластика, на якій закріплена фольга.

Високовольтні нейтралізатори (рис. 2) застосовують тоді, коли максимальна віддаль між розрядним електродом і нейтралізуючим матеріалом може досягти 300 мм.

Особливо доцільно застосовувати ці нейтралізатори там, де не підтримується оптимальний мікроклімат. Заборонено застосовувати високовольтні нейтралізатори на вибухонебезпечних об'єктах, оскільки для іонізації повітря використовується висока напруга.

Радіоактивні нейтралізатори мають вигляд плоских пластин (рис. 3) або невеликих дисків. Вони дуже прості за конструкцією, не вимагають джерела живлення, безпечні при використанні в пожежо- та вибухонебезпечних середовищах, широко застосовуються в хімічній, паперовій, текстильній, поліграфічній та інших галузях промисловості.

Для захисту від радіоактивного випромінювання радіоактивну речовину покривають захисним покриттям зі спеціальної емалі або фольги. Основним недоліком радіоактивних нейтралізаторів є малий іонізаційний струм відносно інших типів нейтралізаторів.

Найбільшого практичного інтересу заслуговують аеродинамічні нейтралізатори статичної електрики з використанням коронного розряду або радіоактивного випромінювання.

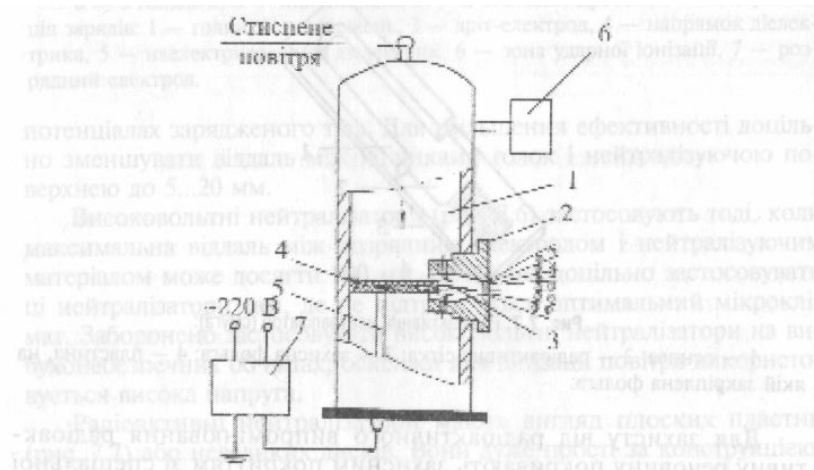


Рис. 4. Аеродинамічний нейтралізатор зарядів статичної електрики: 1 – циліндр; 2 – патрубок; 3 – голка; 4 – ізолятор; 5 – високовольтний кабель; 6 – реле тиску; 7 – високовольтне живлення.

Варіант конструктивного виконання аеродинамічного нейтралізатора статичної електрики показано на рис. 4. Нейтралізатор складається з металевого циліндра 1, патрубка 2, у який вставляється коронуючий пристрій. Коронуючим електродом є голка 3, закріплена в ізоляторі 4. Повітря під тиском подається в нейтралізатор через редуційний клапан, пов'язаний із реле тиску, забезпечує

вибухозахищеність аеродинамічного нейтралізатора зарядів статичної електрики.

Електрична схема аеродинамічного нейтралізатора (рис. 7.8) забезпечує автоматичне відключення ввідного вимикача за раптового зникнення напруги у мережі та не допускає самовільного вмикання за відновлення напруги.

В аеродинамічних нейтралізаторах можуть бути використані для іонізації радіоактивні елементи.

*Висновок.* Для підвищення ефективності дії радіоактивних нейтралізаторів статичної електрики доцільно об'єднувати їх з іншими нейтралізаторами.

Можна використовувати й комбіновані нейтралізатори, наприклад високовольтні і радіоактивні або радіоактивні й індукційні. Такі комбінації дозволяють поліпшити їхні характеристики і збільшити ефективність.

#### Література

1. *Геврик Є. О.*, Техніка безпеки / *Є. О. Геврик, Г. В. Сомар, Н. П. Пешко* // Навч. Посібник для студентів виш. навч. Закладів. – К.: Зовнішня торгівля, Ельга, 2006 – 316с.
2. *Геврик Є. О.*, Охорона праці / *Є. О. Геврик.* – Київ, 2003 – 280 с.
3. Закон України “Про охорону праці”. – К., 1992. - 129 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ЗАРЯДОВ СТАТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРИКИ

Е. Н. Бабенко

**Аннотація** – стаття посвящена аналізу нейтралізації зарядов статической електрики.

## DESIGN OF PROCESS OF NEUTRALIZATION OF CHARGES STATIC ELECTRICIANS

E. Babenko

#### *Summary*

**The article is devoted the analysis of neutralization of charges of static electricians.**



УДК 631.544.45

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРИФІКОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ОХОЛОДЖЕННІ ГАЗОВОГО СЕРЕДОВИЩА**

Ковалишин Б.М., к. т. н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

E-mail: bikoval08@mail.ru

**Анотація** - Показано спосіб підвищення енергоефективності електрифікованого холодильного обладнання при охолодженні газового середовища за рахунок використання підключеного паралельно холодильній машині вентилятора обдуву випарника.

**Ключові слова** - Енергоефективність, мікроклімат, холодильна машина, камера штучного клімату, випарник, вентилятор.

*Постановка проблеми.* Потреба в охолодженні продуктів і сировини, використання холоду в медицині, технологічних процесах в тваринництві і рослинництві, при загартуванні металів у машинобудуванні та інших галузях людської діяльності є важливою складовою перерахованих технологічних процесів. Штучний холод застосовується при будівництві шахт у водоносних шарах, в хімічній промисловості – при виробництві деяких синтетичних матеріалів. В рослинництві закритого ґрунту підтримання параметрів мікроклімату у теплицях та оранжереях, кліматичних установках, штучний холод застосовується для проморожування селекційного матеріалу, при яровизації озимих сільськогосподарських культур. Ефективне функціонування холодильного обладнання кліматичних установок дуже часто є визначальним при виборі тієї чи іншої технології, фітокамери, теплиці чи оранжереї. В той же час використання холодильного обладнання значно обмежується його високою вартістю, значною енергомісткістю і витратами на експлуатацію [1]. Тому актуальним є зменшення енергоспоживання при виробництві штучного холоду. Ця проблема відповідає концепції та Закону України "Про енергозбереження" [2].

*Формулювання мети статті.* Отримання вихідних даних для створення математичної моделі підвищення енергоефективності холодильного обладнання при охолодженні газового середовища в умовах закритих кліматичних систем.

*Основна частина.* Отримання вихідних даних для математичної моделі процесу охолодження повітряного середовища проводилось в камері штучного клімату, виконаній в будівельних конструкціях та в морозильній скрині CARAVEL–225.

У камері штучного клімату, виконаній в будівельних конструкціях, як джерело штучного холоду використовувався розміщений всередині приміщення випаровувач холодильної машини ИФ–56М з повітряним охолодженням [3]. Над випаровувачем розміщений повітророзподільний канал вентилятора, який знаходиться всередині корисного приміщення. Температура повітря в камері регулювалася трьохпозиційним регулятором ПТР–3.

Як джерело штучного холоду у морозильній скрині CARAVEL–225 використовується випарник у вигляді охолоджувальних внутрішніх стінок. Для перемішування повітря в корисному приміщенні встановлений вентилятор. Температура повітря в морозильній скрині регулювалася за допомогою двохпозиційного вимірювача–регулятора ТРМ–1 з датчиком типу ТСМ. В обох кліматичних установках підтримували температуру повітря на рівні 0°C. Температурні поля в корисних об'ємах обох об'єктів реєструвались 12–ти точковим самопишучим мостом КСМ–4.

Досліджувались три способи холодоз'єму з випарників холодильних машин:

- за рахунок природної конвекції повітря (без вентилятора);
- при постійно працюючому вентиляторі обдуву випарника;
- при роботі вентилятора обдуву випарника одночасно з роботою компресора холодильної машини.

Ефективність використання різних способів холодовіддачі оцінювалась за питомими енерговитратами на роботу холодильних машин і вентиляторів циркуляції повітря, за питомою холодопродуктивністю обладнання і за точністю підтримання температури в корисному об'ємі приміщення. Для оцінки енергоефективності роботи холодильного обладнання визначили і отримали з технічної документації:

- потужності двигунів холодильних машин;
- коефіцієнти завантаженості холодильних машин;
- потужності двигунів вентилятора циркуляції повітря;
- час роботи двигунів холодильних машин і вентиляторів циркуляції повітря всередині корисних об'ємів.

За діаграмами зміни температури повітря в досліджуваних об'єктах, отриманих з допомогою 12–ти крапкового самопишучого моста КСМ–4, розраховували коефіцієнти завантаженості холодильних машин обох закритих агроecosystem для різних варіантів охолодження. Коефіцієнт завантаженості холодильної машини розраховував-

ся як відношення часу роботи до періоду між двома сусідніми включеннями холодильної машини (час роботи + час стоянки).

Паспортна потужність асинхронних електродвигунів холодильної машини і вентилятора циркуляції повітря камери штучного клімату, виконаної в будівельних конструкціях, становить, відповідно, 2,2 і 0,55 кВт, швидкість повітряного потоку через випарник становить 5 м/с. Паспортна потужність електродвигунів холодильної машини і вентилятора циркуляції повітря морозильної скрині CARAVEL-225 – 0,8 і 0,05 кВт відповідно, швидкість повітряного потоку – 0,5 м/с.

Таблиця 1 - Ефективність роботи систем охолодження повітря при різних режимах холодоз'єму.

Варіант	Випарник – окремих блок				Випарник – стінки приміщення			
	Коеф-т завантаженості	Споживана ел. енергія, кВт·год, за		Вироблено холоду, ккал/год	Коеф-т завантаженості	Споживана ел. енергія, кВт·год, за		Вироблено холоду, ккал/год
		годину	рік			годину	рік	
Без вентилятора	0,541	1,19	10424,4	1620	0,155	0,124	1086,2	211,0
З постійно працюючим вентилятором	0,403	2,38	20848,8	1200	0,252	0,252	2207,5	428,8
З вентилятором, підключеним паралельно холодильній машині	0,228	0,85	7446,0	690	0,158	0,134	1173,8	268,9

Отримані результати експерименту з оцінки енергоефективності різних способів холодовіддачі для двох об'єктів штучного клімату приведені в таблиці.

За холодопродуктивністю холодильної машини і коефіцієнтом її завантаженості вираховували, скільки холоду було вироблено за годину і скільки було спожито електричної енергії у кожному з трьох

варіантів з'єму холоду з випарників холодильних машини обох кліматичних установок.

У камері штучного клімату, виконаній в будівельних вентилятоціях, для підтримання температури повітря у приміщенні на рівні 0 °С у третьому варіанті експерименту (з вентилятором, підключеним паралельно холодильній машині) було витрачено холоду на 135% менше, ніж у першому варіанті (без вентилятора), та на 74 % менше, ніж у другому варіанті (з постійно працюючим вентилятором).

Відмічено менше споживання електричної енергії у третьому варіанті експерименту порівняно з першим (на 40 %) та другим (на 180 %) варіантами.

Приріст ентальпії в корисному приміщенні за рахунок теплопритоків від електродвигуна вентилятора, розміщеного всередині приміщення, розраховується за приростом температури повітря за формулою [4]:

$$\Delta I_B = c_p \cdot m_{II} \cdot \Delta T_B,$$

де  $c_p$  – ізобарна теплоємність повітря, (1,005 Дж/(кг·°С));

$m_{II}$  – маса повітря в корисному приміщенні, кг ( $m_{II} = \rho \cdot V$ );

$\rho$  – густина повітря при 0°С (1,293 кг/м<sup>3</sup>);

$V$  – об'єм корисного приміщення, (12 м<sup>3</sup>).

Визначаємо  $m_{II} = 15,5$  кг.

Прийемо  $\Delta T_B = 20$  °С/год.

Отримаємо приріст ентальпії за рахунок теплопритоків від вентилятора обдуву рівний  $\Delta I_B = 312$  Дж/год = 74,5 кал/год.

Так як двигун вентилятора обдуву випарника холодильної машини під час роботи додає в корисне приміщення камери вказану кількість теплової енергії, то ще більшого ефекту з підвищення енергоефективності холодильного обладнання при одночасній роботі холодильної машини і вентилятора обдуву можна досягти, винісши двигун останнього за межі цього приміщення.

Отже, найбільш висока енергоефективність підтримання температури в корисному об'ємі приміщення камери штучного клімату, виконаної в будівельних конструкціях з випарником у вигляді окремого блоку, як з точки зору витрат холоду, так і з погляду економії вентириенергії відмічена у варіанті з вентилятором обдуву, працюючим одночасно з холодильною машиною.

Для морозильної скрині CARAVEL–225 з виконаним у вигляді внутрішніх стінок випарником витрати електроенергії і холоду у варіанті без циркуляційного вентилятора певною мірою поступаються цим же параметрам для варіанту з вентилятором, підключеним паралельно холодильній машині.

Більш контрастні відмінності за витратами електроенергії і холоду відмічені у варіанті з постійно працюючим вентилятором і варіанті без обдуву.

У морозильній скрині CARAVEL–225 для підтримання температури повітря у корисному об'ємі на рівні 0 °С у першому варіанті експерименту (з відключеним вентилятором) було витрачено електроенергії на 8 % менше, ніж у третьому варіанті (з вентилятором, підключеним паралельно холодильній машині), та на 103 % менше, ніж у другому варіанті (з постійно працюючим вентилятором).

Відмічено менше споживання холоду у першому варіанті експерименту порівняно з третім (на 27 %) та другим (на 103 %) варіантами. Підвищення енергоефективності морозильної скрині для варіанту роботи з вентилятором обдуву, підключеним паралельно холодильній машині, можливе, на нашу думку, шляхом збільшення продуктивності вентилятора.

Отримані результати показують один із шляхів суттєвого зниження витрат електроенергії і холоду при охолодженні газового середовища.

#### *Висновки.*

1. Найвища енергоефективність роботи обладнання для охолодження газового середовища у корисному приміщенні камери в будівельних конструкціях отримана у варіанті з працюючим одночасно з холодильною машиною вентилятором обдуву випарника, який виконаний у вигляді окремого блока.

2. Підвищенню енергоефективності роботи обладнання для охолодження газового середовища сприяє винесення вентилятора обдуву випарника холодильної машини за межі корисного приміщення.

3. Значний вплив на ефективність енерго– і холодовикористання має швидкість повітряного потоку, створюваного циркуляційними вентиляторами.

4. Рекомендувати використання в охолоджуваних закритих агрокосистемах режиму одночасної роботи холодильної машини з випарником, виконаним у вигляді окремого модуля, та вентилятора його обдуву.

#### *Література.*

1. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агро про-мисловому комплексі.– Тернопіль: Підручники і посібники, 2001.–976 с.

2. Закон України “Про енергозбереження”. Відомості Верховної Ради.-1994, № 30.– 283 с.

3. Холодильная машина ИФ-56М (Описание и инструкция по эксплуатации). – Касимов, 1978.–76с.

4. *В.Вычужанин.* Управление расходом воздуха в установке комфортного кондиционирования воздуха//Ж-л «Сантехника, отопление, кондиционирование», №5, 2005.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ  
ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ГАЗОВОЙ  
СРЕДЫ**

Б.М. Ковалишин

*Аннотация* - Показан способ повышения энергоэффективности электрифицированного холодильного оборудования при охлаждении газовой среды за счет использования подключенного параллельно холодильной машине вентилятора обдува испарителя.

**INCREASE OF ENERGI-SAVING ELECTRIFICAL  
TECHNOLOGIC EQUIPMENT AT COOLING OF  
GAS ENVIRONMENT**

B. Kovalishin

*Summary*

The method of energy efficiency increasing electrical refrigerating equipment gas environment by used of evaporator fan, which is parallel connected with refrigerating machine are shown.

УДК 631.362.3: 633.1

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА

Михайлов Е.В., к.т.н.,

Дёгтев В.М., к.т.н.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел.(0619) 42-21-32

**Аннотация** – в работе приведены показатели эффективности комплекса машин, оборудования и перечень подготовительных этапов, необходимых для построения математических моделей параметров послеуборочной обработки зерна (ПУОЗ).

**Ключевые слова** - послеуборочная обработка зерна, материал, модель, моделирование, эффективность функционирования.

*Постановка проблемы.* При создании новых технологических комплексов для ПУОЗ необходимо учитывать методики, учитывающие реальные условия функционирования машин и оборудования. Наиболее достоверные результаты при этом можем дать метод имитационного моделирования, учитывающий комплекс качественных показателей функционирования зерноочистительных машин [1,2].

*Анализ последних исследований.* В последних исследованиях установлено, что эффективность функционирования комплекса машин для ПУОЗ определена следующими показателями – недопустимостью скопления зерна на резервных площадках и необходимостью предотвращения потерь зерна из-за его несвоевременной обработки.

*Цель исследования.* Подготовка необходимых данных для моделирующей программы и составления плана реализации экспериментов по обоснованию параметров ПУОЗ.

*Основная часть.* Процессы уборки и послеуборочной обработки зерна можно рассматривать в виде процесса функционирования сложной системы, относящейся к классу систем массового обслуживания.

Случайные векторные функции времени воздействия на систему представлены в виде

$$f(t) = [f_1(t), f_2(t), \dots, f_u(t)],$$

где  $(f_1)(t), f_2(t), \dots, f_u(t)$  – скалярные функции изменения характеристик убираемой массы, допускающие возможность влияния на

производительность машин функции изменения потерь урожая  $d(t)$  в зависимости от времени достижения биологической спелости и функции  $C(t)$ , которая принимает значение 1 в светлое время и равно 0 в другом случае.

В функцию  $d(t)$  могут включаться как физические потери, связанные с самоосыпанием и воздействием рабочих органов уборочных машин на культуры, так и потерн, связанные с биологической сохранностью урожая.

За требование или заявку в модели принимается объем убираемой массы, вмещающийся в бункер уборочной машины или транспортного средства.

В качестве обслуживающих приборов в модели [3] рассматриваются транспортные средства и машинные технологии процесса ПУОЗ.

Если производительность машин зависит от характеристик обрабатываемого материала, то время обслуживания на имитирующем эту машину приборе определяется [1]

$$\tau_{ij}^k = \frac{mj}{q_k(P_j)} + \xi_k \quad (1)$$

где  $q_k(P_j)$ -функция регрессии, выражающая зависимость производительности машины от характеристик обрабатываемого материала, кг/с;

$P_j$  - вектор параметров  $j$ -того требования (характеристики обрабатываемого материала);

$\xi_k$  - случайная составляющая времени обслуживания, с.

Для машин и оборудования, производительность которых не зависит от обрабатываемых материалов, время обслуживания требований на соответствующих им приборах определяется распределением случайной величины времени обслуживания.

Срок хранения свежееубранного зернового материала ограничен. Это ограничение задается функцией времени допустимого хранения без обработки  $T_{доп}(P)$ .

Эффективность функционирования комплекса машин и оборудования для ПУОЗ определим следующими показателями:

$$e_1 = 1 - \frac{G_{ид}}{G} \quad (2)$$

где  $e_1$  - недопустимость скопления зерна на резервной площадке;

$G$  - общее количество обрабатываемого материала, доставленное транспортными средствами на послеуборочную обработку, т;

$G_{пр}$  - количество материала, получившее отказ в приеме на обработку в технологическую линию из-за ее перегрузки, т;



$$\dot{a}_2 = \frac{G_{\dot{n}a}}{G} \quad (3)$$

где  $e_2$  - необходимость предотвращения потерь зерна из-за его несвоевременной обработки;

$G_{\text{св}}$  - количество материала, обработанное в течение заданного срока, т.

В момент прибытия транспортного средства с порцией обрабатываемого материала показатель  $e_1$  представляет вероятность того, что в приемном устройстве будет достаточно места для размещения этой порции.

Время хранения обрабатываемого материала ограничено и регламентируется показателем  $e_2$ . Если время хранения превышает допустимое (особенно это касается процессов уборки риса - зерна в южных районах Украины), может наступить самосогревание и порча зерна. В данном случае фиксируется технологический отказ, связанный с превышением времени хранения обрабатываемого материала.

Использование математических моделей для обоснования параметров технической оснащенности ПУОЗ включает в себя следующие этапы.

1. Сбор и обработка данных для построения моделей внешних возмущений (функций  $F(t)$ ,  $c(t)$ ,  $d(t)$ ).

Необходим систематический сбор данных на зональных машиноиспытательных станциях, определяющих условия функционирования рассматриваемых систем.

2. Построение регрессионных зависимостей производительностей машин для ПУОЗ, характерных для рассматриваемой зоны.

3. Трансляцию моделей - разработка моделирующего алгоритма и программы.

В этой ситуации следует отдать предпочтение специализированным языкам моделирования, таким, как, например, моделирование систем массового обслуживания, что позволяет облегчить процессы разработки и использования программ.

4. Планирование машинных экспериментов с разработанными моделями. Они могут быть использованы для решения задач анализа влияния различных факторов на процесс функционирования зернокомплекса и решения задач синтеза - обоснования значения параметров машин и оборудования.

Каждый вариант комплекса представлен определенным набором параметров:

- расчетной производительностью машин и оборудования для ПУОЗ, т/ч;

- вместимостью приемного устройства зернокомплекса,  $\text{м}^3$ ;

- вместимостью межоперационных накопителей,  $m^3$ . Эффективность функционирования комплекса определяется совокупностью показателей

$$E_K = (e_1, e_2, e_{пз}), \quad (4)$$

где  $e_1, e_2$  - показатели эффективности функционирования комплекса (см. формулы (2) и (3);

$e_{пз}$  - показатель приведенных затрат, грн/т.

Каждый вариант комплекса характеризуется вектором

$$E_K(A_j) = (e_1(A_i), e_2(A_i), e_{пз}(A_i)), \quad (5)$$

$$I=1 \dots n$$

где  $A_j$  - вариант комплекса.

Для принятия решения о выборе варианта комплекса воспользуемся критерием, который представлен в виде функции от вектора показателей эффективности Функционирования

$$E_э = f(e_1, e_2, e_{пз}). \quad (6)$$

В теории больших систем разработан целый ряд методов построения интегральных критериев [4]. Для решения нашей системы воспользуемся методом, основанным на том, что один из показателей эффективности принимается в качестве обобщенного, а все остальные учитываются в виде ограничений.

Показатель приведенных затрат  $e_{пз}$  примем в качестве обобщенного критерия, а показатели эффективности функционирования  $e_1, e_2$  - в качестве ограничений.

Поставленная задача является задачей математического программирования (исполнитель В.М.Дегтев).

В литературе по статистическому моделированию [5] приводятся различные методы решения аналогичных задач: метод наилучшей пробы, градиентные методы и др.

Для поставленной задачи на наш взгляд наиболее целесообразным является использование итерационной процедуры покомпонентной оптимизации П.П.Бусленко [6]

После того, как моделирующая программа разработана составляется план реализации экспериментов и проводятся расчеты по обоснованию параметров комплекса послеуборочной обработки зерна для региональных условий.

*Выводы.* В работе приведены показатели эффективности комплекса машин и оборудования и перечень подготовительных этапов необходимых для построения математических моделей параметров послеуборочной обработки зерна (ПУОЗ).

## Литература

1. Михайлов Е.В. Підвищення ефективності технологічної післязбиральної обробки зерна в умовах півдня України /. Праці ТДАТА.- вип.2.7.18.-Мелитополь.- 2001, сс.72...74.
2. Скурта Б.К. Имитационное моделирование и управление сельскохозяйственным производством. / Учеб. пособие.- К.: Высшая шк., 1990.-206с
3. Денисов А.А. Теория больших систем управления / А.А. Денисов, Д.Н. Колесников - Л.:Энергоиздат, 1982.-288с.
4. Лившиц А.Л. Статистическое моделирование систем массового обслуживания / А.Л. Лившиц, Э.А. Мальц - М.: Советское радио, 1978.-248с.
5. Дегтев В.М. Обоснование основных параметров технологического оборудования и машин для послеуборочной обработки зерна в условиях Северо-запада Нечерноземной зоны. / В.М. Дегтев Дис. канд. техн. наук. -Л.: 1984.-202с.
6. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. / Н.П. Бусленко - М.: Наука, 1968.-365с.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА

Е.В. Михайлов, В.М. Дёгтев

**Аннотация** – В работе приведены показатели эффективности комплекса машин и оборудования и перечень подготовительных этапов, необходимых для построения математических моделей параметров послеуборочной обработки зерна (ПУОЗ).

### USING OF SIMULATION TECHNIQUE FOR GROUND OF PARAMETERS OF PROCESS OF POSLEUBOROCHNOY TREATMENT OF GRAIN

E. Mikhaylov, V. Degtev

**Annotation** – the indexes of efficiency of complex of machines and equipment and list of the preparatory stages, necessary for the construction of mathematical models of parameters of послеуборочной treatment of grain are In-process resulted (PUOZ).

УДК 631.311.001.57

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ  
ПІДВИЩЕННЯ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ ГРУНТООБРОБНОГО  
АГРЕГАТУ НА БАЗІ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ,  
ОБЛАДНАНОГО ЗДВОЄНИМИ ШИНАМИ**

Калінін Є.І, асп.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*

E-mail: kalininhntusg@gmail.com

**Анотація** - в статті висвітлюються експериментальні дослідження шляхів підвищення курсової стійкості агрегату при виконанні ґрунтообробних робіт у складі трактору зі здвоєними шинами на основі раніше проведених теоретичних досліджень.

**Ключові слова** – курсова стійкість, ґрунтообробний агрегат, шини, ґрунт, датчики.

*Постановка проблеми.* Збільшення термінів обробітку сільськогосподарських культур призводить до того, що колісні трактори, як найбільш поширений тип тракторів, експлуатуються на вологому ґрунті, що негативно впливає на паливно-економічні та тягово-зчіпні їх властивості. Одним з можливих шляхів підвищення тягово-зчіпних властивостей тракторів на ґрунтах зі слабкою несучою здатністю є збільшення площі плями контакту рушія з опорною поверхнею. Цього можна домогтися встановленням широкопрофільних шин або здвоюванням коліс.

*Аналіз останніх досліджень.* Найпростіший спосіб, що не вимагає значних змін в конструкції, – використання на тракторах широкопрофільних шин, які створюють менший тиск на ґрунт. Проте для них потрібна широка борозна, яка може бути отримана шляхом застосування плуга з ромбічними корпусами або із спеціальними заплужниками, встановленими за останнім корпусом плуга [1].

Для зниження тиску на ґрунт і підвищення тягового ККД за рахунок меншого буксування колісних тракторів зарубіжні фірми обладнують їх здвоєними шинами.

Крім того, встановлення здвоєних шин зменшує механічну деградацію ґрунту за рахунок зниження тиску на останній [2]. Так, згідно [3], використання здвоювання шин на тракторі ХТЗ-150К при-

зводить до зменшення тиску в плямі контакту в 1,5 разу – з  $0,9 \text{ кг/см}^2$  до  $0,6 \text{ кг/см}^2$ , унаслідок чого трактор відповідає світовим стандартам. Тому все частіше виробники тракторів рекомендують використовувати здвоєні шини на поверхневій обробці ґрунту з одночасним внесенням добрив, сівбі широкозахватними агрегатами, підгодівлі озимих і багаторічних трав, а також на глибокій оранці ґрунтів, що мають підвищений опір [4, 5, 6]. Проте на даному етапі не вивчений вплив здвоювання шин на курсову стійкість трактору у складі ґрунтообробного агрегату, тому в роботах [7, 8] була розроблена динамічна модель орного агрегату із здвоєними шинами, що враховує нерівномірний розподіл дотичних сил тяги по бортах останнього. Було виділено три можливі схеми руху даного агрегату на гоні (рис. 1):

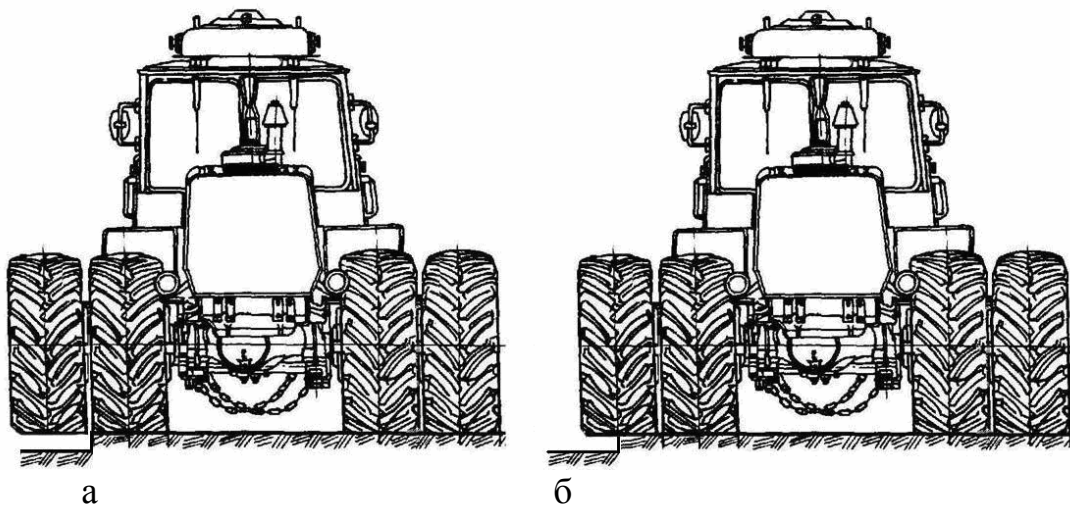


Рис.1. Можливі схеми руху орного агрегату на гоні.

1. схема  $2 \times 1$  характеризується рухом всіх коліс лівого борту по незораній поверхні, а правий борт тільки одним колесом рухається по полю, тоді як друге колесо не взаємодіє з несучою поверхнею (рис. 1, а); Рис.2.Можливі схеми руху орного агрегату на гоні

2. схема  $2 \times 1,5$ , при якій лівий борт всіма колесами рухається по незораному полю, а на правому борту одне колесо пари повністю, а друге – на половину ширини, взаємодіє з несучою поверхнею (рис.1, б).

На підставі розробленої динамічної моделі було встановлено, що рух трактору по схемі  $2 \times 1$  негативно впливає на його курсову стійкість, оскільки вертикальне навантаження під рушієм правого борту перевищує несучу здатність ґрунту, унаслідок чого останній руйнується. В той же час, рух по схемі  $2 \times 1,5$  практично не змінює курсової стійкості трактору і є прийнятним для виконання орних робіт на тракторах із здвоєними шинами. Також встановлено, що аналіз курсової стійкості агрегату можна проводити за значеннями бічного прискорення центру мас його складової частини.

*Формулювання цілей статті.* Метою динамічних випробувань трактору є визначення впливу встановлення здвоєних шин на динамічні властивості ґрунтообробного агрегату та перевірка динамічної моделі на прикладі орного агрегату як найдинамічніше нестійкого при русі на гоні.

*Основна частина.* Дослідження проводилися на полігоні ВАТ «Харківський тракторний завод» за наступною програмою:

1. динамічні випробування трактору у складі орного агрегату;
2. аналіз результатів випробувань.

Для проведення динамічних випробувань був вибраний агрегат ХТЗ-150К-09 + ПЛН-5-35 як один з найбільш поширених орних агрегатів. Значення бічних прискорень реєструвалися за допомогою датчика прискорень фірми Analog Devices «ADXL210».

Мікросхема ADXL210 реєструє прискорення в двох координатах в діапазоні  $\pm 10g$ . Акселерометр є датчиком інерційного типу. Вихідні сигнали широтно-імпульсно модульовані (ШИМ) по циклах, які пропорційні прискоренням. Ці виходи безпосередньо підключені до входів мікроконтролеру, де за допомогою таймерів обчислюється часовий інтервал між циклами ШИМ. Даний датчик не вимагає аналого-цифрового перетворювача або логіки з'єднання. Період ШИМ можна регулювати від 0,5 мс до 10 мс. Вибраний період складає 8 мс. Ширина пропускнуої смуги ADXL210 може встановлюватися від 0,01 Гц до 5 кГц. Похибка вимірювань не перевищує  $5 \times 10^{-3} g$  при частоті 60 Гц. Зовнішній вигляд датчика, встановленого на передній напіврамі трактору, приведений на рис. 3.

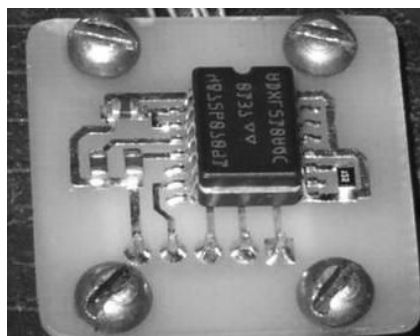


Рис.3. Встановлення датчика прискорень на передній напіврамі трактору.

Датчик працює у складі комп'ютерного комплексу з програмним пакетом DASyLab (Data Acquisition System Laboratory), на підставі якого створюється електронний масив даних.

Для градування датчиків прискорень використовувався метод прикладання постійного прискорення – градування в полі тяжіння. Метод полягає у вимірюванні сигналу, що отримується у випадку, коли істинна вісь чутливості датчика орієнтована під кутом  $\alpha$  до місцевої вертикалі (рис. 4). Точність градування істотно залежить від помилок вимірювання вихідної напруги і величини кута. Даний метод зручний для швидкої повірки чутливості системи перед початком вимірювання [9]. Датчик розташовувався на поздовжній вісі передньої напіврамі трактору (на капоті) з деяким зсувом від центру мас напіврамі за ходом руху трактору (рис. 5).

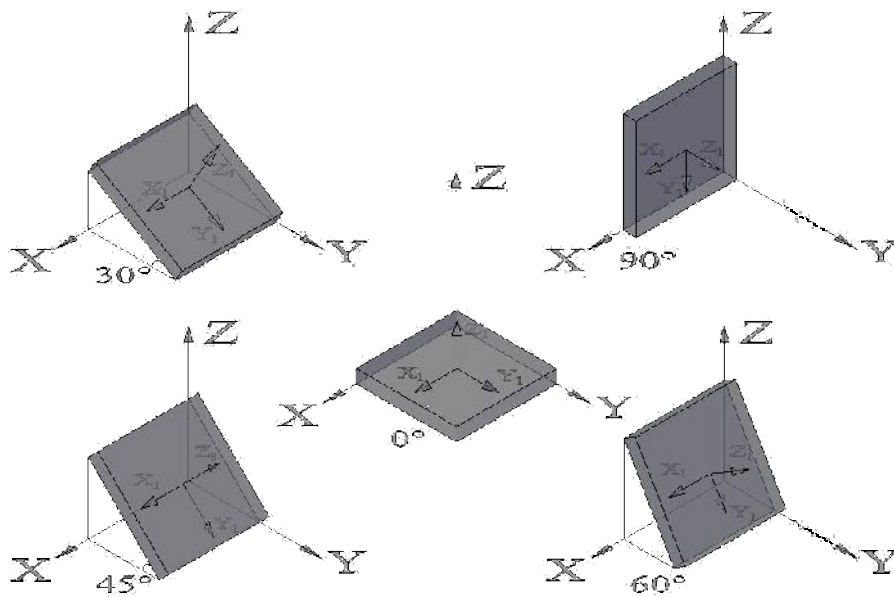


Рис.4. Положення датчика при виконанні градування методом постійного прискорення.

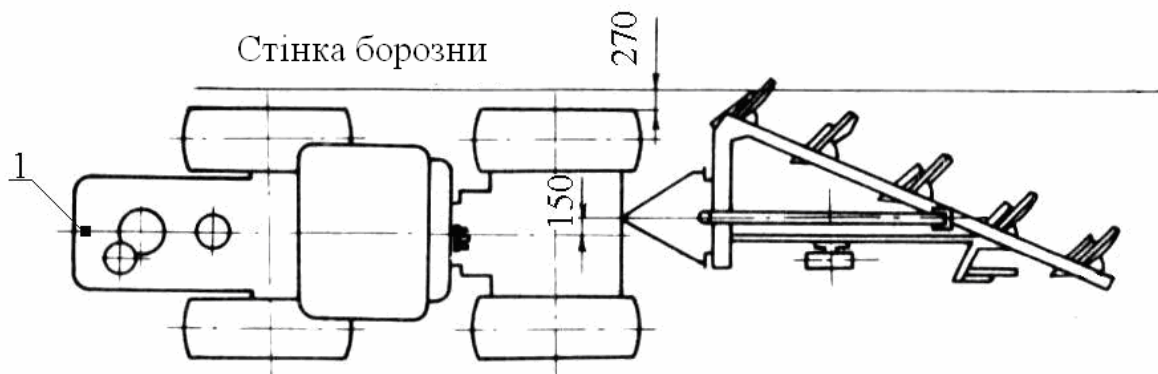


Рис. 5. Розташування датчика прискорення на передній напіврамі трактору: 1 – акселерометр.

Даний зсув пояснюється розташуванням в центрі мас напіврамі миттєвої осі обертання, швидкість якої (як і прискорення) постійна і дорівнює нулю. Визначення координат місцезнаходження трактору здійснюється за допомогою приймача сигналів глобального

позиціонування GPS (Global Positioning System) TRIMBLE EZ-Guide Plus, який розташовується в кабіні трактору (рис. 6).

GPS навігатор дозволяє виводити інформацію про поточне місцезнаходження трактору по протоколу NMEA 0183 для введення в зовнішні пристрої.



Рис. 6. Встановлення приймача сигналів глобального позиціонування в кабіні трактору.

На підставі масиву даних, отриманих в результаті динамічних випробувань трактору з одинарними і здвоєними шинами на агрофоні нормальної і підвищеної вологості (рис. 7), побудовані апроксимовані методом найменших квадратів залежності бічного прискорення передньої напіврамі трактора від часу.



Рис.7. Трактор ХТЗ-150К-09 зі здвоєними шинами в агрегаті з плугом ПЛН-5-35: а – вид спереду; б – вид ззаду.

На основі динамічних випробувань орного агрегату на агрофоні нормальної вологості (рис. 8, 9) можна зробити висновок про те, що граничне відхилення в 1 м досягається агрегатом з одинарними шинами на 16,42 сек., а агрегату зі здвоєними шинами при схемі руху  $2 \times 1$  – на 7 сек.



Значення прискорень в даній проміжок часу складають для трактору з одинарними шинами  $0,3 \text{ м/с}^2$ , а для трактору зі здвоєними шинами при схемі руху  $2 \times 1$  -  $0,4 \text{ м/с}^2$ .

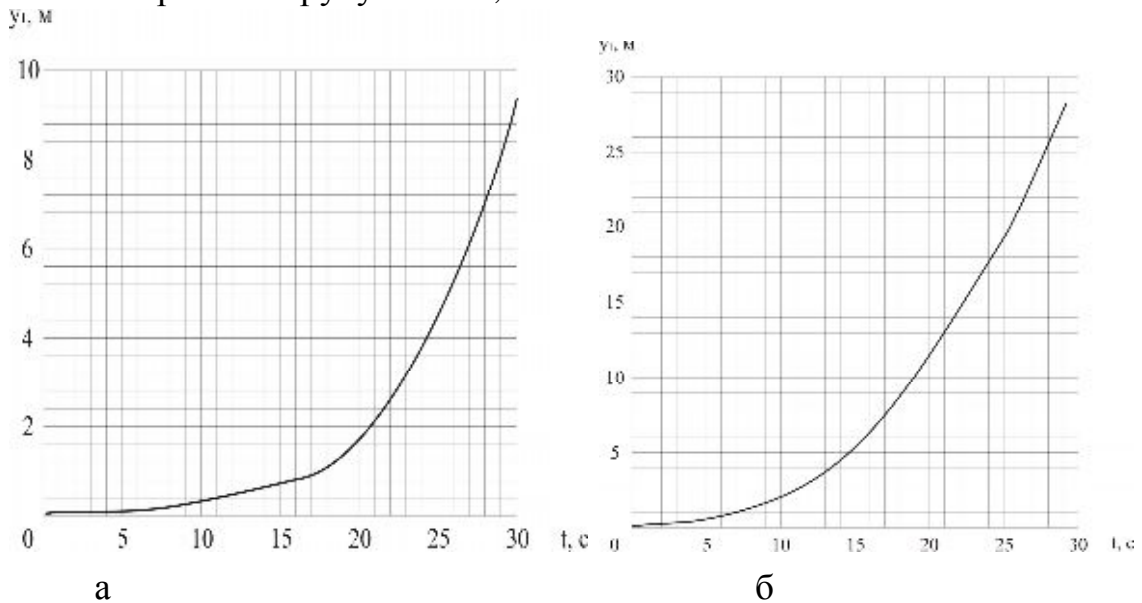


Рис.8. Апроксимовані залежності від часу поперечної координати передньої напіврами трактору у складі орного агрегату на агрофоні нормальної вологості: а – з одинарними шинами; б – зі здвоєними шинами по схемі  $2 \times 1$ .

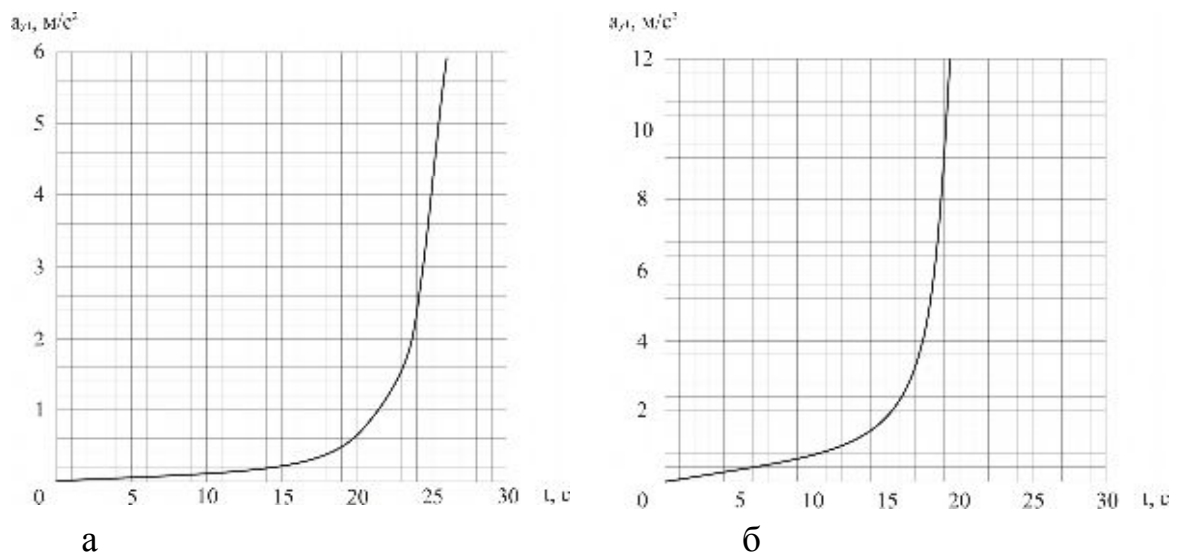


Рис.9. Апроксимовані залежності від часу бічного прискорення передньої напіврами трактору у складі орного агрегату на агрофоні нормальної вологості: а – з одинарними шинами; б – зі здвоєними шинами по схемі  $2 \times 1$ .

Для орного агрегату з одинарними і здвоєними шинами (при схемі руху  $2 \times 1$ ) на агрофоні підвищеної вологості (рис. 10, 11) граничне відхилення в 1 м досягається на 15,0 сек. і 4 сек. відповідно.

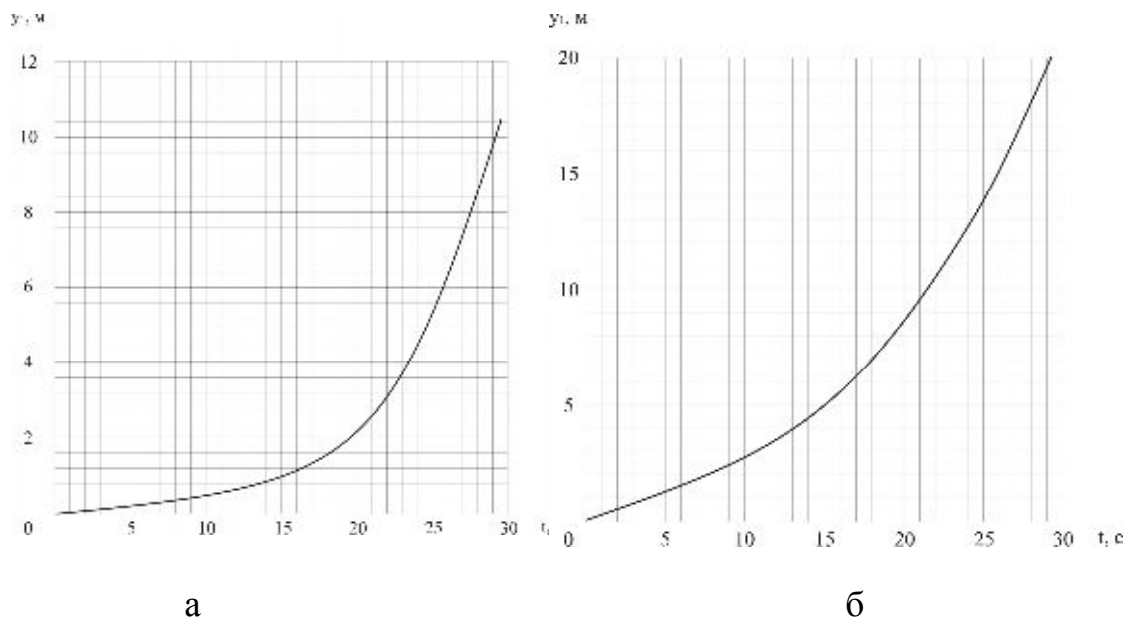


Рис.10. Апроксимовані залежності від часу поперечної координати передньої напіврамі трактору у складі орного агрегату на агрофоні підвищеної вологості: а – з одинарними шинами; б – зі здвоєними шинами по схемі 2×1.

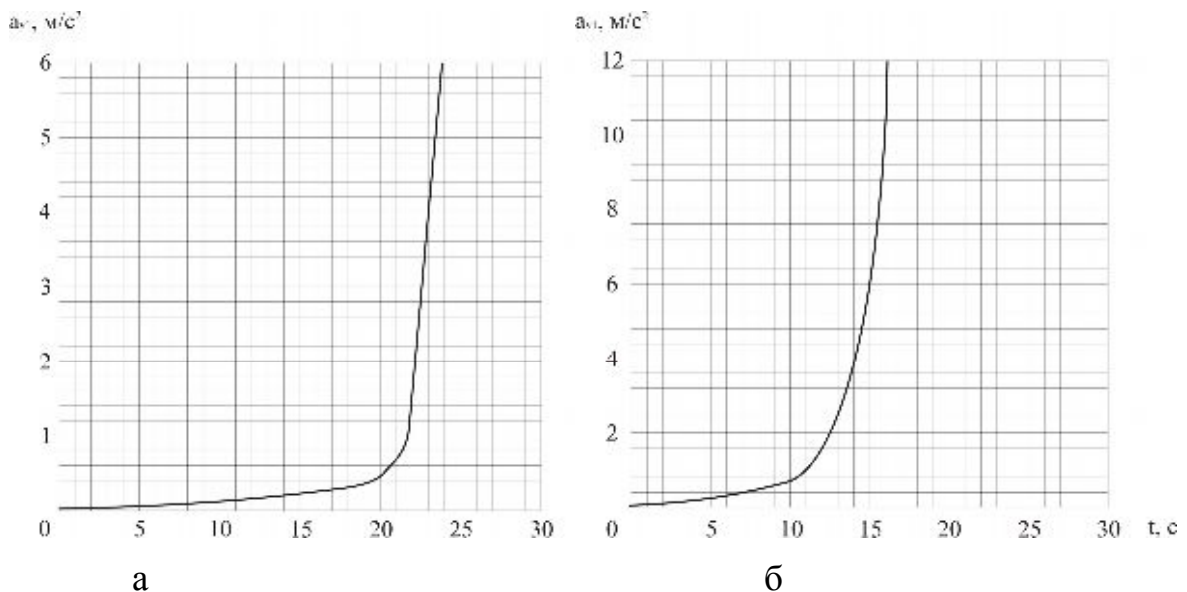


Рис.11. Апроксимовані залежності від часу бічного прискорення передньої напіврамі трактору у складі орного агрегату на агрофоні підвищеної вологості: а – з одинарними шинами; б – зі здвоєними шинами по схемі 2×1.

На 15,0 сек. прискорення передньої напіврамі трактору з одинарними шинами складає  $0,2 \text{ м/с}^2$ . Для трактору із здвоєними шинами (2×1) максимально допустиме відхилення від прямолінійної траєкторії досягається при значенні бічного прискорення в  $0,4 \text{ м/с}^2$ . На підставі проведених експериментальних досліджень можна зробити висновок

про те, що робота трактору зі здвоєними шинами по схемі  $2 \times 1$  негативно впливає на курсову стійкість орного агрегату, що корелюється з результатами теоретичних досліджень. Апроксимовані залежності поперечної координати передньої напіврами трактору обладнаного здвоєними шинами при проведенні орних робіт за схемою  $2 \times 1,5$  на агрофоні нормальної і підвищеної вологості представлені на рис. 12.

З рис. 12 можна зробити висновок, що для орного агрегату зі здвоєними шинами що працює за схемою  $2 \times 1,5$  на агрофоні нормальної вологості максимально допустиме відхилення від прямолінійної траєкторії настає через 16,45 сек., а на агрофоні підвищеної вологості – через 15,42 сек.

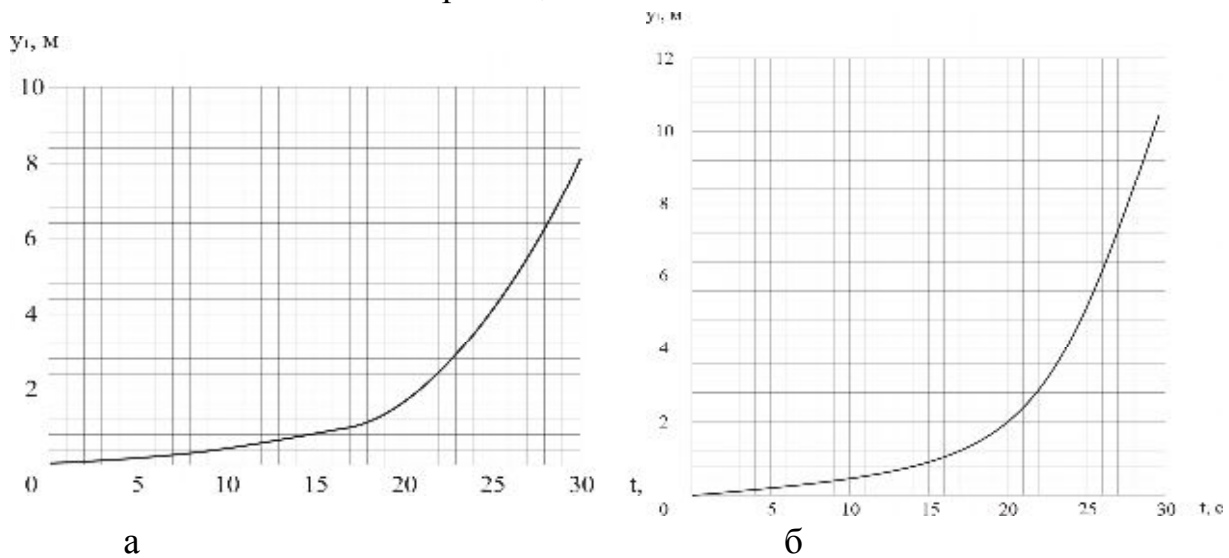


Рис.12 . Апроксимовані залежності від часу поперечної координати передньої напіврами трактору обладнаного здвоєними шинами у складі орного агрегату при схемі руху  $2 \times 1,5$ : а – на агрофоні нормальної вологості; б – на агрофоні підвищеної вологості.

Апроксимовані залежності бічних прискорень передньої напіврами трактору обладнаного здвоєними шинами, який працює за схемою  $2 \times 1,5$  на агрофоні нормальної і підвищеної вологості представлені на рис. 13. З рис. 13 видно, що для орного агрегату із здвоєними шинами при схемі руху  $2 \times 1,5$  на агрофоні нормальної вологості максимально допустиме поперечне прискорення передньої напіврами трактору складає  $0,21 \text{ м/с}^2$ , а на агрофоні підвищеної вологості –  $0,89 \text{ м/с}^2$ . Таким чином можна зробити висновок, що в порівнянні з орним агрегатом на одинарних шинах робота трактору за схемою  $2 \times 1,5$  на агрофоні нормальної вологості призводить до того, що курсова стійкість практично не змінюється (збільшення в 1,002 разу), а на агрофоні підвищеної вологості – збільшується в 1,03 разу, що говорить про ефективніше використання здвоєних шин при роботі орного агрегату за схемою  $2 \times 1,5$ .

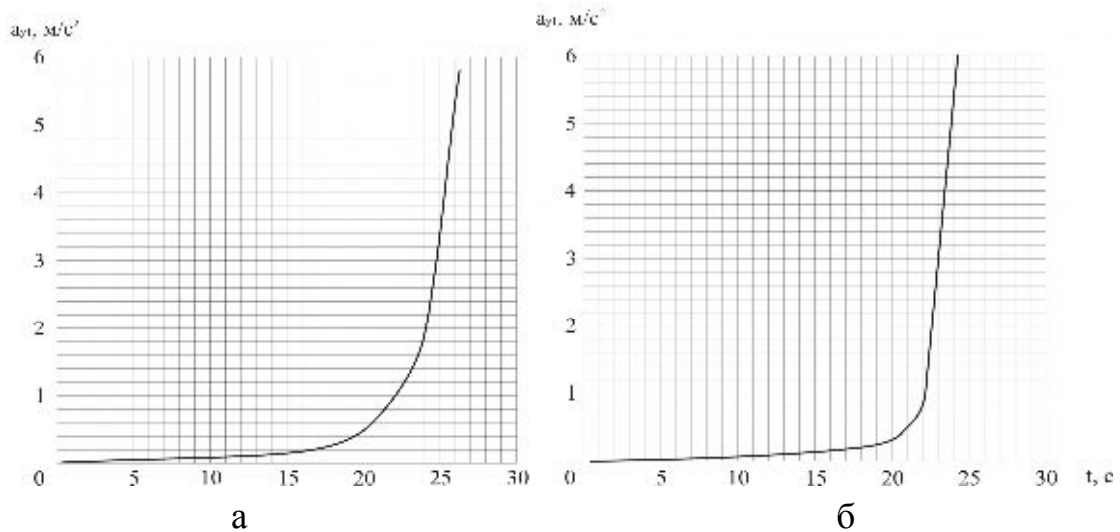


Рис.13. Апроксимовані залежності від часу бічного прискорення передньої напіврамі трактору обладнаного здвоєними шинами у складі орного агрегату що працює за схемою  $2 \times 1,5$ : а – на агрофоні нормальної вологості; б – на агрофоні підвищеної вологості.

*Висновки.* В результаті експериментальних досліджень підтверджена адекватність раніше опублікованої динамічної моделі ґрунтообробного сільськогосподарського агрегату на базі трактору зі здвоєними шинами. Також встановлено, що використання здвоювання шин при схемі руху  $2 \times 1$  недоцільно через те, що погіршується курсова стійкість орного агрегату, а, отже, і його паливно-економічні показники за рахунок видовження траєкторії руху. Це пояснюється збільшенням вертикального навантаження під рушієм трактору, значення якого перевищує несучу здатність ґрунту, за рахунок чого останній руйнується. Робота трактору зі здвоєними шинами за схемою  $2 \times 1,5$  практично не змінює курсову стійкість агрегату, тому може бути використана при виконанні орних робіт на агрофоні зі слабкою несучою здатністю (ранньо-весняні та пізньо-осінні роботи).

#### Література

1. Уткин-Любовцов О.Л. Оценка сдваивания колес тракторов классов 30 и 50 кН по некоторым показателям / Уткин-Любовцов О.Л., Шабаров А.А., Ляско М.И. // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1981. – № 3 – с. 4 – 7.
2. Астафьев В.Л. Совершенствование технической оснащённости села с учетом уплотняющего воздействия МТА на почву / Астафьев В.Л., Гридин Н.Ф., Окунев Г.А., Гайнуллин И.А. // Тракторы и сельскохозяйственные машины – 2002. – №9 – с. 11 – 12.
3. Комплекты деталей для установки сдвоенных колес на тракторы ХТЗ (электронный ресурс). Режим доступа <http://www.ukr-firma.com/node/977>

4. ООО «Интерснаб» Трактор ОрТЗ-150К со сдвоенными колесами (электронный ресурс). [http://www.ortz.ru/catshow.php?showinfo=01\\_012](http://www.ortz.ru/catshow.php?showinfo=01_012)
5. Трактор ХТЗ-17221/17021 (электронный ресурс). Режим доступа <http://www.road-machines.ru/mode.7642-id.31239-type.html>
6. Минский тракторный завод. Агрегатирование. (электронный ресурс). Режим доступа <http://belarus-tractor.com/ru/main.aspx?guid=1141>
7. Лебедев А.Т. Динамічна модель ґрунтообробних машинно-тракторних агрегатів з пасивними робочими органами у складі енергетичного засобу зі здвоєними шинами / Лебедев А.Т., Калінін Є.І. // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил імені Івана Кожедуба «Системи обробки інформації». – Х, 2010. – Вип. 2(83). – С. 109 – 115.
8. Калинин Е.И. Оценка установки сдвоенных шин как одного из способов повышения эффективности работы пахотного агрегата на агрофоне со слабой несущей способностью / Калинин Е.И. // Последните научни постижения – 2010. Материали за VI международна научна практична конференция. – София.: «Бял ГРАД-БГ» ООД. – 2010. – Том 16. – С.65 – 73.
9. Аш. Ж. Датчики измерительных систем: в 2 кн. / Аш. Ж. – Перев. с франц. – М.: Мир, 1992. – 480 с.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА НА БАЗЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА, ОБОРУДОВАННОГО СДВОЕННЫМИ ШИНАМИ**

Е.И. Калинин

***Аннотация*** - в статье освещаются экспериментальные исследования путей повышения курсовой устойчивости агрегата при выполнении почвообрабатывающих работ в составе трактора со сдвоенными шинами на основе ранее проведенных теоретических исследований.

## **EXPERIMENTAL STUDY THE POSSIBILITY OF TRACTOR WITH THE DOUBLED TIRES COURSE STABILITY INCREASE AT IMPLEMENTATION OF TILLAGE WORKS**

E. Kalinin

### ***Summary***

**The article highlights the experimental study ways to improve the tractor with the doubled tires course stability increase at implementation of tillage works.**

УДК 621.317

## **ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ОРТОГОНАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Федюшко Ю. М., к.т.н.,

Федюшко М.П.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел.+38(0619)42-11-52

**Анотація** - розглянуто методологічне обґрунтування по визначенню ядер Вольтерра широкого класу нелінійних багатовимірних систем, за допомогою методу ортогональних перетворень, для дослідження нелінійних біологічних систем.

**Ключові слова** - метод ортогональних перетворень, ядра Вольтерра, нелінійні біологічні системи, біологічні об'єкти.

*Постановка проблеми.* Вивченню впливу електромагнітних коливань на біологічні структури різного рівня організації присвячено велика кількість наукових робіт [1].

Аналіз ефектів, викликаних електромагнітними коливаннями, є передумовою вивчення природи і характеристик чисельних класичних явищ. Хоча ці явища були розглянуті як теоретично, так і експериментально раніше [2], просторові та тимчасові розподіли електромагнітних хвиль в біологічному об'єкті, які характеризуються нелійними властивостями, поки що недостатньо проаналізовані і вимагають детально розроблених математичних обчислень.

*Аналіз попередніх досліджень.* Використовуючи методи, розвинені в нелінійній методології [2, 3], для аналітичного розв'язання рівнянь по визначенню реакції нелінійної стаціонарної системи на детерміновані впливи є достатньо складною задачею, яку можливо вирішити за допомогою методу ортогональних перетворень. Як відомо, дослідження стаціонарних нелінійних систем істотно спрощується при застосуванні перетворень Лапласа і Фур'є, завдяки переходу від інтегральних зв'язків, в часовій області, до алгебраїчних в комплексній області [4].

В даний час все більш широко ведуться роботи, пов'язані із створення і вивчення узагальнених методів ортогональних перетворень, окремими випадками яких є методи Уолша, Хаара, які викори-

стовуються при вирішенні задач управління і зв'язку, астрономії, океанології, медицини, біології і ін. [4].

*Формування цілей статті.* Метою статті є методологічне обґрунтування та визначення ядер Вольтерра широкого класу нелінійних багатовимірних систем, за допомогою методу ортогональних перетворень, для дослідження нелінійних біологічних систем.

*Основна частина.* Визначимо аналітичним шляхом реакцію поліноміальної системи на вхідний сигнал, що є періодичною функцією, представленою рядом Фур'є:

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \exp(j\omega n t). \quad (1)$$

Нехай, зокрема,

$$x(t) = C_1 \exp(j\omega t) + C_{-1} \exp(-j\omega t). \quad (2)$$

Будемо вважати, що всі ядра мають зображення по Фур'є. Вихідний сигнал системи, з врахуванням дії типу (2), отримаємо в вигляді:

$$y(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} d_n(j\omega) \exp(j\omega n t). \quad (3)$$

Для визначення, у формулі (3), коефіцієнтів  $d_n(j\omega)$ , які залежать від частоти  $\omega$ , проведемо наступні викладення:

$$\begin{aligned} v_1[\exp(j\omega t)] &= \int_{E^1} h_1(\tau) \exp(j\omega t - j\omega\tau) dv_\tau = \\ &= H_1(j\omega) \exp(j\omega t), \\ v_2[\exp(j\omega t)] &= \int_{E^2} h_2(\tau_1, \tau_2) \exp(j2\omega t - j\omega\tau_1 - j\omega\tau_2) dv_\tau = \\ &= H_2(j\omega, j\omega) \exp(j2\omega t), \\ v_3[\exp(j\omega t)] &= \int_{E^3} h_3(\tau_1, \tau_2, \tau_3) \exp(j3\omega t - j\omega\tau_1 - j\omega\tau_2 - j\omega\tau_3) dv_\tau = \\ &= H_3(j\omega, j\omega, j\omega) \exp(j3\omega t), \\ v_1[\exp(-j\omega t)] &= \int_{E^1} h_1(\tau) \exp(-j\omega t + j\omega\tau) dv_\tau = \\ &= H_1(-j\omega) \exp(-j\omega t), \\ v_2[\exp(-j\omega t)] &= \int_{E^2} h_2(\tau_1, \tau_2) \exp(-j2\omega t + j\omega\tau_1 + j\omega\tau_2) dv_\tau = \\ &= H_2(-j\omega, -j\omega) \exp(-j2\omega t), \\ v_3[\exp(-j\omega t)] &= \int_{E^3} h_3(\tau_1, \tau_2, \tau_3) \exp(-j3\omega t + j\omega\tau_1 + j\omega\tau_2 + j\omega\tau_3) dv_\tau = \\ &= H_3(-j\omega, -j\omega, -j\omega) \exp(-j3\omega t). \end{aligned} \quad (4)$$

Обчислимо наступні вирази:

$$\int_{E^2} h_2(\tau_1, \tau_2) \exp(j\omega t - j\omega\tau_1) \exp(j\omega t + j\omega\tau_2) dv_\tau = H_2(j\omega, -j\omega);$$

$$\int_{E^3} h_3(\tau_1, \tau_2, \tau_3) \exp(j\omega\tau_1) \exp(j\omega\tau_2) \exp(-j\omega\tau_3) d\tau = H_3(j\omega, j\omega, -j\omega) \exp(j\omega t).$$

Хай всі ядра системи симетричні, а система «непарна» і має п'ятий ступінь, тоді коефіцієнт  $d_1(j\omega)$  в (3), після групування відповідних членів в (4) і аналогічних викладень для ядра п'ятого порядку вийде у наступному вигляді:

$$d_1(j\omega) = C_1 H_1(j\omega) + 3C_1^2 C_{-1} H_3(-j\omega, j\omega, j\omega) + 10C_1^3 C_{-1}^2 H_5(-j\omega, -j\omega, j\omega, j\omega, j\omega). \quad (5)$$

Розділивши  $d_1(j\omega)$  на  $C_1$ , отримаємо еквівалентну амплітудно-фазову частотну характеристику  $G_3(j\omega)$  нелінійної поліноміальної системи п'ятого ступеня:

$$G_3(j\omega) = H_1(j\omega) + 3C_1 C_{-1} H_3(-j\omega, j\omega, j\omega) + 10(C_1 C_{-1})^2 H_5(-j\omega, -j\omega, j\omega, j\omega, j\omega). \quad (6)$$

Із (6) видно, що, на відміну від частотної характеристики лінійної системи,  $G_3(j\omega)$  залежить від  $C_1 C_{-1}$ . Зокрема, для системи третього ступеня отримаємо:

$$G_3(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega} \cdot \frac{3a(C_1 C_{-1})}{(1+j\omega)^2 + (1-\omega^2)}. \quad (7)$$

Непарна аналітична система  $G_3(j\omega)$ , описується ступеневим рядом від  $(C_1 C_{-1})$ . Числові коефіцієнти, при ядрах цього ряду, задаються виразом:

$$\frac{n!}{\left(\frac{n-1}{2}\right)! \left(\frac{n+1}{2}\right)!}.$$

У загальному випадку, коли система має і ядра парного порядку, з врахуванням (4), отримаємо коефіцієнти  $d_n(j\omega)$  в (8):

$$\begin{aligned} d_0(j\omega) &= 2C_1 C_{-1} H_2(j\omega, -j\omega) + \dots, \\ d_1(j\omega) &= C_1 H_1(j\omega) + 3C_1^2 C_{-1} H_3(-j\omega, j\omega, j\omega) + \dots, \\ d_{-1}(j\omega) &= C_{-1} H_1(-j\omega) + 3C_{-1}^2 C_1 H_3(-j\omega, -j\omega, j\omega) + \dots \\ d_2(j\omega) &= C_1^2 H_2(j\omega, j\omega) + \dots, \\ d_{-2}(j\omega) &= C_{-1}^2 H_2(-j\omega, -j\omega) + \dots, \\ d_3(j\omega) &= C_1^3 H_3(j\omega, j\omega, j\omega) + \dots, \\ d_{-3}(j\omega) &= C_{-1}^3 H_3(-j\omega, -j\omega, -j\omega) + \dots \end{aligned} \quad (8)$$

Числові коефіцієнти при  $H_i$  є відповідними коефіцієнтами бінома Ньютона і визначають спектральний склад досліджуваної системи.

**Висновки.** Можливість визначення ядер Вольтерра широкого класу нелінійних багатовимірних систем, за допомогою «нелінійних



вхідних сигналів», істотно розширює область практичного використання методу ортогональних перетворень для дослідження нелінійних біологічних систем.

Отримані зображення ядер  $H_i$  є багатовимірними передавальними функціями і повністю характеризують частотні характеристики досліджуваного об'єкту.

#### Література

1. Смердов А.А. Биомедицинская инженерия: прошлое, настоящее, будущее / А.А. Смердов // Сборник научных трудов 3-го Международного радиоэлектронного форума “Прикладная радиоэлектроника”. Актуальные проблемы биомедицинской инженерии. – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ, 2008. – Том 4. – С. 12 – 16.

2. Пухов Е.Г. Преобразование Тейлора и их применение в электротехнике и электронике / Е.Г. Пухов. - К.: Наукова думка, 1978. – 260 с.

3. Ахмед Н. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Н. Ахмед, К.Р. Рао. - М.: Связь, 1980. – 248 с.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Ю. М. Федюшко, М.П. Федюшко

**Аннотация** - рассмотрено методологическое обоснование по определению ядер Вольтерра широкого класса нелинейных многомерных систем, с помощью метода ортогональных превращений, для исследования нелинейных биологических систем.

### THE USE OF METHOD OF ORTOGONAL'NIKH TRANSFORMATIONS IS FOR RESEARCH OF FREQUENCY DESCRIPTIONS OF BIOLOGICAL OBJECTS

Y. Fediushko, M. Fediushko

#### *Summary*

Methodological ground is considered on determination of kernels of Volterra of wide class of the nonlinear multidimensional systems, by the method of orthogonal transformations, for research of the nonlinear biological systems.

УДК 62-83:621.33

## РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПРИВОДУ МОТОБЛОКА

Куценко Ю.М., к.т.н,

Назар'ян Г.Н., к.т.н.,

Ковальов О.В., інж.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-31-59

**Анотація** – в роботі проведено порівняльну оцінку властивостей електродвигунів постійного та змінного струму та наведено методику розрахункового визначення потужності і вибору тягового електродвигуна мотоблока з централізованим електропостачанням.

**Ключові слова** – мотоблок, тягова характеристика, вибір електродвигуна, оранка ґрунту, питомий опір, тягове зусилля, розрахунок потужності.

*Постановка проблеми.* В наш час в аграрному секторі України нараховується близько 43 тис. фермерських господарств і майже 5 млн. приватних підсобних господарств, рівень механізації яких менше 20%, що суттєво знижує ефективність виробництва сільськогосподарської продукції. За останнє десятиріччя для вирішення цієї проблеми було налагоджено виробництво мобільних енергетичних засобів малої механізації в вигляді міні-тракторів, мотоблоків та інших агрегатів в основному з приводом від двигунів внутрішнього згорання. Крім власного виробництва значно розширився ринок цієї техніки зарубіжного виробництва. Однак у зв'язку зі зростанням за останній час вартості паливо-мастильних матеріалів і низькою надійністю мобільних агрегатів з ДВЗ, процес механізації трудомістких робіт в господарствах став помітно гальмуватися. При цьому помітна велика цікавість до мобільних агрегатів з електроприводом, з причини більшої надійності в роботі електродвигунів ніж ДВЗ та з причини відносно невисокої вартості електроенергії. Відомо багато прикладів заміни в мотоблоках і міні-тракторах двигунів внутрішнього згорання на електродвигуни з централізованим і автономним живленням.

Активізувався також процес виготовлення мотоблоків в умовах фермерських та приватних господарств. При цьому у зв'язку з відсутністю повноцінних посібників по конструюванню мотоблоків з електроприводом, їх виготовлення на малих підприємствах і в фермерських господарствах практично не збільшується. Перш за все це пов'язано з проблемою обґрунтованого вибору тягового електродвигуна і пристрою управління та регулювання з урахуванням специфіки технологічного процесу. Тому питання, що розглядаються в даній роботі, на наш погляд, є досить актуальними.

*Аналіз останніх досліджень.* Необхідно зауважити, що нам не відомі публікації по питанням розробки електроприводу мотоблоків, подібні роботам Ю.М. Андрєєва та ін. [4] та І.С. Єфремова [5], присвячені системному викладенню теорії, розрахунку та конструюванню електропривода мобільних транспортних засобів. Заслугове великої уваги робота М. Корчемного [1], в якій приведено результати дослідження мотоблоків з тяговими асинхронними електродвигунами з короткозамкненим ротором і фазним ротором та двигунами постійного струму з незалежним і послідовним збудженням. При цьому відмічається, що заміна в мотоблоках ДВЗ регульованим електроприводом дозволяє використовувати мотоблок без коробки перемикачів передач і тим самим значно знизити його собівартість та значно підвищити маневреність та надійність в роботі. Встановлено, що момент швидкості на валу двигуна при оранці ґрунту відрізняється нестабільністю і змінюється в часі на 40-50%. Крім того, спостерігається коливання моменту опору з амплітудою  $\pm 20\%$  від середнього значення. Також відмічено, що оптимальною механічною характеристикою тягового двигуна є характеристика, що наближена до гіперболи. В роботі приведено принципову електричну схему безконтактного регулювання частоти обертання приводного двигуна постійного струму мотоблока. Висновок в роботі про ефективність мотоблоків з електроприводом постійного струму підтверджено також і в нашій роботі [3], яка присвячена порівняльній техніко-енергетичній оцінці технічного рівня мотоблоків за паспортними даними для мотоблоків з ДВЗ і електроприводом. Заслугове також увагу робота Т.Т. Кусова [2], в якій приведено результати системних досліджень багатоцільових мотоблоків, що отримали найбільше розповсюдження, в тому числі і з електроприводом. В роботі приведено данні по доцільному діапазону робочих швидкостей пересування мотоблоку при оранці ґрунтів: 0,3; 0,6; 0,9 та 1,2 м/с. Велику увагу при випробування мотоблоків приділено визначенню оптимальної конструкції і розмірів металевих зварних коліс мотоблоків. Наведено данні, що металеві зварні колеса шириною 170 мм і діаметром 520 мм з 8 шпорами на поверхні висотою 60 мм, що розташовані в два ряди в

шаховому порядку, утворюють тягове зусилля: без додаткових вантажів – 1090 Н, з одним вантажем (20 кг) – 1250 Н, з двома вантажами (2x20 кг) – 1490 Н. При цьому відмічено, що застосування металевих коліс замість резинових 4x10<sup>00</sup> покращують тягово-зчіпні властивості мотоблоків більше чим вдвічі. За результатами досліджень відмічена доцільність створення уніфікованих шасі із змінними приводними електродвигунами потужністю 1,5; 3,5 та 5,0 кВт.

*Формулювання цілей статті.* Обґрунтування типу електродвигуна по роду струму та розробка порівняно простої та надійної методики розрахункового визначення потужності двигуна для приводу мотоблока на основі вихідних даних по питомому опору різних за твердістю ґрунтів в спорудах закритого ґрунту та приватних фермерських господарствах.

*Основна частина.* Обґрунтування типу електродвигуна по роду струму. Основне призначення тягового електродвигуна (ТЕД) в приводі мотоблока складається в забезпеченні сумісно з пристроєм управління, завданої тягової характеристики мотоблока з високими енергетичними показниками і потрібною надійністю. Узагальнена тягова характеристика мотоблока та інших енергетичних засобів представляє собою залежність тягового зусилля  $F_T$  від швидкості руху  $V$ , при незмінності приєднаної потужності приводного електродвигуна  $P_1$  (рис. 1). По тяговій характеристиці може бути побудована механічна характеристика ТЕД  $M=f(\omega)$  при (рис. 2) з використанням наступних співвідношень:

$$M = \frac{R_{\epsilon} \cdot F_{\delta}}{i_{i1} \cdot \eta_{\delta} \cdot \eta_{\acute{a}} \cdot \eta_{\epsilon}}; \quad (1)$$

$$\omega = \frac{i_{\delta} \cdot v}{R_{\epsilon}}, \quad (2)$$

- де  $M$  – електромагнітний момент ТЕД, Нм;  
 $R_{\epsilon}$  – радіус ведучого колеса мотоблока, м;  
 $\omega$  – кутова швидкість, рад/с;  
 $i_{\delta}$  – передаточне співвідношення редуктора;  
 $\eta_{\delta}$  – ККД редуктора;  
 $\eta_{\acute{a}}$  – ККД, що враховує втрати на буксування;  
 $\eta_{\epsilon}$  – ККД, що враховує втрати на опір коченню.

Докладний аналіз тягової та механічної характеристик мотоблока з ТЕД постійного струму приведені в [7]. Механічна характеристика  $M=f(\omega)$  являє собою закон регулювання тягового електродвигуна мотоблока.

Для практичної реалізації цього закону в якості ТЕД мотоблока з централізованим електропостачанням можуть бути використані як електродвигуни змінного струму, так і двигуни постійного струму з керованими вентиляними перетворювачами. Однак використання для цих цілей електродвигунів постійного струму, і особливо двигунів послідовного збудження, має ряд суттєвих переваг:

1. Механічні характеристики двигунів послідовного збудження  $M=f(\omega)$  природна та штучні при будь-якому способі регулювання швидкості наближені до гіперболи, тобто у цих двигунів при зміні моменту опору навантаження, кутова швидкість  $\omega$  змінюється автоматично, забезпечуючи потужність  $P_1=\text{const}$ , що гарно узгоджується з законом регулювання ТЕД мотоблока (рис. 2). При цьому для управління двигуном постійного струму при живленні від централізованої мережі змінного струму, може бути застосовано порівняно простий керований напівпровідниковий випрямлювач, який має невеликі габарити та вартість. Для реалізації цього ж закону регулювання в випадку застосування в якості приводного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, буде потрібно використання трифазного вентиляного перетворювача частоти, який за вартістю в декілька разів перевищує вартість двигуна.

2. Електродвигуни постійного струму, у відмінності від асинхронних і синхронних електродвигунів, забезпечують регулювання швидкості в широкому діапазоні як вниз від номінальної, так і вгору від номінальної шляхом ослаблення магнітного поля з використанням простих технічних засобів. При цьому коефіцієнт зміни максимальної швидкості, що характеризує регульовальні властивості двигуна  $K_\omega=\omega_{\text{max}}/\omega_n=2\dots4$ . Для збільшення швидкості вище номінальної у асинхронних та синхронних двигунів необхідно підвищення живлячої напруги в 2...2,5 рази вище номінальної, що обумовлює інтенсивне нагрівання двигуна та перетворювача, істотне збільшення втрат і зниження ККД.

За пусковими властивостями та перевантажувальній здатності двигуни постійного струму також мають беззаперечну перевагу перед асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором. Про це свідчать наступні порівняльні дані:

		АД	ДПС
- кратність пускового струму	$K_i=I_n/I_n$	5...7	2...3
- кратність пускового моменту	$M_n=M_n/M_n$	1,2...1,5	2...3
- перевантажувальна здатність	$M_m=M_{\text{max}}/M_n$	1,5...2,0	2...3

3. В двигунах послідовного збудження електромагнітний момент має квадратичну залежність від струму якоря  $I_a$  а значить і від струму навантаження  $I$

$$\dot{I} \sim I_a^2; \dot{I} \sim I^2, \text{ тобто } \dot{I} \sim I_a^2; I \sim \sqrt{\dot{I}}.$$

Тому ці двигуни застосовують в приводах установок, де необхідні великі моменти при пуску і спостерігаються часті перевантаження по моменту. Згідно механічної характеристики (рис. 2) кутова швидкість двигуна  $\omega \sim 1/\sqrt{\dot{I}}$ , внаслідок чого корисна потужність

$$P_2 = M\Omega = C\sqrt{M}.$$

Тому при зміні навантажувального моменту в широких межах, потужність  $P_2$  і струм  $I_a$  у двигуна послідовного збудження змінюється пропорційно  $\sqrt{M}$ . Це означає, що при одному і тому ж моменті навантаження на валу, двигуни послідовного збудження можуть мати меншу встановлену потужність у порівнянні з іншими електродвигунами. Ця обставина особливо важлива для мотоблоків з централізованим електропостачанням.

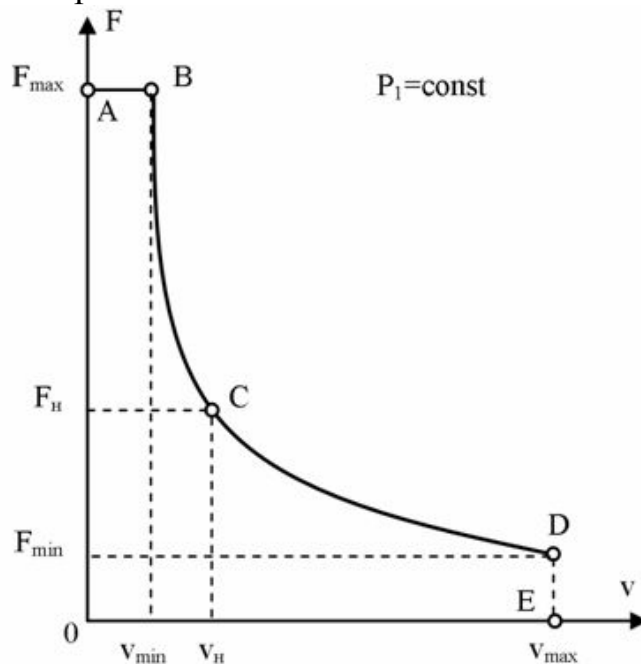


Рис.1. Узагальнена тягова характеристика мотоблока.

Поряд з перевагами тягових електродвигунів постійного струму є також і істотні недоліки: порівняно великі габарити і маса, а також наявність щітково-колекторного вузла. Великою перевагою асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором при використанні в якості ТЕД є надійність в роботі, відносно мала маса та габарити. Однак наявність перетворювачів частоти істотно ускладнює тяговий електропривод та значно підвищує його вартість. При приблизно однаковій керованості асинхронні електродвигуни легше двигунів постійного струму в 2,5...3 рази та дешевші в 3...4 рази, але перетворювач частоти для їх керування важче та дорожче керованого випрямлювача в 4...5 разів.

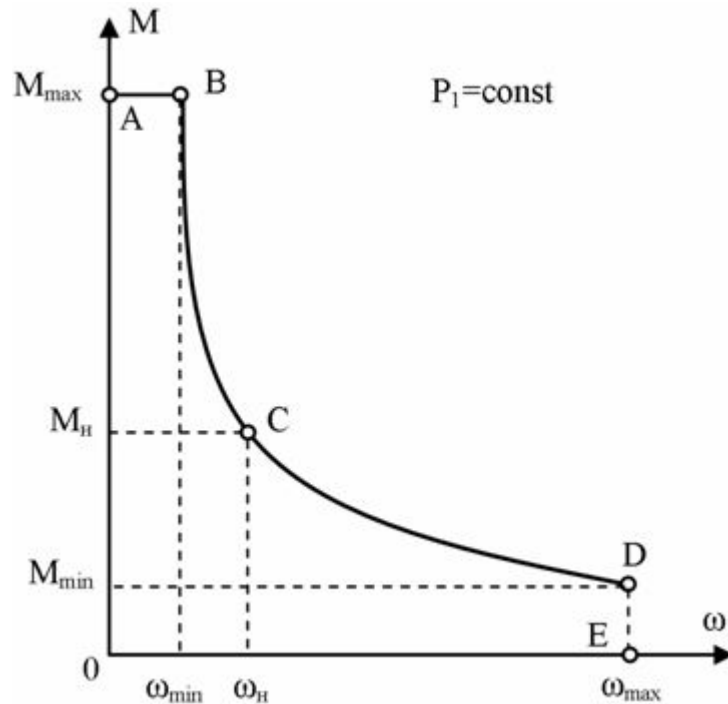


Рис.2. Механічна характеристика тягового електродвигуна з регулятором в приводі мотоблока.

Вибір потужності і параметрів керування тягового електродвигуна. Вибір потужності є однією з найбільш складних і відповідальних задач, що виникає в процесі створення тягового електроприводу будь-яких мобільних агрегатів і транспортних систем, в тому числі і мотоблоків на початковій стадії їх розробки.

Основною вимогою і критерієм вірного вибору електродвигуна є відповідність його потужності і параметрів умовам технологічного процесу робочих машин, агрегатів і установок.

Первинна обробка ґрунту в спорудах закритого ґрунту є найбільш енергоємною технологічною операцією, тому потужність тягового електродвигуна слід обирати з умови забезпечення необхідного тягового зусилля на крію мотоблока  $F$  для виконання оранки важких ( $F_v$ ), середніх ( $F_c$ ) або легких ( $F_l$ ) ґрунтів.

При цьому

$$F = \hat{E} \cdot a \cdot \hat{a}, \quad (3)$$

де  $a, \hat{a}$  – відповідно, глибина оранки і ширина захвата плугу, м;  
 $\hat{E}$  – питомий опір ґрунту, кПа.

У відповідності з даними НВО ВІСГОМ [2] приймається:

$$\hat{E}_a = 90 \text{ кПа}; \quad \hat{E}_c = 60 \text{ кПа}; \quad \hat{E}_l = 30 \text{ кПа}. \quad (4)$$

В приватних підсобних господарствах та спорудах закритого ґрунту в основному застосовуються плуги ПЛ-1, ПЦ-1-18 та ін. з характеристикою плужних корпусів  $\hat{a}/a=1,2\dots1,5$ . Оранка ґрунту виконується на глибину  $a=10, 15, 18$  і  $20$  см. Як правило застосовують плуги з шириною захвату  $b=18$  см., тоді приймаючи глибину підкопу пласта  $a=15$  см, по (3) визначаємо значення тягових зусиль для оранки різних ґрунтів:

$$F_{\hat{a}} = 2,43 \text{ êÍ } ; F_c = 1,62 \text{ êÍ } ; F_{\xi} = 0,81 \text{ êÍ } . \quad (5)$$

Для реалізації тягових зусиль необхідно, щоб при оранці ґрунту зчїпна вага  $G = m \cdot g$  мотоблока масою  $m$  була визначеної величини, в залежності від характеристики ґрунту.

При цьому

$$G = F / (\lambda \cdot \varphi_{\zeta} - \xi \cdot f), \quad (6)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт навантаження колїс мотоблока;

$\varphi_{\zeta}$  – коефіцієнт зчеплення колїс з ґрунтом;

$\xi$  – коефіцієнт, що враховує внутрішні втрати в ходовїй системї:

$f$  – коефіцієнт опору перекочування колїс.

Для мотоблоків з шинами  $\lambda=1$ ;  $\varphi_{\zeta}=0,5\dots0,7$ ;  $\xi=1$  і  $f=0,1\dots0,12$  та зчїпна вага  $G_{\hat{a}}=4,05$  кН;  $G_c=2,7$  кН і  $G_{\xi}=1,35$  кН.

Для мотоблоків з металевими колесами, що мають шипи

$$G_{\hat{a}}=2,05 \text{ кН}; G_c=1,8 \text{ кН} \text{ і } G_{\xi}=0,9 \text{ кН}, \quad (7)$$

тобто при використанні металевих колїс зчїпна вага  $G$  потребується меншої величини.

Корисна потужність тягового електродвигуна мотоблока визначається за рївнянням:

$$P = \frac{\hat{E}_{\zeta} (F - f \cdot G) \cdot V}{\eta_{\delta} \cdot \eta_{\hat{a}} \cdot \eta_{\xi}}, \quad (8)$$

де  $\hat{E}_{\zeta}=1,1\dots1,2$  – коефіцієнт запасу, що враховує динамічні режими ТЕД, коли він працює з підвищеними моментами;

$F$  – тягове зусилля, приймається при розрахунку потужності в залежності від характеристики ґрунту по (5), кН;

$G$  – зчїпна вага, також приймається з урахуванням характеристики ґрунту по (7), кН;

$V$  – швидкість руху мотоблоку при оранці ґрунту, м/с;

$\eta_{\delta}$  – ККД редуктора;

$\eta_{\hat{a}}=0,93$  – коефіцієнт, що враховує втрати на буксування;

$\eta_{\xi}=0,95$  – коефіцієнт, що враховує втрати на подолання опору коченню.



Величина  $\eta_{\delta} = \eta_{\delta} \cdot \eta_{\alpha} \cdot \eta_{\epsilon}$  отримала назву тягового ККД агрегату. В попередніх розрахунках приймається  $\eta_{\delta} = 0,74 \dots 0,76$ . Для більш точних розрахунків корисної потужності за рівнянням (8) необхідно тяговий ККД визначати з урахуванням реальної компоновки механічної передачі мотоблока: типу редуктора, можливого використання додаткової ланцюгової передачі, та ін. Швидкість руху мотоблока  $V$  при підстановці в рівняння (8), приймається у відповідності з доцільним діапазоном швидкостей, що встановлені на основі досліджень та спостережень за роботою мобільних агрегатів, що керуються операторами чоловічої та жіночої статі [2].

$$V = 0,3; 0,6; 0,9; 1,2 \text{ і } \sqrt{n} \text{ або } V = 1,08; 2,16; 3,24; 4,32 \text{ м/с.} \quad (9)$$

На рис. 3 наведені графіки корисної потужності  $P = f(V)$  при  $K = \text{const}$  тягових двигунів мотоблоків за результатами розрахунків за рівнянням (8) при  $\eta_{\delta} = 0,75$ ;  $K_{\zeta} = 1,05$  для легких ґрунтів,  $K_{\zeta} = 1,1$  для середніх ґрунтів і  $K_{\zeta} = 1,2$  для важких ґрунтів. Значення  $F$  і  $G$  приймаються за (5) та (7).

Графіки потужності (рис. 3) можуть бути використані на практиці для визначення розрахункової потужності тягових електродвигунів в приводі мотоблоків, що призначені для обробки ґрунтів з різними характеристиками за питомим опором  $K$  (4).

Далі за величиною розрахункової потужності  $P$  по довіднику або каталогу електрообладнання [6] обирається електродвигун з найближчою номінальною потужністю  $P_n$  і по можливості з більшою номінальною частотою обертання  $n_n$ , що має більш високий ККД та менші габарити, але з обов'язковим виконанням вимог за кратністю максимальної швидкості  $K_{\omega} = \omega_{\max} / \omega_1 = n_{\max} / n_1 = 2 \dots 2,5$ , де  $n_{\max}$  також наведено в каталогах. Крім того, двигун обирається за ступенем захисту не менше IP44, кліматичним виконанням та категорією розташування О4. Важливим параметром при виборі двигуна крім ККД є показник якості машини, що визначається масою двигуна

$$q = G_{\alpha} / D_{\delta \zeta}, \text{ (кг/кВт)}, \quad (10)$$

де  $G_{\alpha}$  – маса двигуна за каталогом, кг;

$D_{\delta \zeta}$  – розрахункова потужність, кВт.

При цьому розрахункова потужність двигуна визначається по рівнянню:

$$D_{\delta \zeta} = D_1 \cdot \hat{E}_{\omega} \cong \hat{I}_1 \cdot \omega_{\max}, \quad (11)$$

де  $\hat{I}_1$  – номінальний момент двигуна, Нм. Наведено в каталогах.

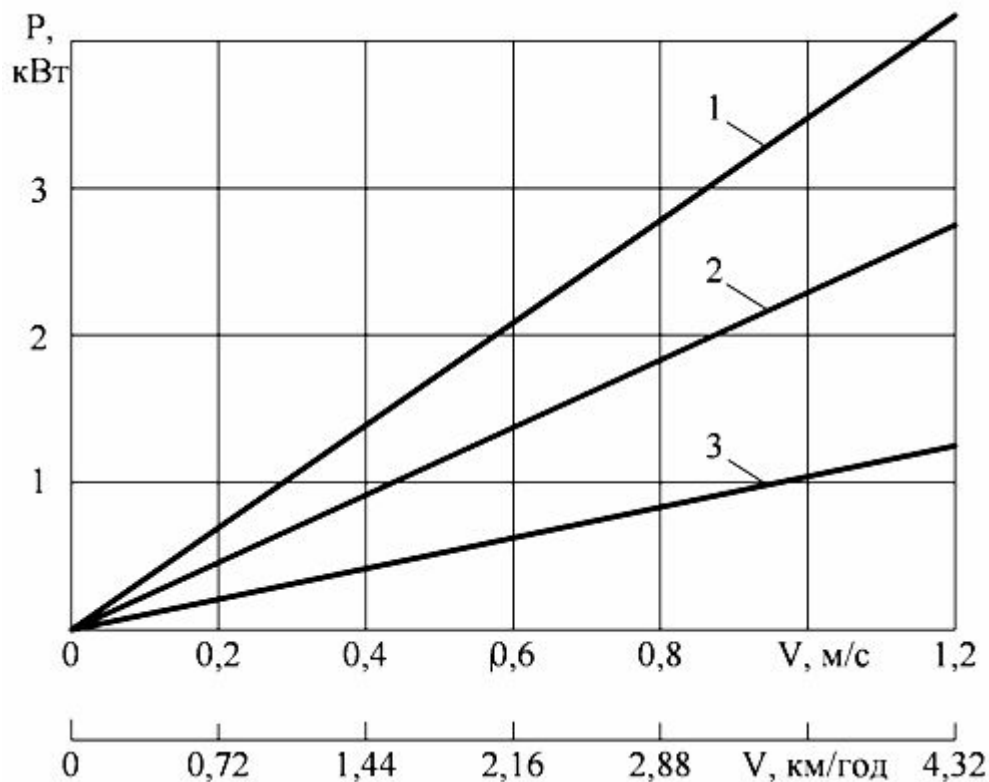


Рис. 3. Графіки корисної потужності тягового електродвигуна мотоблока при оранці ґрунтів: 1-важких,  $K_b=90$  кПа; 2-середніх,  $K_c=60$  кПа; 3-легких,  $K_l=30$  кПа.

Вибір передаточного відношення редуктора. Передаточне відношення редуктора в приводі мотоблока визначається співвідношенням:

$$z_{\delta} = \frac{\omega_{\max} \cdot R_{\epsilon}}{V_{\max}}, \quad (12)$$

де  $R_{\epsilon}$  – радіус ведучого колеса мотоблока, м.

Звичайно ведуче колесо для класу мотоблоків що розглядається, виконується радіусом  $R_{\epsilon}=250\dots300$  мм. Оскільки максимальна частота обертання  $n_{\max}$  сучасних двигунів знаходиться в межах від 1850 до 4000 об/хв [6], що відповідає максимальній кутовій швидкості  $\omega_{\max}=196,3\dots418,7$  рад/с, то при швидкості  $V_{\max} \leq 1,5$  м/с, рівняння (9), передаточне відношення редуктора  $z_{\delta}$  може бути рівним або більшим 80. Такі редуктори мають порівняно великі габарити і масу, що обмежує їх застосування в мобільних агрегатах. Тому механічну передачу в мотоблоках доцільно виконувати з використанням редуктора з  $z_{\delta} \leq 40$  і ланцюговою передачею з  $z_{\epsilon\tau} = 2$ .

В такому випадку передаточне відношення механічної передачі визначається

$$z_{\dot{\gamma}} = z_{\delta} \cdot z_{\dot{\epsilon}} = \frac{\omega_{\max} \cdot R_{\dot{\epsilon}}}{V_{\max}}. \quad (13)$$

У відповідності з обґрунтуванням в [2] оптимальних розмірів металевих коліс мотоблоків, в розрахунках слід приймати радіус колеса  $R_{\dot{\epsilon}} = 260$  мм.

#### Висновки.

1. В результаті порівняльної оцінки енергетичних показників, регульовальних і пускових властивостей двигунів постійного та змінного струму, рекомендується для привода мотоблоків з централізованим електропостачанням використовувати переважно двигуни постійного струму послідовного збудження в комплекті з керованим випрямлювачем.

2. Запропоновано порівняно просту та надійну методику розрахункового визначення потужності та вибору тягового двигуна в приводі мотоблока багатоцільового призначення. В якості базового технологічного процесу для розрахунку потужності приймається найбільш енергоємний процес оранки ґрунту. Вихідними даними є питомий опір ґрунту  $K$  в приватних підсобних господарствах та спорудах закритого ґрунту при оранці важких (В), середніх (С) та легких (Л) ґрунтів:  $\hat{E}_a = 90 \text{ êĬ à}$ ;  $\hat{E}_c = 60 \text{ êĬ à}$ ;  $\hat{E}_g = 30 \text{ êĬ à}$ .

3. Приведено зручні для практичного використання графіки корисної потужності приводного електродвигуна  $P$  в функції швидкості руху  $V$  при оранці ґрунтів з різним питомим опором.

#### Література

1. Корчемний М. Електропривод мобільного агрегату / М. Корчемний, І. Савченко, С. Гусаков // Електрифікація. – 1997. – С. 30-31.
2. Кусов Т.Т. Создание энергетических средств с электромеханическим приводом / Т.Т. Кусов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1988, №10. – С. 12-17.
3. Ковальов О.В. Аналітичний метод порівняльної техніко-енергетичної оцінки ефективності і технічного рівня мотоблоків/ О.В. Ковальов, А.А. Катюха, Г.Н. Назар'ян // Праці ТДАТА. – Випуск 7. – Том 3. – Мелітополь: ТДАТА, 2007. – С. 93-99.
4. Электрические машины в тяговом автономном электроприводе/ [Ю.М. Андреев, К.Г. Исаакян, А.Д. Машихин и др.]: под ред. А.П. Пролыгина. – М.: Энергия, 1979. – 240 с.

5. *Ефремов И.С.* Электрические трансмиссии пневмоколесных транспортных средств/ *И.С. Ефремов, А.П. Пролыгин, Ю.М. Андреев, А.Б. Миндалин.* – М.: Энергия, 1976. – 256 с.

6. Каталог электрооборудования 01.60.05-91 – Машины постоянного тока типа 4ПБМ, 4ПНМ и 4ПНМС. – М.: Изана, 1991. – 32 с.

## **РАСЧЕТ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИВОДА МОТОБЛОКА**

А. Ковалев, Ю. Куценко, Г. Назарьян

*Аннотация* - в работе проведена сравнительная оценка свойств электродвигателей постоянного и переменного тока и представлена методика расчетного определения мощности и выбора тягового электродвигателя мотоблока с централизованным электропитанием.

## **POWER CALCULATIONS AND CHOICE OF HAULING ELECTRIC MOTOR FOR THE MOTOBLOCKS DRIVE**

A. Kovalyov, J. Kutsenko, G. Nazaryan.

### *Summary*

The comparative estimation of properties of direct and alternating current electric motors of is in-process conducted and the method of calculation determination of power and choice of hauling electric motor for motoblock is resulted with centralized energy supply.

УДК 621.3.08:537.2

**МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ГЕНЕРАТОРА ЛПД**

Куценко Ю.М., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-31-59

E-mail: kucenkoua@mail.ru

**Анотація** – обґрунтовано параметри генератора міліметрового діапазону в системі вимірювання діелектричної проникності газового середовища рослин, представлено аналіз флуктуаційних характеристик.

**Ключові слова** – генератор мм діапазону на ЛПД, електронна перебудова частоти, флуктуаційні характеристики, діелектрична проникність, газове середовище рослин

*Постановка проблеми.* Одним з основних вузлів електронної системи вимірювання діелектричної проникності газового середовища рослин є високостабільне за частотою КВЧ- джерело.

КВЧ – джерело повинне забезпечити електронну перебудову частоти в широкому діапазоні частот і вихідну потужність, достатню для компенсації втрат в хвилеводному тракті.

Однією із важливих позицій в процесі вимірювань є флуктуаційні характеристики генератора мм діапазону на лавинно-прольотному діоді (ЛПД).

*Аналіз останніх досліджень.* До одного з перспективних джерел 3-мм діапазону хвиль можуть бути віднесені ГЛПД з варакторною перебудовою частоти, керовані напругою.

Дослідженню флуктуаційних характеристик в ГЛПД присвячено значне число робіт [1,2,3]. Аналіз цих робіт показує, що основними джерелами нестабільності амплітуди і частоти коливань вихідного сигналу є природні і технічні флуктуації. До природних флуктуацій відноситься шум лавини (дробовий шум), обумовлений флуктуаціями струму в шарі множення за рахунок лавинного процесу, а також тепловий шум, що генерується в дрейфовій області і на омичних опорах діода і контуру. До технічних – фліккер-шум, обумовлений неоднорідністю пробою за площею  $p-n$  переходу і умов на його межі, а також модуляційний шум, обумовлений флуктуаціями параметрів ЛПД, струму змішування і резонансної системи.

Проте результати цих робіт не можуть бути використані для систем вимірювання ДП дихання рослин, у зв'язку з чим виникає необхідність проведення додаткових наукових досліджень.

*Основна частина.* Розглянемо конструкцію ГЛПД з послідовним включенням варактора, що є хвилеводом перетином  $2,4 \times 1,2 \text{ мм}^2$  з двома діодотримувачами 1 різних діаметрів, розташованими на одній осі широкої стінки хвилеводу (рис. 1).

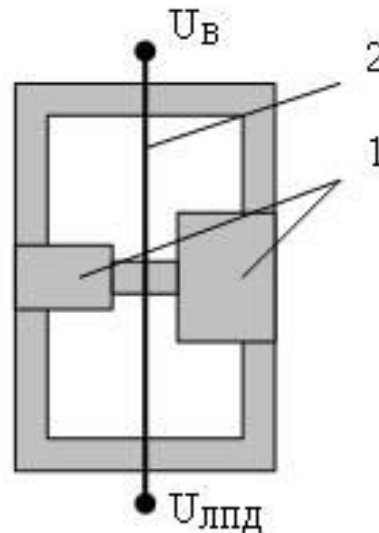


Рис.1. Конструкція генератора, що електрично перебудовується.

На одному утримувачі знаходиться варактор типу АА631, на іншому – ЛПД. Живлення на діоди подається за допомогою струмопровідних мікросмугових ліній 2. Щоб смугові лінії не замикалися одна на одну, вони покриті полімідною плівкою з діелектричною проникністю  $\epsilon=4$ . У ланцюг живлення включені фільтри нижніх частот. Варактор має коефіцієнт перекриття 2,2 і ємність при напрузі  $U=6,0 \text{ В}$ , рівну  $0,1 \text{ нФ}$ . У мм діапазоні довжин хвиль ємність корпусу варактора  $C_{KB}=0,1 \text{ нФ}$ , індуктивність корпусу  $L_{KB}=0,1 \text{ нГн}$ , опір втрат  $R_s = 10 \text{ Ом}$ . Гранична напруга для вказаного типу варактора –  $40 \text{ В}$ .

З урахуванням технологічних чинників змінна ємність варактора обчислюється за формулою [4]

$$C(U) = \sqrt{\frac{0,25839}{10,4165 + U}} \text{ нФ}, \quad (1)$$

Для аналізу частотної характеристики ГЛПД з послідовним включенням варактора необхідно отримати рівняння, що пов'язує частоту з геометричними розмірами коливальної системи, технологічними і електричними параметрами діодів.

Вказане рівняння можна отримати, прирівнявши до нуля загальний реактивний опір еквівалентної схеми (рис. 2). На еквівалентній схемі  $L_{KB}$ ,  $C_{KB}$ ,  $R_s$  – індуктивність і ємність корпусу варактора,  $R_s$  –

опір втрат,  $C(U)$  – змінна ємність, що створюється зміною напруги на варакторі,  $X_{LB}$ ,  $X_{BB}$ ,  $X_{LD}$ ,  $X_{dd}$  – еквівалентні параметри стрижньових діодотримачів, на яких розташовуються варактор і ЛПД відповідно  $Z_b$ ,  $X_d$  – реактивні опори смугових ліній у ланцюзі живлення варактора і ЛПД,  $R_d$ ,  $X_d$  – активний і результативний опір ЛПД, який визначається експериментально залежно від частоти,  $C_{kd}$  – ємність корпусу ЛПД.

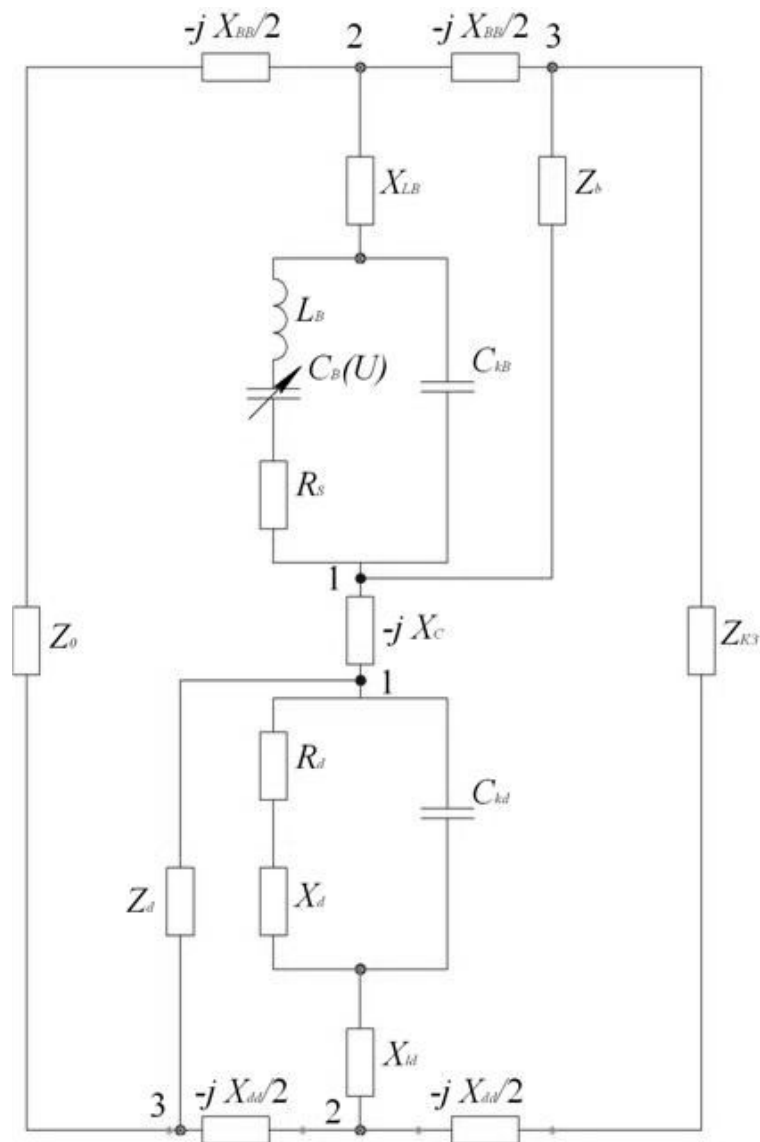


Рис.2. Еквівалентна схема ГЛПД з електронною перебудовою частоти.

Зліва на еквівалентній схемі генератор навантажений на хвильовий опір хвильоводу, справа – короткозамкнутим відрізком з опором  $Z_o \tan \beta l_k$ , де  $l_k$  – довжина короткозамкненого відрізка (відстань від стінки короткозамикача до центру діодоутримувача)  $\beta = 2\pi / \lambda_0$  ( $\lambda_0$  – довжина хвилі в хвильоводі).

Варактор і ЛПД по високій частоті зв'язані ємністю, яка утворюється в результаті перекриття струмопровідних смужок. Вона може бути визначена як ємність плоскопаралельного конденсатора

$$C_s = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{lW}{d}, \quad (2)$$

де  $d$  – відстань між пластинами;  
 $l$  – довжина ділянок, що перекриваються;  
 $W$  – найменша ширина смужок.

Еквівалентна схема (рис. 1) за допомогою перетворення трикутника (точки 1, 2, 3) в зірку може бути зведена спочатку в схему на рис. 2, потім до схеми на рис. 3.

Параметри узагальненої еквівалентної схеми на рис. 3 мають наступні позначення

$$Z_0 = Z_0 - j \frac{X_{\theta\theta}}{2}, \quad (3)$$

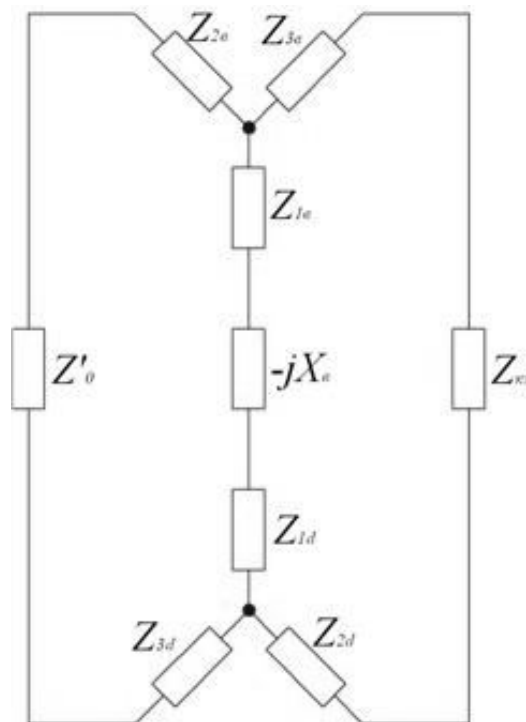


Рис.3. Узагальнена схема ГЛПД з електронною перебудовою частоти.

$$Z_{\kappa\kappa} = j \left( Z_0 \tan \beta l - \frac{X_{\theta\theta}}{2} \right), \quad (4)$$

$$Z_{1\theta} = \frac{Z_{\theta}}{V_{\theta}} \left\{ R_{\theta} X_{z\theta} + j \left[ R_{\theta}^2 + Z_{x\theta} (X_{\theta} + X_{L\theta}) \right] \right\}, \quad (5)$$



$$\text{де } X_{z\epsilon} = Z_{\epsilon} - \frac{X_{\epsilon\epsilon}}{2};$$

$$Z_{x\epsilon} = X_{\epsilon} + X_{L\epsilon} - \frac{X_{\epsilon\epsilon}}{2}, \quad (6)$$

$$R_{\epsilon} = R_S / S_H, \quad (7)$$

$$X_{\epsilon} = - \left[ R_S^2 \omega C_L + \omega L_{\epsilon} - \frac{1}{\omega C(U)} \right] \left[ \omega^2 C_L L - 1 - \frac{C_L}{C(U)} \right] / S_H, \quad (8)$$

$$S_H = (\omega C_L R_S)^2 + \left[ \omega^2 C_k L_{\epsilon} - \left( 1 + \frac{C_k}{C(U)} \right) \right]^2, \quad (9)$$

$$V_{\epsilon} = R_{\epsilon}^2 + Z_{x\epsilon}^2, \quad (10)$$

$$Z_{2\epsilon} = \frac{Z_{1\epsilon} X_{\epsilon\epsilon}}{2Z_{\epsilon}}; \quad Z_{3\epsilon} = - \frac{Z_{\epsilon} X_{\epsilon\epsilon}}{2V_{\epsilon}} (R_{\epsilon} - jZ_{x\epsilon}), \quad (11)$$

$$Z_{\epsilon} = Z_{0\epsilon} \tan kl_S, \quad (12)$$

Хвильевий опір  $Z_{0\epsilon}$  струмопровідної смугової лінії залежить від висоти лінії  $h$  (відстань від пластини до широкої стінки хвильоводу), її ширини  $W$  і визначається відповідним виразом

$$Z_{0\epsilon} = 120\pi \left[ \frac{W}{h} + 1,393 + 0,997 \ln \left( \frac{W}{h} + 1,444 \right) \right], \quad (13)$$

Вираз для обчислення параметрів  $Z_{1d}$ ,  $Z_{3d}$  отримуємо заміною індексу  $\epsilon$  на  $d$  в (1-2), наприклад,

$$Z_{1d} = \frac{Z_d}{V_d} \{ R_d X_{zd} + j [ R_d^2 + Z_{xd} (X_d + X_{Ld}) ] \}, \quad (14)$$

$$X_{zd} = Z_d - \frac{X_{dd}}{2} Z_{xd} = X_d + X_{Ld} + Z_d - \frac{X_{dd}}{2}, \quad (15)$$

де  $R_d, X_d$  – параметри еквівалентної схеми на рис. 3.

У явному вигляді загальний реактивний опір еквівалентної схеми має громіздкий вигляд, тому не наводиться. Для розрахунків, після нескладних перетворень схеми на рис. 3, були отримані рівняння для еквівалентної схеми на рис. 4.

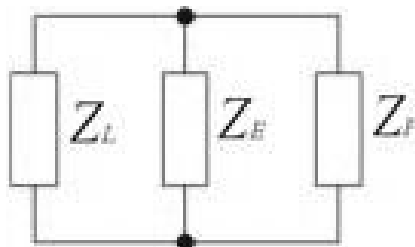


Рис.4. Еквівалентна схема для частоти генератора на ЛПД.

$$Z_L = Z_0 + R_{2\epsilon} + R_{3d} + j \left( X_{2\epsilon} + X_{3d} - \frac{X_{dd}}{2} \right), \quad (16)$$

$$Z_{\Sigma} = R_{1e} + R_{1d} + j \left( X_{1e} + X_{1d} - \frac{1}{\omega C_s} \right), \quad (17)$$

$$Z_p = R_{3e} + R_{2d} + j \left( X_{3e} + X_{2d} - \frac{X_{ee}}{2} \right), \quad (18)$$

Розраховуючи опір стрижньових діодотримувачів, використовували співвідношення для стрижня круглого поперечного перетину, встановленого паралельно вектору електричного поля в центрі поперечного перетину хвилеводу, в якому розповсюджується  $H_{10}$ -хвиля [5].

$$X_{ee(dd)} = Z_0 \frac{d}{\lambda_e} \frac{\left( \frac{\pi d}{\lambda} \right)^2}{1 + \frac{1}{2} \left( \frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 \left( S_2 + \frac{3}{4} \right)}, \quad (19)$$

$$X_{Le} = \frac{X_{ee}}{2} + \frac{aZ_0}{2\lambda_e} \left[ S_0 - \left( \frac{\pi d}{2\lambda} \right)^2 - \frac{5}{8} \left( \frac{\pi d}{2\lambda} \right)^4 - 2 \left( \frac{\pi d}{2\lambda} \right)^4 \left( S_0 - 2S_0 \frac{\lambda^2}{\lambda_e^2} \right) \right], \quad (20)$$

$$S_2 = \ln \frac{4a}{\pi d} - \frac{5}{2} + \frac{11}{3} \left( \frac{\lambda}{2a} \right)^2 \sum_{n=35}^{\infty} \left[ \sqrt{h^2 - \left( \frac{2a}{\lambda} \right)^2} - n + \frac{2}{n} \left( \frac{a}{\lambda} \right)^2 \right], \quad (21)$$

де  $a$  – ширина хвилеводу;  
 $d$  – діаметр стрижня.

Вказані співвідношення справедливі для стрижня, що повністю замикає хвилевід по вузькій стінці. Утримувачі не мають конкретної висоти, тому  $X_{ee(dd)}$ ,  $X_{Le}$  визначалися з урахуванням прямої пропорційності опору висоті стрижня.

Дослідження показали, що таке наближення при розрахунку реактивних опорів стрижньових утримувачів не вносить істотних розбіжностей між теоретичними і експериментальними результатами.

Аналіз еквівалентної схеми (рис. 3) показує, що реактивний опір може дорівнювати нулю тільки в другій і третій гілках. Рівність нулю  $Z_p$  обумовлена резонансом в області, обмеженою короткозамикаючою стінкою і стрижньовими діодотримувачами, а  $Z_{\Sigma}$  – резонансом в реактивному ланцюзі, створеному стрижнями варактора і ЛПД, безпосередньо самими діодами, а також ємністю зв'язку.

На рис. 5 наведені розрахункові залежності частоти генератора від напруги живлення на варакторі для різних значень діаметра утримувача варактора і ширини струмопровідної смужки.

З результатів графічного матеріалу видно, що із збільшенням діаметра утримувача варактора можна змістити межу діапазону перебудови частоти генератора вгору по діапазону, зменшити величину напруги на варакторі практично з постійною крутизною перебудови частоти генератора.

Аналіз флуктуаційних характеристик ГЛПД показує, що є необхідність проведення досліджень щодо мінімізації частотних (фазових) флуктуаційних процесів генератора на ЛПД.

Вплив частотних флуктуацій ГЛПД на точність вимірювання ДП дихання рослин визначимо за критерієм мінімуму дисперсії частоти коливань на виході ГЛПД, яка визначається виразом [1]

$$\sigma^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} S_{\varphi}(\Omega) \frac{1}{1 + (0,5\Omega\tau)^2} d\Omega, \quad (22)$$

де  $S_{\varphi}(\Omega)$  – енергетичний спектр частотних флуктуацій на виході ГЛПД;

$\tau$  – інтервал вимірювання

Енергетичний спектр частотних флуктуацій на виході системи вимірювання ДП дихання рослин може бути представлений виразом [6]

$$S_{\varphi}(\Omega) = S_{\varphi r}(\Omega) \left| \frac{1}{1 + W(j\Omega)} \right|^2, \quad (23)$$

де  $S_{\varphi r}(\Omega)$  – енергетичний спектр флуктуацій частоти ГЛПД;

$W(j\Omega)$  – передавальна функція розімкненої системи ЧАП.

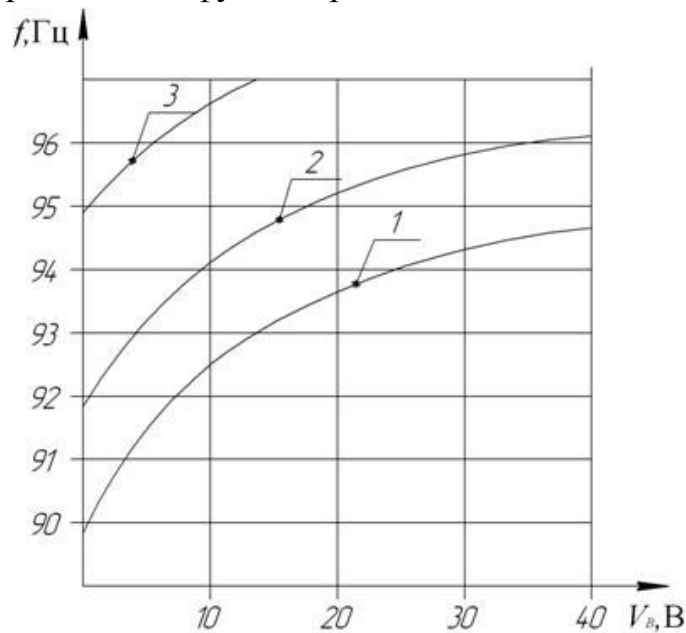


Рис. 5. Залежність частоти генератора від напруги живлення

1 – діаметр утримувача варактора  $d_B = 1$  мм, ширина струмопровідної смужки  $W = 2,1$  мм; 2 –  $d_B = 1,5$  мм,  $W = 2,1$  мм; 3 –  $d_B = 2,2$  мм,  $W = 2,1$  мм.

Оцінка шумів системи, обумовлених флуктуаціями параметрів ПД (диференціальна провідність і ємність діода), проводиться за умови, що флуктуації параметрів носять флікерний характер.

Крім того передбачається, що флуктуації параметрів малі в порівнянні з середніми значеннями провідності діода.

Зроблені припущення дозволяють використовувати метод, який полягає в тому, що нелінійний активний елемент представляється у вигляді двополюсника з активною і реактивною складовими провідності

$$Y_d(j\omega) = G_d + jB_d(\omega) = |Y_d(j\omega)|e^{j\varphi_{d1}}, \quad (24)$$

де  $\varphi_{d1}$  – зрушення фаз між першою гармонікою струму і напругою на діоді.

Відхилення частоти автоколивань  $\Delta\omega$  від початкового значення  $\omega_0$  при зміні активної і реактивної провідності можна описати через фазовий кут середньої провідності діода

$$\varphi_{d1} = -\arctan \frac{Bd_1(\omega)}{Gd_1(\omega)}, \quad (25)$$

Флуктуації фазового кута  $\varphi_{d1}$  в лінійному наближенні дорівнюють

$$\Delta\varphi_{d1} \approx G_1 \frac{\partial\varphi_{d1}}{\partial G_1} \delta G_1 + B_1 \frac{\partial\varphi_{d1}}{\partial B_1} \delta B_1, \quad (26)$$

де  $\delta G_1 = \Delta G_1 / G_1$ ;  $\delta B_1 = \Delta B_1 / B_1$ .

Враховуючи, що крутизна фазочастотної характеристики коливальної системи ( $-\omega \partial\varphi_k / \partial\omega$ ) поблизу резонансної частоти дорівнює  $2Q_H$ , отримаємо вираз для спектральної щільності відносних флуктуацій частоти коливань, що генеруються

$$S_\varphi(\Omega) = \left( \frac{\omega_0}{2Q_H} \right)^2 \left[ A_1^2 S_{\delta G_1}(\Omega) + D_1^2 S_{\delta B_1}(\Omega) + 2A_1 D_1 \cdot P_{G_1 B_1}(\Omega) - S_{\delta G_1}(\Omega) \cdot S_{\delta B_1}(\Omega) \right], \quad (27)$$

де  $A_1 = G_1 \frac{\partial\varphi_{d1}}{\partial G_1}$ ,  $D_1 = B_1 \frac{\partial\varphi_{d1}}{\partial B_1}$ ,  $S_{\delta G_1}(\Omega)$ ,  $S_{\delta B_1}(\Omega)$  – спектральні щільності відносних флуктуацій провідності і ємності ЛПД;

$P_{\delta G_1 B_1}(\Omega)$  – коефіцієнт взаємної кореляції між флуктуаціями  $G_1$  і  $B_1$ .

Оскільки флуктуації провідності і ємності ЛПД викликані однією і тією ж причиною  $\delta G_1 \approx \delta B_1$ , то  $S_{\delta G_1}(\Omega) \approx S_{\delta B_1}(\Omega)$  і  $P_{\delta G_1 B_1}(\Omega)$ , то тоді (27) з урахуванням того, що  $G_v(\Omega)$  носить фліккерний характер, набуває вигляду

$$S_{\varphi_r}(\Omega) = \omega_0^2 A_v(\Omega) \cdot \Omega^{-\alpha}, \quad (28)$$

де  $A_v(\Omega) = [(A_1 + D_1) / 2Q_H]^2$ , (29)

Чисельну оцінку коефіцієнтів  $A_1$  і  $D_1$ , обумовлених флуктуаціями параметрів ЛПД, знайдемо, скориставшись еквівалентною схемою ГЛПД (рис. 6).

У еквівалентній схемі ємність корпусу діода включена в ємність еквівалентного контура генератора С.

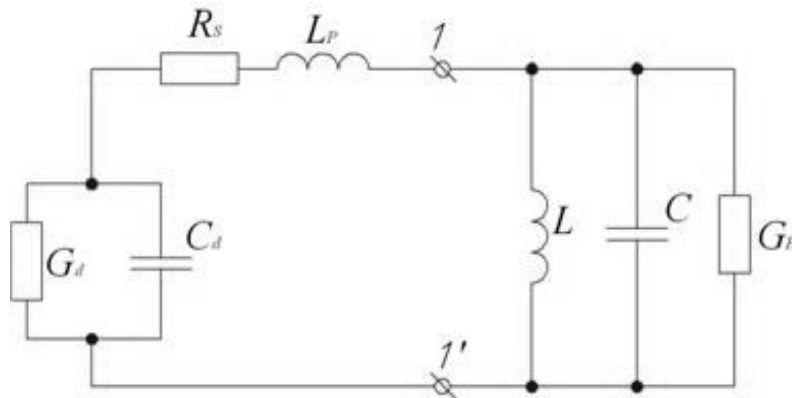


Рис. 6. Спрощена еквівалентна схема ГЛПД.

Як видно з еквівалентної схеми, провідність ЛПД з урахуванням реактивних параметрів характеризується комплексною величиною, що є функцією частоти

$$Y_d(j\omega) = G_d(\omega) + jB_d(\omega), \quad (30)$$

Виражаючи через параметри еквівалентної схеми, рівняння (30) запишемо у вигляді

$$|Y_d(j\omega)| = \frac{-G_d \left(1 - R_s G_d - R_s C^2 \omega^2 / C_d\right) + j\omega C \left(1 - C_d^2 \frac{L_p}{C} - L_p C \omega^2\right)}{\left(\frac{C\omega}{G_d}\right)^2 \left(-R_s G_d + \frac{L_p C_d^2}{C}\right) + \left(1 + R_s G_d - L_p C \omega^2\right)}, \quad (31)$$

де  $G_d$  – провідність діода;  
 $R_s$  – опір втрат;  
 $C_d$  – ємність діода;  
 $L_p$  – індуктивність контактного дроту.

Для аналізу флуктуаційних властивостей ЛПД за наявності нелінійних елементів  $C_d$ ,  $C$  коливань великої амплітуди необхідно замінити параметри цих елементів їх середніми значеннями по першій гармоніці  $G_{d1}$  і  $C_1$ . Це дозволить замінити нелінійну провідність ЛПД в точках 1 – 1' еквівалентної схеми (рис. 6) лінеаризованою провідністю (середньою по першій гармоніці).

$$Y_{d1}(j\omega) = G_{d1}(\omega) + jB_{d1}(\omega) = |Y_{d1}(j\omega)| e^{jY_{d1}}, \quad (32)$$

$$C_{d1}(\omega) = \frac{G_1 \left(1 - R_s G_1 - R_s C_1^2 \omega^2 / G_1\right)}{\left(\frac{C_1 \omega}{G_1}\right)^2 \left(-R_s G_1 + \frac{L_p C_1^2}{C_1}\right) + \left(1 - R_s G_1 - L_p C_1 \omega^2\right)^2}, \quad (33)$$

$$B_{d1}(\omega) = \frac{\omega C_1 \left( 1 - G_1^2 \frac{L_p}{C_1} - L_p C_1 \omega^2 \right)}{\left( \frac{C_1 \omega}{G_1} \right)^2 \left( -R_s G_1 + \frac{L_p C_1^2}{C_1} \right) + \left( 1 - R_s G_1 - L_p C_1 \omega^2 \right)^2}, \quad (34)$$

З виразів (33, 34) величини  $G_{d1}(\omega)$  і  $B_{d1}(\omega)$  залежавши від амплітуди першої гармоніки на контурі  $U_1$  в точках 1 – 1' еквівалентної схеми, оскільки  $G_d$  і  $I_3$  залежать від  $U_1$ . Для ГЛПД в стаціонарному режимі рівняння балансу фаз записується у вигляді

$$\varphi_{d1} + \varphi_k = 0, \quad (35)$$

де  $\varphi_{d1}$ ,  $\varphi_k$  – зрушення фаз між першою гармонікою КВЧ струму  $I_1$  і напругою на діоді і контурі.

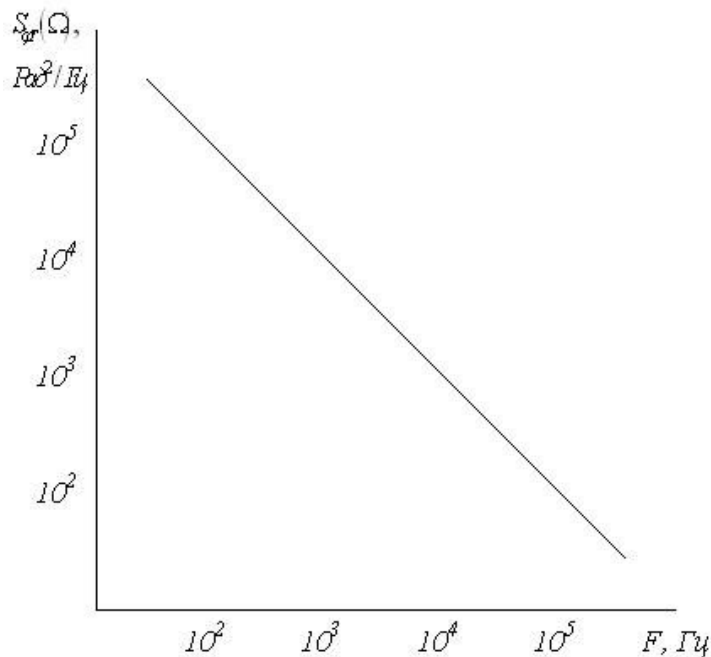


Рис.7. Залежність спектральної щільності частотних флуктуацій ГЛПД від частоти аналізу.

Фазовий кут середньої провідності визначається як

$$\varphi_{d1} = -\arctan \frac{\omega C_1 - \omega L_p G_1^2 - \omega^3 L_p G_1^2}{G_1 - R_s G_1^2 \omega^2}, \quad (36)$$

Флуктуації фазового кута знаходимо як

$$\Delta \varphi_{d1} \approx A_1 \delta G_1 + B_1 \delta C_1, \quad (37)$$

$$A_1 = G_1 \frac{\omega L_p (C_1^2 - \omega^2 C_1) + \omega C_1 (1 - 2R_s G_1)}{(G_1 - R_s G_1^2 - R_s C_1^2 \omega^2)^2 + (\omega C_1 - \omega L_p G_1^2 - \omega^3 L_p C_1^2)^2}, \quad (38)$$

де

$$B_1 = C_1 \frac{\omega (G_1 - R_s G_1^2) + \omega^3 C_1^2 L_p \left( 2G_1 - \frac{C_1}{L_p} R_s \right)}{(G_1 - R_s G_1^2 - R_s C_1^2 \omega^2)^2 + (\omega C_1 - \omega L_p G_1^2 - \omega^3 L_p C_1^2)^2}, \quad (39)$$

Для розрахунків дисперсії і нестабільності частоти ГЛПД були використані параметри:  $f_0 = 95 \cdot 10^9$  Гц;  $P_0 = 0,1$  Вт;  $Q_n = 10^3$ ;  $R_d = 3$  Ом;  $R_s = 0,5$  Ом;  $L_p = 0,1 \cdot 10^{-9}$  Гн;  $C_1 = 0,2 \cdot 10^{-12}$  Ф;  $U_0 = 15$  В;  $I_0 = 0,1$  А;  $K_1 = 10^{-7}$  В/Гц;  $K_2 = 10^2$ ;  $K_3 = 1$ ;  $K_4 = 10^2$ ;  $K_5 = 10^8$  Гц/В;  $T_1 = 10^{-7}$  с;  $T_2 = 10^{-6}$  с;  $T_3 = 0,1$  с.

На рис. 7 наведена залежність спектральної щільності частотних флуктацій ГЛПД від частоти аналізу.

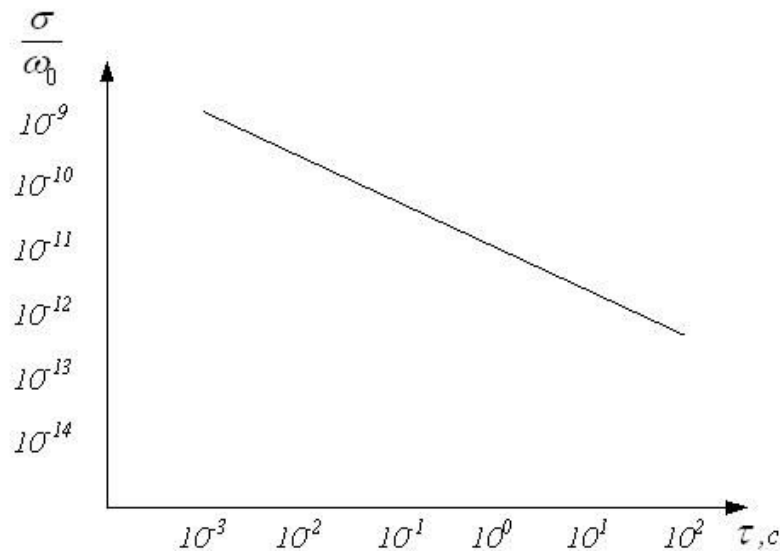


Рис. 8. Нестабільність частоти генератора на ЛПД від часу вимірювання.

Розрахункові результати нестабільності частоти ГЛПД від часу вимірювань в системі контролю ДП дихання рослин наведені на рис. 8. Наведені результати теоретичних досліджень показують, що ЛПД мають високий рівень флікерних шумів. В той же час збільшення добротності зовнішнього контура і вибір оптимальних режимів роботи дозволяють істотно понизити рівень частотних шумів і ефективно подавити швидкі флуктації частоти, що забезпечує малі значення короточасної нестабільності частоти ГЛПД в межах  $10^{-8} \dots 10^{-9}$  степені

*Висновки.* В якості генератора мм діапазону в системі вимірювання ДП газового середовища рослин слід використовувати лавино-прольотний діод з крутизною електронної перебудови частоти 108 Гц/В і відносною нестабільністю частоти в межах  $10^{-8} - 10^{-9}$ .

Застосування в системі вимірювання ДП газового середовища рослин пристрою перетворення частоти з параметрами:  $K_1 = 10^{-7}$  В/Гц;  $K_2 = 10^2$ ;  $K_3 = 1$ ;  $K_4 = 10^2$ ;  $K_5 = 10^8$  Гц/В;  $T_1 = 10^{-7}$  с;  $T_2 = 10^{-6}$  с;  $T_3 = 0,1$  с. дозволить забезпечити величину перерегулювання менше 10%, час встановлення перехідного процесу  $0,8 \cdot 10^{-5}$  с і дисперсію помилки в межах  $10^{-2}$ .

## Література

- 1 V. Prabhu. Noise performance of abrupt – junction varactor frequency multipliers// Proc. IEEE. - 1966. - V.54, № 2. - p. 285.
- 2 Вальд-Перлов В.М. О минимальном уровне амплитудного шума генераторов на ЛПД / В.М.Вальд-Перлов, Л.С.Сибирцев, А.С.Тигер // Радиотехника и электротехника - 1977. - Т. 22. - № 10. - С. 2186-2189.
- 3 Бугаев А.В. Частотная зависимость модуляционных шумов ГЛПД / А.В.Бугаев // Электронная техника. Серия 1 - 1977. - № 2. - С. 103-105.
- 4 Бычков С.И. Стабилизация частоты генераторов СВЧ / С.И.Бычков, Н.И.Буренин, Р.Т.Сафаров - М.: Сов. радио, 1962. - 376 с.
- 5 Конструирование и расчет полосковых устройств / Голубев В.И., Ковалев И.С., Кузнецов Е.Г. и др.; под ред. И.С. Ковалева - М.: Сов. радио, 1974. - 295 с.
- 6 Коновалов Г.Ф. Радиоавтоматика: Учеб. для вузов / Г.Ф. Коновалов - М.: Высш. шк., 1990. - 335 с.

### **РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА НА ЛПД С ЭЛЕКТРОННОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ ЧАСТОТЫ**

Ю.М. Куценко

**Аннотация** – обоснованы параметры генератора миллиметрового диапазона в системе измерения диэлектрической проницаемости газовой среды растений, представлен анализ флуктуационных характеристик.

### **DEVELOPMENT OF GENERATOR MILLIMETER RANGE FOR ATD WITH ELECTRONIC FREQUENCY TUNING**

Yu. Kutsenko

#### *Summary*

**The parameters of the generator milimet-rovogo range in the measurement system of the dielectric-bility of the gas medium of plants, represented analiz fluktatsion-acteristics.**



УДК 631.362.3 - 032.2:635.64

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГІДРОДИНАМІЧНОГО СОРТУВАННЯ ПЛОДІВ ТОМАТІВ В ПОТОЦІ ВОДИ З ПСЕВДОЗРІДЖЕНИМ ДИСПЕРСНИМ ШАРОМ**

Лубко Д.В., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел.: (0619) 42-20-32

**Анотація** – робота присвячена комп'ютерному моделюванню процесу гідродинамічного сортування плодів томатів в потоці води з псевдозрідженим дисперсним шаром на лінії їх сортування.

**Ключові слова** – плоди томатів, моделювання, дисперсний шар, гідросортування, лінія.

*Постанова проблеми.* На сьогодні плоди томатів є доволі поширеною овочевою культурою на Україні. Саме тому, дуже важливим та актуальним питанням є механізація всіх процесів збирання та доробки плодів томатів.

Розглянемо найбільш важливу складову процесу доробки плодів томатів - це гідросортування їх за ступенем зрілості на лініях. Воно ведеться на стаціонарних лініях з використанням гідролотків, по яким плоди рухаються разом з потоком води.

Розподіл плодів на червоні та зелені відбувається при виході плодів з гідролотків - по різниці щільності води та плоду.

Для додаткового підвищення загальної точності сортування на таких лініях ми пропонуємо додавати ще в потік води гідролотка лінії – повітря (за допомогою компресора). Таким чином в ньому створюється так званий псевдозріджений дисперсний шар, в який потрапляють плоди томатів.

Для того щоб робота лінії була найбільш ефективною та мала як найбільш високий відсоток точності сортування плодів, нам потрібно правильно визначити основні конструктивні і технологічні її параметри. Основною задачею при цьому дослідженні є моделювання процесу гідродинамічного сортування плодів в потоці з розробкою адекватної математичної моделі роботи лінії, отримавши яку ми зможемо значно підвищити ефективність роботи всієї лінії шляхом встановлення оптимальних параметрів в гідролотку лінії згідно отриманої моделі.

*Аналіз останніх досліджень.* Дослідження з даної тематики проводилися в середині 80-х, початку 90-х років проф. Тарасенко В.В. [1], а також згодом к.т.н Лубко Д.В. [2, 3].

Відтоді, по даному питанню у нашій країні та закордоном досліджень не проводилося.

*Формулювання цілей статті.* Ціль даної статті – провести моделювання процесу гідродинамічного сортування плодів томатів в потоці води з псевдозрідженим дисперсним шаром на лінії їх сортування.

*Основна частина.* На існуючих сьогодні лініях гідросортування томатів використовується розподіл плодів по двом ознакам: по різниці щільності плодів та води, а також по різниці швидкості спливання червоних та зелених плодів томатів.

Перша ознака розподілу використовується на грубом гідродинамічному сортувальнику, друга ознака - на точному сортувальнику.

Але, як було встановлено [1, 2, 3], повністю поділити плоди в залежності від ступеня зрілості по кожній ознаці неможливо.

Проте використовуючи зв'язок між трьома ознаками розподілу - можливо більш точніше відсортувати плоди по ступеню зрілості, ніж по якійсь одній ознаці.

Третя ознака розподілу - це по різниці щільності води в гідролотку та шару води між штовхателем та дільником насиченим мілкодисперсними бульбашками повітря (це так званий псевдозріджений шар). Для створення цього псевдозрідженого шару пропонується використовувати додатковий пристрій, який містить у собі: компресор (створює тиск повітря у порожнистих пальцях підштовхувача); ресивер (згладжує пульсації повітря після компресора) та сопла різного діаметру, які встановлюють на кінчики пальців штовхателя (для зміни розміру бульбашок повітря).

В наслідок його роботи утворюється шар води, між штовхателем та дільником, який має щільність меншу щільності за цим шаром води. Червою плоди, які ще не відсортувалися, потрапляють в цей шар та починають швидко занурюватися на дно гідролотка, а потім потрапляють у гідрожолоб до інспекційного столу або на фотоелектронний сортувальник, а після цього до контейнеру червоних плодів.

Сам гідросортувальний процес багатофакторний.

Кількість факторів яка впливає на точність гідросортування дорівнює 29.

Апріорне ранжирування факторів показало, що погодженість фахівців у галузі сортування плодів томатів не випадкова.

Тому на середній апіорній діаграмі рангів ми відібрали 8 факторів, які найбільш всього впливають на сортувальний процес та на критерій оптимізації.

Це такі 8 факторів:

- довжина штовхателя (1);
- відстань від кінця штовхателя до дільника (2);
- висота встановлення дільника відносно штовхателя (3);
- відношення плодів по ступеню зрілості (4);
- швидкість руху води в гідро лотку (5);
- подавання плодів в гідролоток (6);
- тиск повітря на вході в 6-ти позиційний дільник
- повітряного потоку з насадками (7);
- діаметр отвору сопла насадки розпилювача (8).

Щоб вилучити з цих 8 факторів мало визначні, и провели відсіювальні експерименти по матрице, створеної по методу випадкового балансу.

За критерій оптимізації була вибрана загальна точність сортування плодів за ступенем зрілості:

$$R_0 = 100 \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m_{\Sigma}}.$$

де  $n$  - кількість фракцій;

$m_i$  - маса плодів яка з'явилась в даної фракції, яка відповідає її вимогам;

$m_{\Sigma}$  - сумарна маса всіх фракцій.

Найбільша ступінь впливу була відзначена у факторів (2), (3), (7), (8). Щоб знайти оптимальне поєднання відзначених факторів, які дають максимальну точність сортування, ми провели експеримент який включав 8 спроб, які складали напіврепліку повнофакторного експерименту типу  $2^3$  а також виконали програму крутого сходження по поверхні відгуку, яка включала 3 спроби.

Експеримент проводився у трьохкратної повторності з рандомизацією проведення спроб, яка була організована по таблиці випадкових чисел.

Для опису поверхні відгуку рівняннями другого порядку використали ротатабельний план Боксу; який складався з 20 спроб, у тому числі 8 точок ядра, створених як напіврепліка експерименту типу  $2^3$ , 6 зоряних точок та 6 нульових точок.

В результаті обробки даних експериментальних досліджень були знайдені коефіцієнти регресії та по них складено рівняння регресії другого порядку в за кодовому вигляді.

Це рівняння в розкодованому вигляді таке:

$$\begin{aligned}
Y = & 84,95 - 98,05 \cdot \ell + 155,64 \cdot h + 24,31 \cdot P_r + 19,48 \cdot d_0 - \\
& - 86,77 \cdot \ell \cdot h - 15,34 \cdot \ell \cdot P_r - 14,52 \cdot \ell \cdot d_0 - 65,79 \cdot h \cdot P_r - 34,77 \cdot h \cdot d_0 - \\
& - 7,43 \cdot P_r \cdot d_0 + 146,88 \cdot \ell^2 - 356,02 \cdot h^2 - 6,25 \cdot P_r^2 - 3,64 \cdot d_0^2 + \\
& + 29,72 \cdot \ell \cdot h \cdot P_r - 12,36 \cdot \ell \cdot h \cdot d_0 + 2,44 \cdot \ell \cdot P_r \cdot d_0 - 6,94 \cdot h \cdot P_r \cdot d_0
\end{aligned}$$

В ньому:

(фактор 2) – це відстань від кінця штовхателя до дільника;

$h$  (фактор 3) – висота встановлення дільника відносно штовхателя;

$P_r$  (фактор 7) – тиск повітря на вході в 6-ти позиційний дільник повітряного потоку з насадками;

$d_0$  (фактор 8) – діаметр отвору сопла насадки розпилювача.

Розрахунки показали, що отримана модель адекватна на 95% рівні довірчої вірогідності.

А перевірка працездатності моделі по коефіцієнту детерміації показала, що її розрахункове значення  $R_{\text{розрах}} = 0,91$ , тобто отримана модель працездатна.

Щоб визначити крапку на поверхні відгуку, відповідну максимальному значенню показника загальної точності сортування лінії для цих факторів, ми побудували підсумкові перетини.

Проаналізувавши всі отримані три і двовимірні перетини можна зробити висновок, що раціональні (оптимальні) режими роботи лінії забезпечуватимуться, якщо значення чотирьох основних факторів, що найбільш впливають на процес гідросортування матимуть наступні значення (для сорту томатів „Класик”):

1. Відстань від кінця штовхателя до дільника: 0,66 м;

2. Висота установки дільника відносно штовхателя: 0,060 м;

3. Тиск повітря, на вході в 6-ти позиційний дільник повітряного потоку з насадками: 0,62 атм;

4. Діаметр отвору сопла насадки-розпилювача: 0,25 мм.

При розмірах гідролотка 0,2×0,4м та продуктивності сортувальної лінії до 15 т/год, точність сортування по червоним плодам складає 98%, а загальна точність сортування по лінії перевищує 90% в порівнянні з прототипом лінії в якій вона дорівнювала 82%.

*Висновки.* Отримана математична модель дозволила визначити основні оптимальні конструктивні та технологічні параметри і режими роботи гідролотка лінії з псевдозрідженим дисперсним шаром, що значно підвищило загальну точність сортування плодів томатів за ступенем зрілості.

#### Література

1. Гідравлічний класифікатор: Пат. 859 Україна: МКИ<sup>5</sup> В 03 В 5/28 / В.В.Тарасенко. – № 93230216; Заявл. 22.02.93; Опубл. 15.12.93, Бюл. № 2.

2. Лубко Д.В. Компьютерная обработка и анализ результатов экспериментальных исследований процесса гидродинамического сортирования плодов томатов / Д.В. Лубко // Праці Тавр. держ. агротехніч. академії / ТДАТА. – Мелітополь, 2007.– Вип. 7, т. 3. – С. 85-92.

3. Лубко Д.В. Комп'ютерний аналіз процесу руху плодів томатів в гідролотку. / Д.В. Лубко, О.А. Іщенко, М.О. Циганенко // Праці Тавр. держ. агротехнолог. університету / ТДАТУ. – Мелітополь, 2009.– Вип. 4, т. 45. – С. 119-123.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СОРТИРОВАНИЯ ПЛОДОВ  
ТОМАТОВ В ПОТОКЕ ВОДЫ С ПСЕВДОСЖИЖЕННЫМ  
ДИСПЕРСНЫМ СЛОЕМ**

Д.В. Лубко

***Аннотация*** – работа посвящена компьютерному моделированию процесса гидродинамического сортирования плодов томатов в потоке воды с псевдосжиженным дисперсным слоем на линии их сортирования.

**DESIGN OF PROCESS HYDRODYNAMIC  
SORTING OF TOMATOES IS IN STREAM OF WATER  
WITH PSEUDOLIQUIFIED DISPERSION LAYER**

D. Lubko

***Annotation*** – work is devoted the computer design the process of the hydrodynamic sorting of tomatoes in the stream of water with pseudoliquefied dispersion layer on the line of their sorting.

УДК 514. 8

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИМІРЮВАННЯ ГІДРОМЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЧАСТИНОК В ЛАЗЕРНІЙ ДОПЛЕРІВСЬКІЙ ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ**

Морозов М. В. к. т. н.

Мовчан С. І. к. ф - м. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет,*

(0619) 42-25-85

**Анотація** – На підставі отриманих експериментальних даних форми доплерівського сигналу пропонується методика моделювання процесу вимірювання, розрахунку і визначення гідромеханічних параметрів частинок водних розчинів з використанням MathCad.

**Ключові слова** – форма доплерівського сигналу; лазерна інтерферометрія; електрофоретична швидкість, ефективний діаметр, дзета потенціал частинки домішок; математичне моделювання з використанням MathCad

*Постановка проблеми.* До галузі екологічних досліджень крім прямих засобів і технологічних заходів необхідно віднести непрямі методи, що дозволяють визначати окремі параметри або комплекс гідромеханічних параметрів. Відомі раніше оптичні способи визначення параметрів частинок водних розчинів не в повній мірі відповідали поставленій задачі. Тому, в обсязі виконання досліджень, пов'язаних із методикою розрахунку гідромеханічних параметрів частинок в залежності від форми доплерівського сигналу, запропоновано математичне моделювання процесу вимірювання та аналізу отриманих експериментальних результатів.

При розробці, проектуванні та експлуатації локальних схем очищення виробничих стічних вод важливе місце мають технології контролю якості очищення і вимірювання параметрів частинок домішок. Методи лазерної, доплерівської інтерферометрії забезпечують визначення швидкості, ефективного діаметру, електрокінетичного потенціалу та концентрації частинок домішок водних розчинів дистанційно, в реальному часі з достатньо високою точністю [1 - 3]. Аналіз параметрів і форми доплерівського сигналу з виходу лазерного

інтерферометра дозволяє провести математичне моделювання та автоматизувати процес вимірювання гідромеханічних параметрів частинок домішок.

*Аналіз останніх досліджень.* При проведенні експрес – контролю якості очищення стічних вод гальванічного виробництва замкнених та локальних схемах очищення важливою характеристикою є концентрація частинок домішок. Для вимірювань цього параметру використовується еталонний розчин з вже відомою концентрацією та порівняння результату цього вимірювання [4, 5].

*Визначення конкретних, раніше не вирішених аспектів проблеми, що розглядається.* Використання лазерної доплерівської інтерферометрії для проведення експрес – контролю якості очищення стічних вод в замкнених системах очищення потребує автоматизації процесу вимірювання та обробки отриманих експериментальних результатів для подальшого керування параметрами технологічних схем очищення. Для цього необхідно удосконалення методики математичного моделювання процесу вимірювання, оцінки можливих похибок та меж застосування методу вимірювання.

*Формулювання цілей статті.* Використання оптичних методів лазерної доплерівської інтерферометрії дозволяє визначати гідромеханічні параметри частинок водних розчинів.

Мета роботи полягає в удосконаленні технології визначення і методики розрахунку гідромеханічних параметрів частинок в залежності від форми доплерівського сигналу

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Удосконалити метод математичного моделювання форми доплерівського сигналу та визначити її залежність від гідромеханічних параметрів частинок і схеми, яка використовується для вимірювання.

2. Розробити методику розрахунку гідромеханічних параметрів частинок та автоматизації процесу вимірювання з урахуванням гаусового розподілу інтенсивності лазерного випромінювання по перерізу зондуючого променя в залежності від форми доплерівського сигналу.

3. Визначити можливі похибки вимірювання, оптимальні параметри експериментальної установки та допустимі межі застосування розробленого оптичного метода вимірювання.

*Основна частина.* Розроблено і в лабораторних умовах апробовано диференційну оптичну схему лазерного доплерівського інтерферометра (рис. 1), яка має переваги перед іншими аналогічними схемами [2, 3].

Запропонований спосіб вимірювання швидкості і ефективного діаметру частинок здійснюється наступним чином. За допомогою

дзеркал 2, 3 і світлоподільника 4 формують два когерентних світлових пучка, які за допомогою лінзи 5 фокусують під кутом  $\alpha$  один до одного в зондуєчу зону електрофоретичної камери 6.

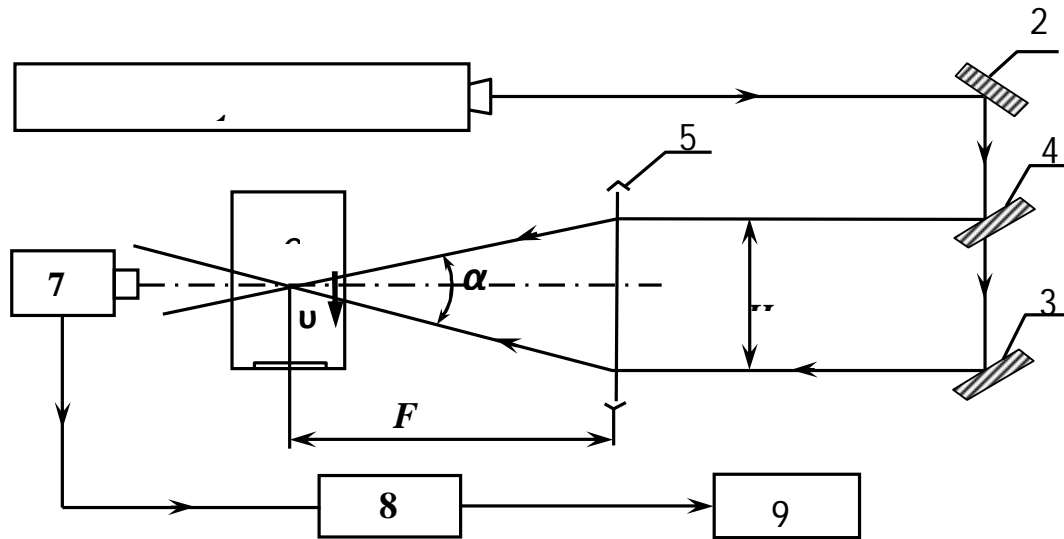


Рис.1. Схема лазерної доплерівської вимірювальної установки для визначення електрофоретичної швидкості, ефективного діаметру и величини електричного потенціалу при електрофорезі: 1 – джерело когерентного випромінювання – лазер типу ЛГН - 222; 2, 3 – дзеркала; 4 – світловий подільник; 5 – лінза; 6 – зондуєча зона електрофоретичної камери; 7 – фотоприймач; 8 - цифровий запам'ятовуючий осцилограф (С 9 – 8); 9 – персональний комп'ютер.

Інтенсивність світла, яке розсіюється частинкою котра рухається зі швидкістю  $v$  у напрямку перпендикулярному оптичній вісі лінзи 5, реєструється за допомогою фотоприймача 7, вихід з якого електрично пов'язаний з цифровим запам'ятовуючим осцилографом 8.

Для обґрунтування параметрів лазерної доплерівської установки і алгоритму процесу вимірювання швидкості руху та розмірів частинок була розглянута залежність амплітуди електричного сигналу з фотоприймача інтерферометра від часу. При цьому частота  $\nu$  доплерівського сигналу визначає швидкість руху частинки завислих речовин. Величина електричного сигналу (сила фотоструму або напруга) пропорційна інтенсивності світлової хвилі у просторі реєстрації, яка утворюється внаслідок інтерференції двох когерентних хвиль, розсіяних частинкою. При русі частинки у зоні перетину двох зондуєчих гаусових лазерних пучків кут розсіювання змінюється несуттєво. Тому інтенсивність розсіяного випромінювання залежить тільки від розташування частинки відносно вертикальної вісі гаусових зондуєчих пучків (рис. 2).



Інтенсивність доплерівського сигналу у першому наближенні має наступну залежність від часу і визначається за формулою:

$$I(t) = U(t) \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot t + \varphi), \quad (1)$$

де  $\nu = \frac{1}{T} = \frac{2 \cdot \nu \cdot n}{\lambda} \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$  – частота доплерівського сигналу;  $\lambda = 0,6328$  мкм – довжина хвилі когерентного випромінювання гелій – неоновому лазеру;  $\varphi$  – початкова фаза;  $n$  – показник заломлення рідини,  $T$  – період доплерівського сигналу.

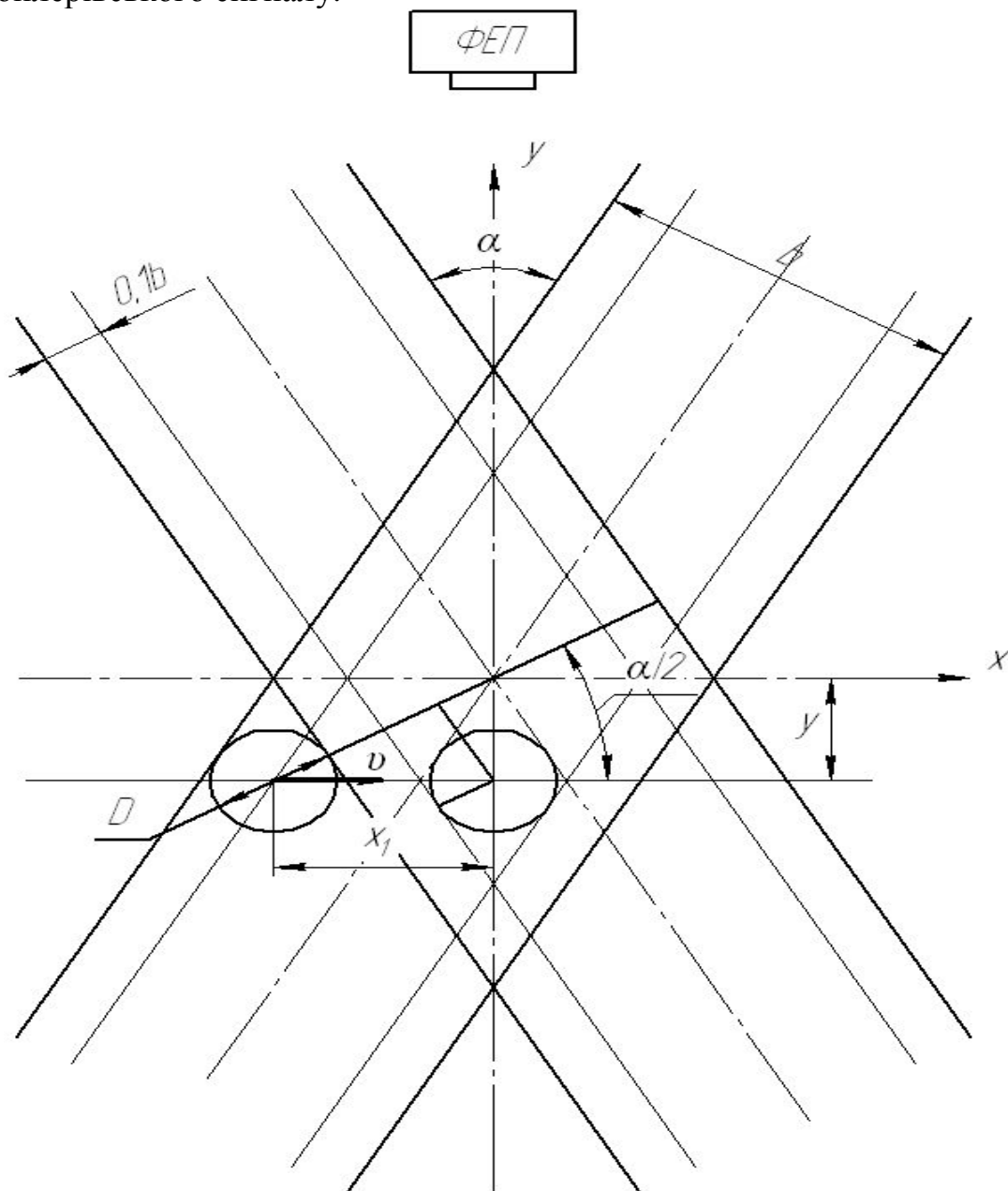


Рис.2. Отримання доплерівського сигналу  $I = I(t)$ :  $\frac{\alpha}{2}$  – кут розсіювання;  $D$  – діаметр частинки;  $b$  – діаметр лазерних пучків.

Визначивши межі інтенсивності доплерівського сигналу і підставивши їх до рівняння (1) отримуємо систему рівняння, яка визначається за формулою:

$$U(t) = \begin{cases} at & \text{при } 0 \leq t \leq t_1 = \frac{(D + 0,1 \cdot b)}{v \cdot \cos \alpha / 2} \\ 1 & \text{при } t_1 < t \leq t_1 + 2 \cdot t_2 \\ 1 - a(t - t_1 - 2t_2) & \text{при } t_1 + 2t_2 < t < 2(t_1 + t_2) \end{cases}, \quad (2)$$

де  $a = \frac{v \cdot \cos \alpha / 2}{D + 0,1 \cdot b} = \frac{1}{t_1}$ ;  $t_1 = \frac{D + 0,1 \cdot b}{v \cdot \cos \alpha / 2}$  - час зростання амплі-

туди доплерівського сигналу;  $D$  - діаметр частинки;  $y = \frac{b \cdot j}{2 \cdot \sin \alpha / 2}$  -

зміщення положення частинки відносно осі ОХ;

$2 \cdot t_2 = \frac{0,8 \cdot b - D - 2y \cdot \sin \alpha / 2}{v \cdot \cos \alpha / 2}$  - час сталої амплітуди доплерівського сигнала;

$b$  - діаметр гаусового пучка.

Параметр  $j = 0 \dots 1$  визначає положення частинки відносно горизонтальної вісі симетрії ОХ (рис. 2).

Час зростання амплітуди доплерівського сигналу  $t_1$  визначається тривалістю руху частинки у граничній зоні, коли поверхня частинки двома пучками освітлена не повністю:

$$t_1 = \frac{x_1}{v} = \frac{D + 0,1 \cdot b}{v \cdot \cos \alpha / 2}. \quad (3)$$

Розроблено алгоритм і програму математичного розрахунку з використанням системи MathCAD форми доплерівського сигналу з виходу фотоприймача інтерферометра. Ця програма дозволяє одержати форму сигналу  $I(t)$  для різних параметрів установки:  $b$ ,  $\alpha$ ,  $\varphi$ ,  $E$  (напруженість електричного поля) та параметрів частинок:  $D$ ,  $\zeta$  (електрокінетичний дзета - потенціал). Вид сигналу, параметри руху частинки:  $v$ ,  $y$  та доплерівського сигналу:  $v$ ,  $T$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  виводяться на екран монітора та друк (рис. 3).

Час максимального значення амплітуди доплерівського сигналу визначається рухом частинки в зоні перетину двох лазерних пучків і залежить від положення частинки  $y = j \cdot y_{max}$  відносно горизонтальної осі симетрії ОХ:

$$t_3 = 2 \cdot t_2 = \frac{0,8 \cdot b - D - 2 \cdot y \cdot \sin \alpha / 2}{v \cdot \cos \alpha / 2} \quad (4)$$

Тоді тривалість доплерівського сигналу визначається за формулою:

$$t_4 = 2 \cdot (t_1 + t_2) \quad (5)$$

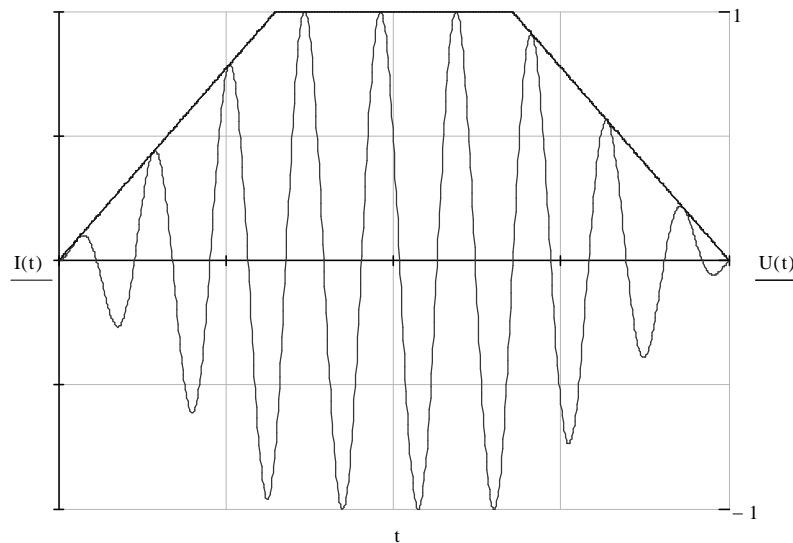


Рис.3. Форма доплерівського сигналу, яка отримана у результаті теоретичного розрахунку за допомогою ПК:  $b = 50$  мкм;  $\alpha = 6^0$ ;  $\varphi = 0^0$ ;  $E = 1000$  В / м;  $D = 8$  мкм;  $\zeta = 0,8$  В;  $v = 0,38$  мм / с;  $y = 170$  мкм;  $\nu = 84$  Гц;  $T = 12$  мс;  $t_1 = 34$  мс;  $t_2 = 19$  мс.

Детальний аналіз залежності форми доплерівського сигналу від параметрів вимірювальної установки дозволяє вибрати значення кута  $\alpha$  між двома зондуючими пучками і діаметра  $b$  гаусових пучків, а також розробити алгоритм вирішення зворотної задачі – за видом доплерівського сигналу визначити швидкість і діаметр частинок дисперсної фази. При відстані між двома лазерними променями (рис. 1)  $H = 0,025$  м та фокусної відстані лінзи  $F = 0,25$  м кут  $\alpha$  між двома зондуючими променями дорівнює

$$\alpha = 2 \cdot \arctg \cdot \frac{H}{2 \cdot F} = 6^0. \quad (6)$$

Діаметр  $b$  лазерного променя в зондуючій зоні перетину двох пучків дорівнює значенню, яке визначається за формулою:

$$b = 1,22 \cdot \lambda \cdot \frac{F}{d} = 50 \text{ мкм}. \quad (7)$$

Для визначення електрофоретичної швидкості  $v$  руху частинки вимірюємо період  $T = 1/\nu$  доплерівського сигналу. Тоді швидкість визначається за формулою:

$$v = \frac{\lambda \cdot \nu}{2 \cdot n \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\lambda}{2 \cdot T \cdot n \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (8)$$

де  $\lambda = 0,6328$  мкм – довжина хвилі випромінювання лазера;

$n = 1,33$  - показник заломлення води.

Для визначення діаметра частинки  $D$  необхідно виміряти час  $t_1$  зростання інтенсивності доплерівського сигналу. Тоді з врахуванням

гаусового розподілу інтенсивності випромінювання по перерізу зондуючого променя ефективний діаметр визначається за формулою:

$$D = t_1 \cdot v \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - 0,1 \cdot b \quad (9)$$

Величина електрокінетичного дзета – потенціалу  $\xi$  визначається за формулою Смолуховського:

$$\xi = \frac{3 \cdot \eta \cdot v}{2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E} \quad (10)$$

де  $\varepsilon$  - відносна діелектрична проникність;  $\eta$  - в'язкість рідини;  $E$  - напруженість електричного поля,  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф / м – електрична стала.

Програма математичного розрахунку гідромеханічних параметрів: електрофоретичної швидкості, діаметра та електрокінетичного дзета - потенціалу частинок дисперсної фази дозволяє проводити оцінку відносної похибки алгоритму, який було використано. Максимально допустима похибка алгоритму вирішення зворотної задачі при визначенні ефективного діаметра частинки дорівнює 6 %, якщо вимірювальна лазерна установка має такі параметри:  $b = 50$  мкм,  $\alpha = 6^\circ$  та  $E = 1000$  В / м.

Визначаємо межі значень швидкості та діаметру частинки, які можливо вимірювати при застосуванні розглянутої оптичної схеми лазерного доплерівського інтерферометру та алгоритму вирішення зворотної задачі. Мінімальне значення швидкості частинки визначається мінімальною частотою  $\nu_{\min}$  доплерівського сигналу, який визначається за формулою:

$$\nu_{\min} = \frac{\nu_{\min} \cdot \lambda}{2 \cdot n \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (11)$$

При  $\nu_{\min} = 1$  Гц отримаємо  $\nu_{\min} = 4,5 \cdot 10^{-6}$  м / с. При цьому відносна похибка алгоритму складає  $\delta\nu = 5$  %.

Максимально можливе значення швидкості визначається максимальною частотою доплерівського сигналу:  $\nu_{\max} = 50$  Гц,  $\nu_{\max} = 0,46$  м / с,  $\delta\nu = 5,3$  %.

Максимально припустимий діаметр частинки, який можливо виміряти при використанні цієї методики, визначається із умови:  $t_2 = 0$ . Тоді при  $y = 0$ :  $D_{\max} = 40 \cdot 10^{-6}$  м,  $\delta\nu = 3,5$  %. На рисунку 4 представлено форму доплерівського сигналу у цьому випадку.

Мінімальний діаметр частинки визначається із умови:  $t_1 = 2 \cdot T$ . Тоді при  $D_{\min} = 4,0 \cdot 10^{-6}$  м,  $\delta\nu = 6,4$  %, при  $\alpha = 6^\circ$  та  $\hat{a} = 5 \cdot 10^{-5}$  м. На рисунку 5 представлено форму доплерівського сигналу при цих же умовах.

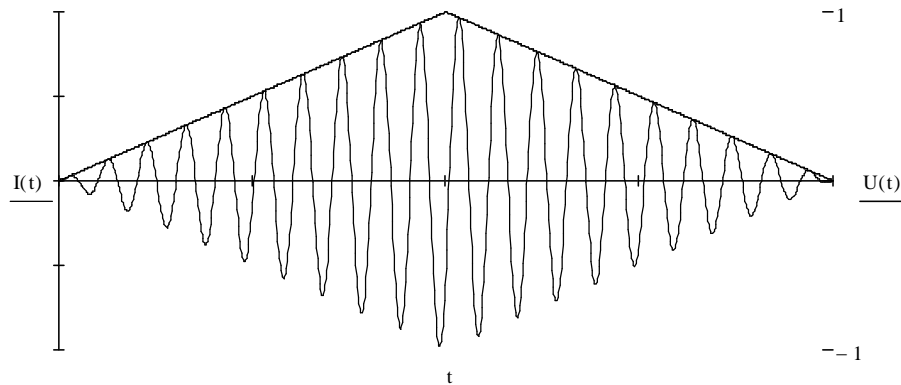


Рис. 4. Форма доплерівського сигналу при:  $D_{\max} = 40$  мкм;  $\zeta = 0,3$   
В;  $v = 0,14$  мм / с;  $y = 0$ ;  $t_2 = 0$  мс.

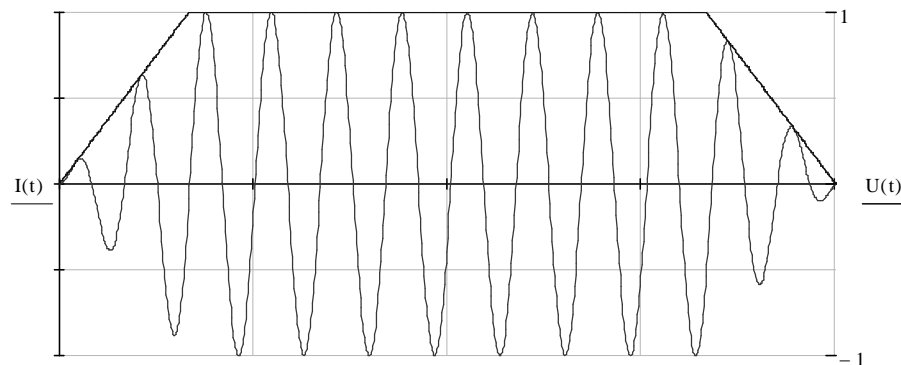


Рис. 5. Форма доплерівського сигналу при:  $D_{\min} = 4$  мкм;  $\zeta = 0,3$   
В;  $v = 0,14$  мм / с;  $y = 0$ ;  $t_1 = 2 \cdot T$ .

Таким чином, запропонований метод вимірювання параметрів частинок має наступні діапазони застосування – для діаметра:  $D = (4 \dots 40)$  мкм, для швидкості:  $v = (4,5 \cdot 10^{-6} \dots 0,46)$  м / с у разі оптимальних параметрів вимірювальної лазерної доплерівської установки  $H = 0,025$  м,  $F = 0,25$  м,  $\alpha = 6^\circ$ ,  $\lambda = 0,6328$  мкм та  $E = 10^3$  В / м.

*Висновки.* У результаті моделювання процесу вимірювання гідромеханічних і фізичних параметрів частинок за допомогою комп'ютерного дослідження обрано параметри експериментальної установки, а також розроблено алгоритм автоматизації вимірювань і визначено межі чутливості методу лазерної доплерівської інтерферометрії. Отримані результати вимірювання ефективного діаметру і дзета – потенціалу частинки використовують для контролю ефективності процесу коагуляції домішок хрому ( $Cr^{6+}$ ,  $Cr^{3+}$ ) при реагентному способі очищення стічних вод гальванічного виробництва.

#### Література

1. Мовчан С. И. Современные методы обработки и контроля качества сточных вод гальванических отделений промышленных пред-

приятый / С. И. Мовчан // Вода і водоочисні технології, 2007. – № 1. – С. 51 – 56.

2. Патент України № 50226 А. МПК<sup>7</sup> G 01 N 15 / 00. Спосіб вимірювання швидкості і ефективного діаметра частинки / М. В. Морозов, С. І. Мовчан. – Заявка № 2001118059. Заявл. 26. 11. 2001. Друк. 15. 10. 2002, Бюл. № 10.

3. Мовчан С. І. Визначення швидкості, ефективного діаметра і дзета – потенціалу частинок домішок методом лазерної доплерівської інтерферометрії / С. І. Мовчан, М. В. Морозов // Вісник УДУВГП. Рівне, 2002. – Ч. 6. – Вип. 5 (18). – С. 126 – 131.

4. Патент України на корисну модель № 34874 А. МПК<sup>7</sup> G 01 N 15 / 00. Спосіб вимірювання ефективного діаметру та концентрації частинок у розчині / М. В. Морозов, С. І. Мовчан – Заявка № 2008 03869. Заявл. 27. 03. 2008. Друк. 26. 08. 2008, Бюл. № 16.

5. Мовчан С. І. Технология контроля качества очистки сточных вод гальванического производства методом лазерной доплеровской интерферометрии / С. И. Мовчан, Н. В. Морозов // Науковий вісник будівництва. Вип. 47, Харків, ХДТУБА – ХОТБ, 2008. – С. 245 - 249.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЦ В ЛАЗЕРНОЙ ДОПЛЕРОВСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ**

М. В. Морозов, С. І. Мовчан

**Аннотация** – На основе полученных экспериментальных данных формы доплеровского сигнала с выхода лазерного интерферометра, разработана методика математического моделирования процесса измерения гидромеханических параметров частиц примесей в водных растворах с использованием компьютерной среды программирования Math Cad.

## **THE METHOD FOR THE MEASURING PROCESS OF THE HYDRAULIC AND MECHANICAL PARAMETERS OF PARTICLES IN LASER DOPPLER INTERFEROMETRY**

N. Morozov, S Movchan

### *Summary*

The method for the process of modelling for measuring, calculating and defining the hydraulic and mechanical parameters of water solution particles by using Math Cad on the basis of received experimental data of Doppler signal types is offered.

УДК 620.178.16.004

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ  
МАТЕРИАЛОВ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ В СРЕДЕ  
БИОТОПЛИВА ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ РАБОТЕ  
МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

Юдовинский В.Б., к.т.н.,

Журавель Д.П., к.т.н.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-13-54

***Аннотация*** - работа посвящена моделированию процесса изнашивания трибосопряжений в среде биотоплива и нефтяного дизельного топлива при периодической работе мобильной техники.

***Ключевые слова*** – объемный износ, интенсивность изнашивания, коэффициент износа, биотопливо, нефтяное дизельное топливо, прерывистый процесс изнашивания.

*Постановка проблемы.* Перевод мобильной техники на биотопливо, основанного на метанолах, которые реагируют со многими материалами, требует тщательного подхода к подбору материалов топливных и других систем двигателей мобильной техники.

В тоже время, увеличение производства биологических топлив, ставит необходимость изучения процессов изнашивания материалов в среде биотоплива. Вопросу изнашивания металлов в среде биотоплива посвящено много работ. Однако они все не учитывают простои в процессе изнашивания. Это те периоды, когда происходит химическое воздействие метанолов биотоплива на поверхностные слои металлов, предрасполагая поверхности к изнашиванию, создавая рыхлый поверхностный слой.

*Анализ последних исследований.* В работе [1] изучено влияние меркаптанов на противоизносные свойства топлив для двигателей и было установлено, что полное отсутствие меркаптанов в топливах, полученных гидроочисткой, ухудшает противоизносные свойства топлив и приводит к таким неприятным последствиям, как заедание плунжеров в топливных насосах.

Однако, наличие меркаптанов в топливе, приводит к образованию прочных окисных пленок, что приводит к повышению износостойкости материалов. Все предыдущие исследования изнашивания

металлов в среде биотоплива проводились до стабилизации процесса изнашивания при непрерывном процессе, не учитывая простои, то есть прерывистость процесса.

*Формулирование целей статьи.* Целью статьи является установление характеристик изнашивания в среде биотоплива и нефтяного дизельного топлива при прерывистом процессе изнашивания.

*Основная часть.* Испытание на износ различных материалов при прерывистом режиме проводились на машине трения, по схеме ролик- колодка. (Рис. 1).

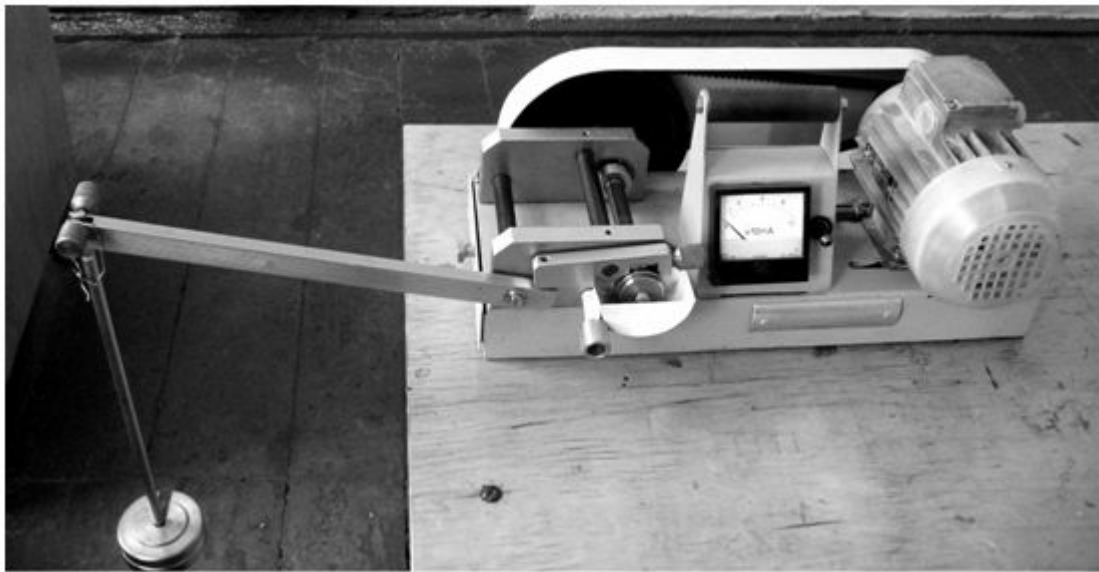


Рис.1. Машина трения.

Ролик был изготовлен из стали ШХ15 с твердостью поверхности 60-62 HRC. Испытаниям подвергались материалы: бронза Бр ОЦС 5-5-5, Сталь ШХ15, серый чугун СЧ20, Сталь 45 термически обработанная, алюминий А0.

Колодка – образец квадратного сечения нагружался силой  $P=613,5$  Н. Ролик – изготовленный из стали ШХ15 диаметром 30мм. Относительная скорость скольжения образцов  $V=71,25$  м/мин.

Силы трения в зоне контакта определялись по потребляемой мощности электродвигателя, с предварительной тарировкой микроамперметра.

Замеры износов и сил трения производились через каждые 70 м пути трения (1 минута). Замерялась ширина лунки образца (колодки), получаемая при износе колодки по ролику, с последующим перерасчетом на объем изношенного материала, интенсивность изнашивания и коэффициент износа.

Простои в процессе изнашивания составляли 48 и 168 часов.

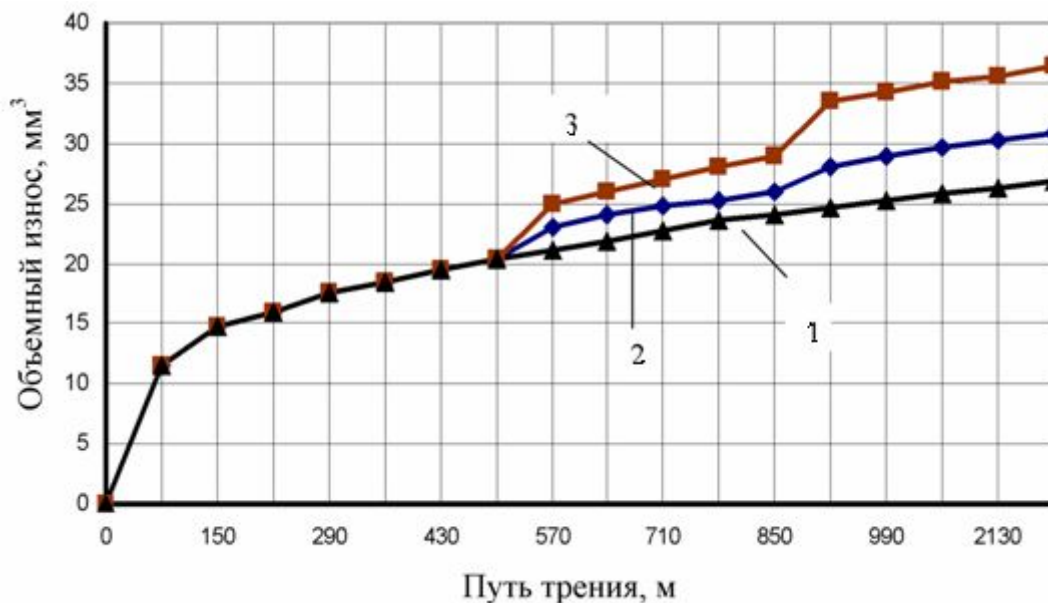


Первый простой был при пути трения 500м, второй – при 850 суммарного пути трения образцов.

Изменяя время простоя образцов в среде биотоплива получены зависимости объемного износа образцов из алюминия А0 при каждом простое в 48 часов и в 168 часов (рис.2).

Из этих зависимостей видно, что с увеличением времени простоя сопряжения, увеличивается итоговый износ металла. Хотя в процессе изнашивания скорость изнашивания остается не изменой. Это объясняется воздействием метанолов биотоплива на металлы в статическом состоянии.

При простоях 48 часов увеличение износа составляет 13%, а при простоях в 168 часов износ увеличивается на 26,6%.



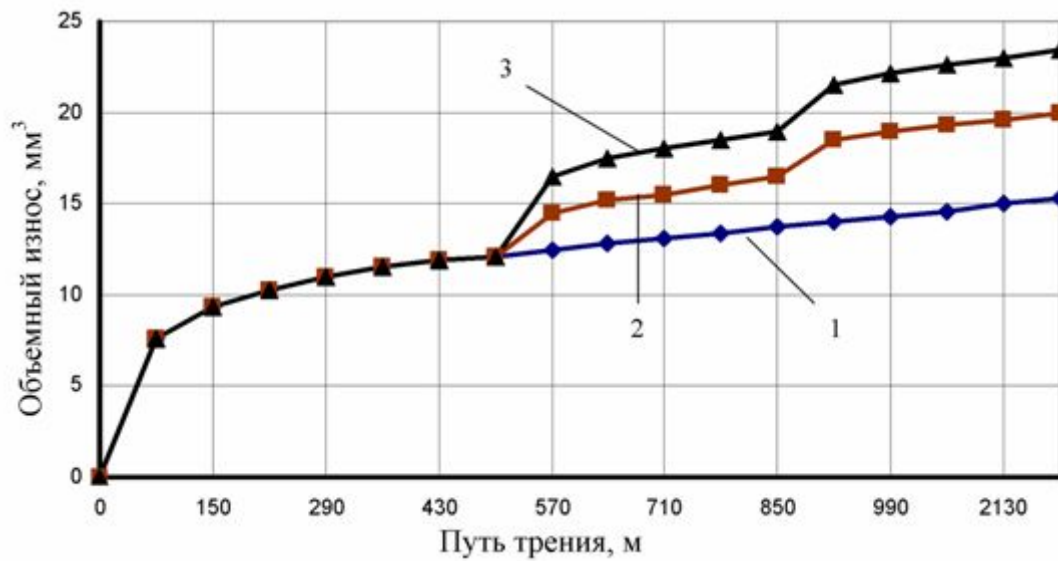


Рис.3. Износ бронзы Бр ОЦС 5-5-5 при непрерывной работе (1), с простоями до 48 часов (2) и с простоями до 168 часов (3).

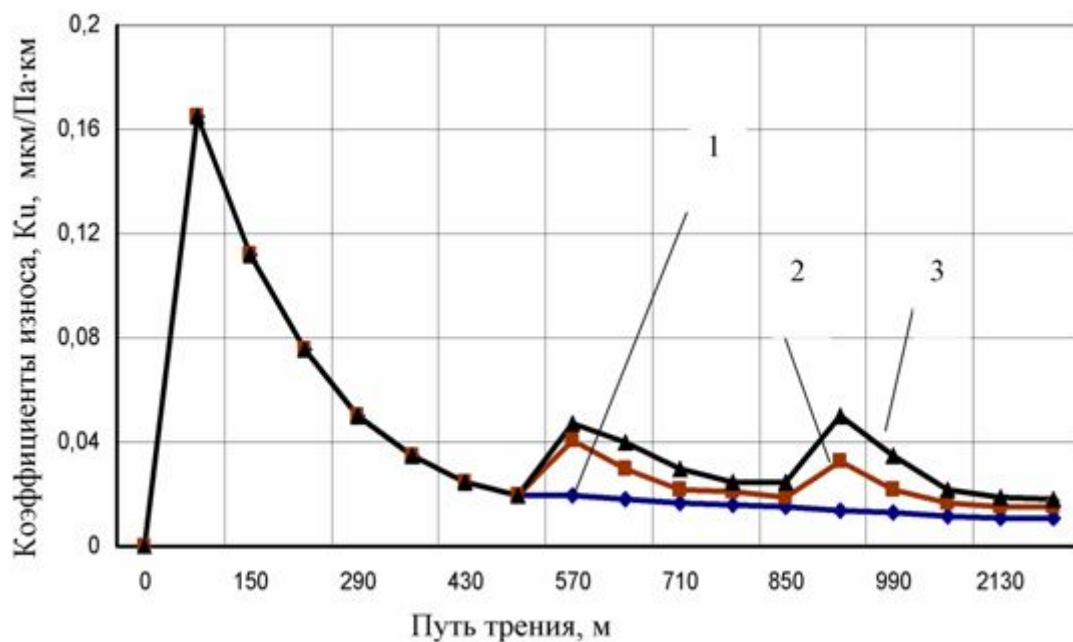


Рис.4. Коэффициенты износа бронзы Бр ОЦС 5-5-5 при непрерывной работе (1), с простоями до 48 часов (2) и с простоями до 168 часов (3).

После 500м пути трения стабилизируется значение коэффициента износа. Но простои увеличивают коэффициенты износа, что в итоге приводит к приращению интенсивности изнашивания.

Эмпирическая зависимость коэффициента износа от пути трения без остановок описывается уравнением

$$K_U = \frac{S}{(AS^2 + BS + C) \cdot 10^5} \quad (1)$$

Для изнашивания бронзы эта эмпирическая зависимость примет вид

$$K_U = \frac{S}{14 \cdot S^2 + 73,3 \cdot S - 15,6} \quad (2)$$

С остановками наблюдаются скачки, зависящие от времени простоя сопряжения, что в итоге приводит к повышению значений коэффициента износа от 36% до 54 % в зависимости от времени простоя сопряжения.

Металлографический анализ поведения поверхностей образцов показал, что при остановке процесса изнашивания происходит разрушение поверхностного слоя метанолом биотоплива.

Если в начальные периоды изнашивания видно только механическое воздействие на образец, то после остановки наблюдаются вырывы, вызванные воздействием метанола в статическом состоянии, что приводит к ускоренному износу (Рис.5).

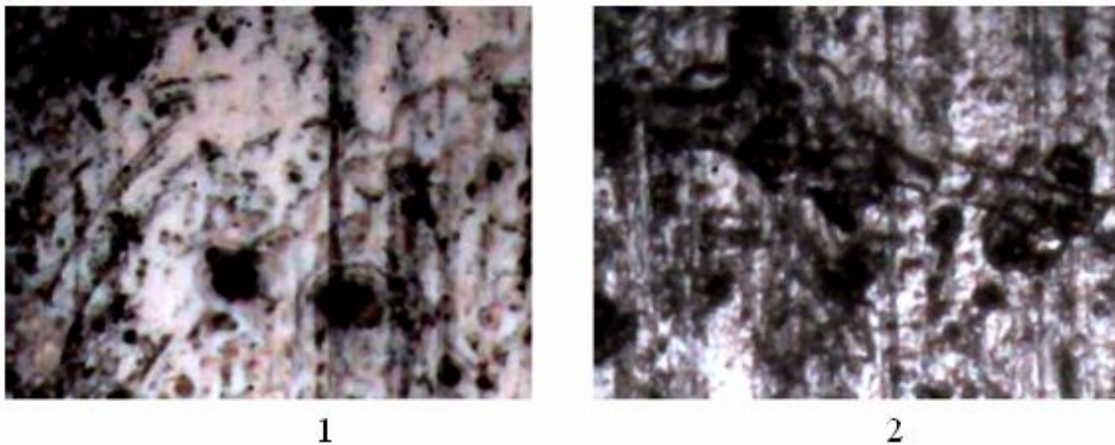


Рис.5. Поведение поверхности износа образцов 1 – без остановки, 2 – с остановкой на 168 часов.

Изменяя время остановок процесса изнашивания в среде нефтяного дизельного и биотоплива получены зависимости объемного износа образцов из стали ШХ15 без остановок и с остановками до 48 часов и до 168 часов. (Рис.6).

Как видно из рисунка 6, износ в среде дизельного топлива меньше, чем в среде нефтяного дизельного топлива почти на 30%. Однако, при наличии остановок в процессе изнашивания наблюдаются скачки износов после остановок, что объясняется большей чувствительностью хромистых сталей к метанолам биотоплива.

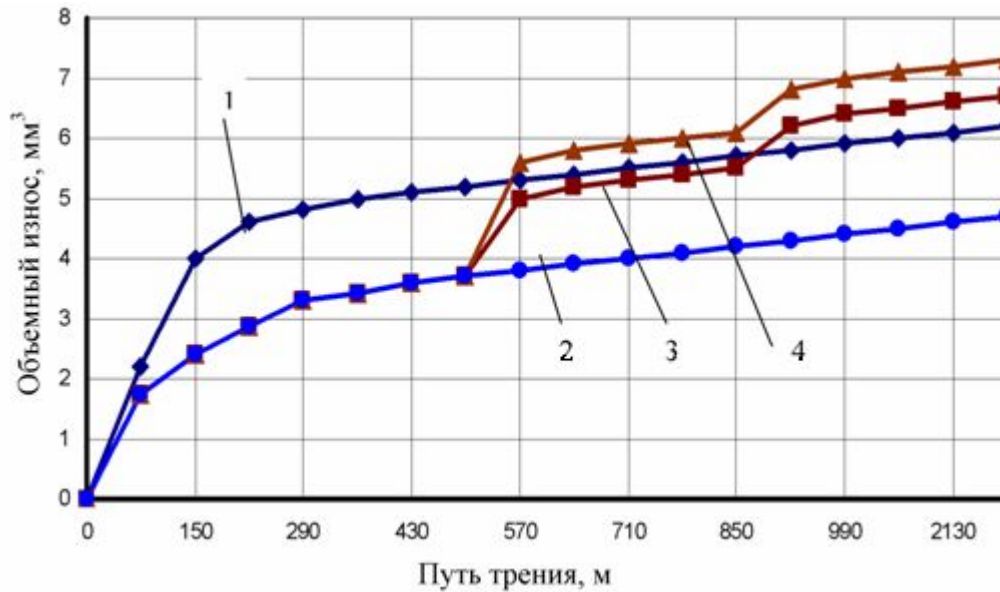


Рис.6. Изменение объемного износа стали ШХ15 в среде дизельного топлива -1, в среде биотоплива: без простоев -2, с остановками до 48 часов -3 и с остановками до 168 часов - 4.

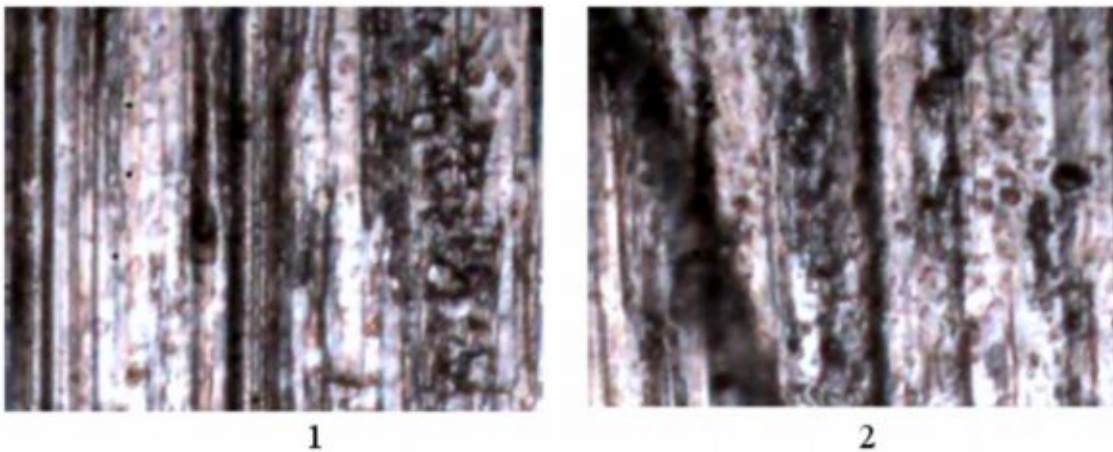


Рис.7. Микроструктуры поверхностей образцов из стали ШХ15 при непрерывном изнашивании в среде биотоплива -1 и после остановки до 168 часов - 2.

В результате изнашивания, даже при пути трения 1200м, износ образцов в среде биотоплива превосходит износы образцов в среде дизельного топлива на 9-14% в зависимости от времени простоя.

Металлографический анализ поведения поверхностей образцов из стали ШХ15 показал, что при остановке процесса изнашивания происходит разрушение поверхностного слоя метанолом биотоплива.

Если в начальные периоды изнашивания видно только механическое воздействие на образец, то после остановки наблюдаются разрушения, вызванные воздействием метанола в статическом состоянии, приводящего к водородному охрупчиванию, что приводит к ускоренному износу (рис.7).

В результате изменения времени остановок процесса изнашивания в среде нефтяного дизельного и биотоплива получены зависимости объемного износа образцов из чугуна СЧ20 без остановок и с остановками до 168 часов. (рис.8).

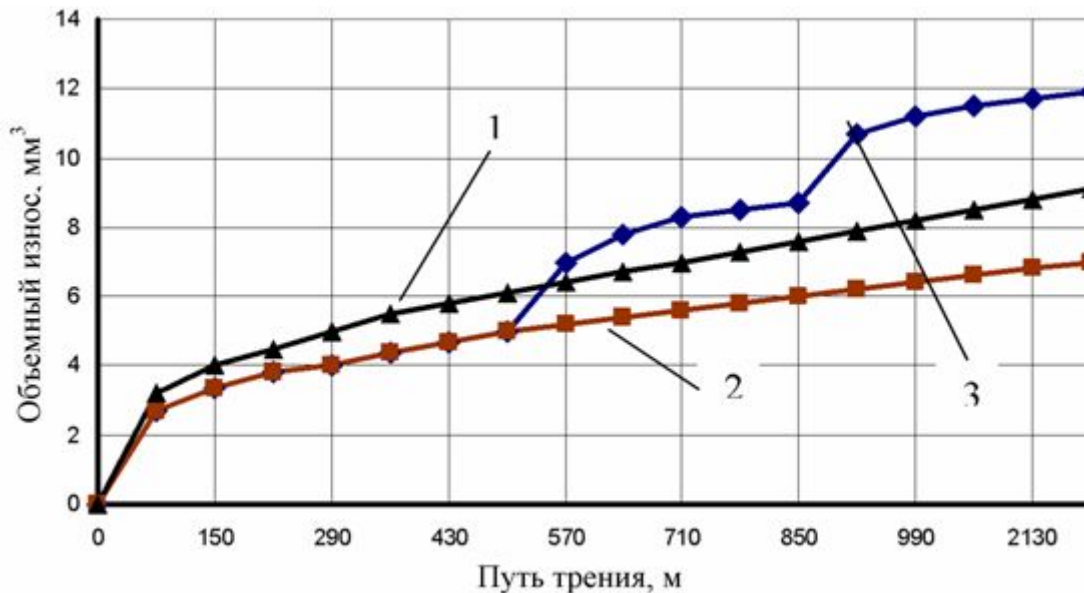


Рис.8. Изменение объемного износа чугуна СЧ20 в среде дизельного топлива -1, в среде биотоплива: без простоев -2, с остановками до 168 часов - 3.

Хотя износ в среде дизельного топлива выше, чем в среде биотоплива почти на 30%, то с учетом остановок в процессе изнашивания в среде биотоплива износ резко возрастает и превосходит износы в среде дизельного топлива. Это приращение износа зависит от времени простоя сопряжения в процессе изнашивания и увеличивается со временем простоев.

Металлографический анализ поведения поверхностей образцов из чугуна СЧ20 показал, что при остановке процесса изнашивания происходит разрушение поверхностного слоя метанолом биотоплива.

Если в начальные периоды изнашивания видно только механическое воздействие на образец, то после остановки наблюдаются разрушения, вызванные воздействием метанола в статическом состоянии, приводящего к водородному охрупчиванию, что приводит к ускоренному износу (рис9).

Аналогичные исследования были проведены и для ряда других металлов. Поведение всех металлов при изнашивании с простоями аналогично приведенным выше металлам, что подтверждает наличие влияния метанолов биотоплива на поведение поверхностных слоев при водородном охрупчивании.

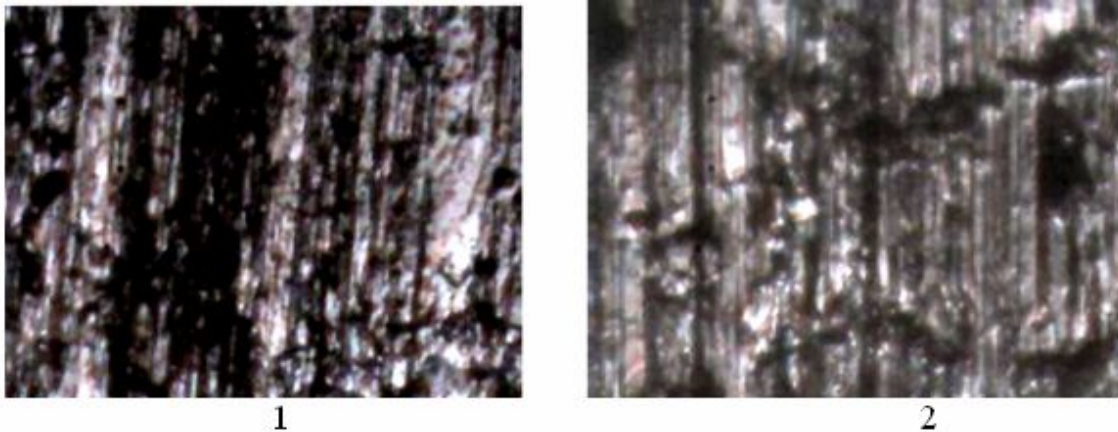


Рис.9. Микроструктуры поверхностей образцов из чугунаСЧ20 при непрерывном изнашивании в среде биотоплива -1 и после остановки до 168 часов - 2.

Объемный износ материалов в классическом варианте представляет собой сумму износов в период приработки, периода нормального изнашивания и периода аварийного износа:

$$U(t) = U_x + U_y + U_z \quad (3)$$

Логическая сумма интенсивности изнашивания по периодам изнашивания представляет собой первую производную износа по времени (скорость изменения функции).

$$\dot{U}(t) = \frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial U}{\partial t_x} \cup \frac{\partial U}{\partial t_y} \cup \frac{\partial U}{\partial t_z} \quad (4)$$

Вторая производная (ускорение изменения функции) имеет вид:

$$\ddot{U}(t) = \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 U}{\partial t_x^2} \cup \frac{\partial^2 U}{\partial t_y^2} \cup \frac{\partial^2 U}{\partial t_z^2} \quad (5)$$

Но так, как более полная характеристика процесса изнашивания выражается коэффициентом износа, а стабилизация процесса изнашивания характеризуется постоянством коэффициента износа, то представим логические суммы коэффициентов износа по периодам изнашивания.

Первая производная (скорость изменения функции)

$$\dot{K}_U(t) = \frac{\partial K_U}{\partial t} = \frac{\partial K_U}{\partial t_x} \cup \frac{\partial K_U}{\partial t_y} \cup \frac{\partial K_U}{\partial t_{xz}} \quad (6)$$

Вторая производная (ускорение изменения функции)

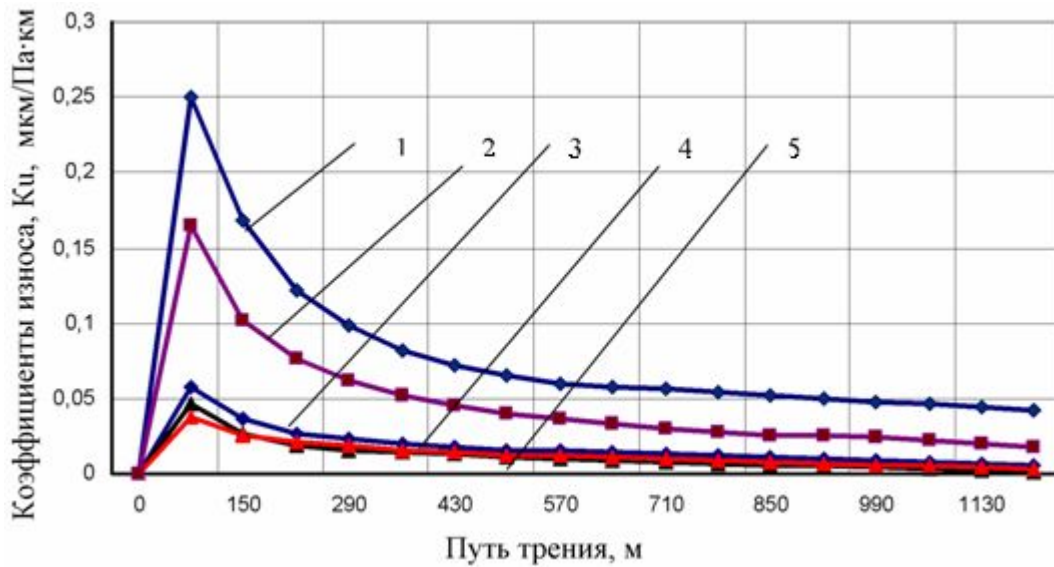


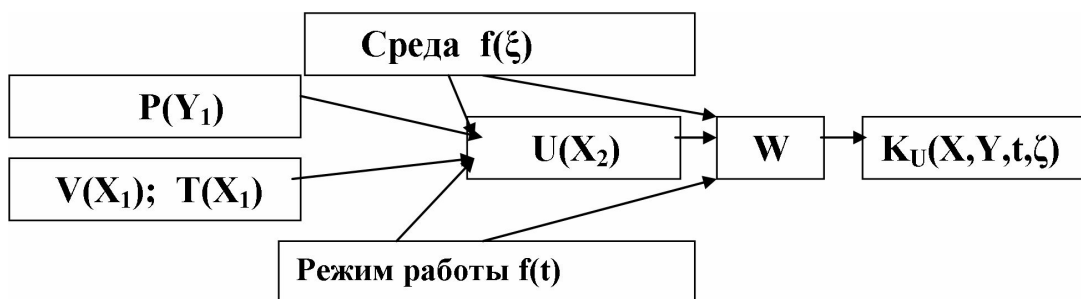
Рис. 10. Изменение коэффициента трения  $K_u$  в процессе изнашивания для различных материалов: 1- алюминий АО, 2- Бронза БР ОЦС5-5-5, 3- Чугун СЧ 20, 4- Сталь 45, 5- Сталь ШХ15.

Коеффициент изнашивания является функцией многих переменных – силовых, скоростных, конструктивных параметров среды и режимов изнашивания.

$$K_{U(x,y)} = \frac{U(x_2)}{V(x_1) \cdot T(x_1) \cdot P(y_1)} \quad (8)$$

Изменение коэффициента изнашивания различных материалов при изнашивании в среде биотоплива при непрерывном процессе изнашивания представлены на рис.10.

Но так как на процесс изнашивания в среде биотоплива влияют: среда  $f(\xi)$  и режимы изнашивания  $f(t)$ , рассмотрим математическую модель процесса изнашивания по коэффициенту изнашивания.



Применив метод математического моделирования, как для процессов, протекающих при большом многообразии внешних условий, процесс изнашивания можно выразить в виде математической модели через функцию коэффициента изнашивания с учетом преобразующей системы  $W$ . Входными параметрами являются: силовые  $P(Y_1)$ , скоростные

$V(X_1)$  характеристики, ресурс  $T(X_1)$ , а также среда  $f(\xi)$  и режим работы сопряжения  $f(t)$ .

Эта математическая модель характеризуется тем, что входные параметры – детерминированные, а система – со случайными параметрами. Поэтому выход модели должен быть случайным, а значит и функция коэффициента износа  $K_U(x, y)$  является случайной функцией, изменяющейся во времени.

Коэффициент износа является функцией многих переменных функций, влияющих на износ деталей сопряжения.

$$K_U(X, Y, t, \zeta) = \varphi[P(Y_1), V(X_1), T(X_1), f(\xi), f(t)]. \quad (9)$$

Особенностью этой модели является введение двух дополнительных функций – среды работы  $f(\xi)$  и режима работы сопряжения  $f(t)$ .

Среда работы учитывает условия изнашивания в среде биотоплива, насыщенной меркаптанами и их влияния на интенсивность изнашивания при водородном охрупчивании металлов.

Режим работы сопряжения учитывает величину простоев, в период которых происходит воздействие метанолов на контактирующие поверхности металлов, обеспечивая их статическое разрушение.

При всех равных условиях силовых и скоростных параметров процесса изнашивания, величина коэффициента износа будет зависеть от времени простоев сопряжений в агрессивных средах биотоплива.

$$K_U(x, y) = \frac{U(x_2)}{V(x_1) \cdot T(x_1) \cdot P(y_1)} \cdot f(\xi) \cdot f(t). \quad (10)$$

Простаивание сопряжений, описываемое функцией  $f(t)$ , приводит к статическому разложению поверхностных слоев металлов метанолами, что в итоге приводит к повторению приработки деталей сопряжения. Рассмотрим кривую износа в среде биотоплива с простаиванием в процессе изнашивания.

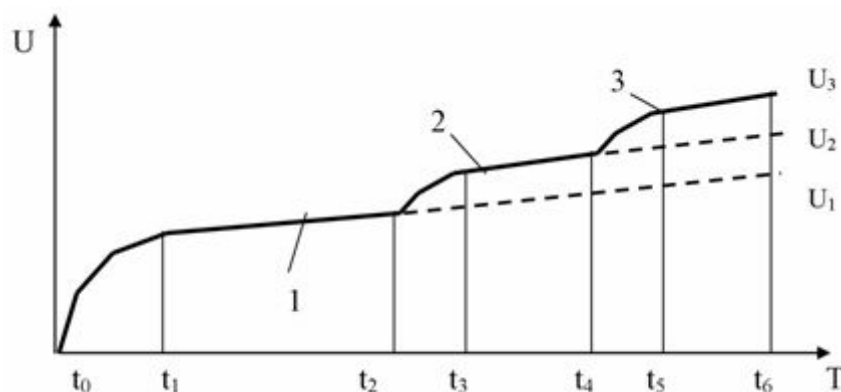


Рис.11. Износ образцов при непрерывной работе -1 и с остановками -2 и 3.



Периоды:  $t_1 - t_2, t_3 - t_4, t_5 - t_6$  – нормального изнашивания, периоды  $t_0 - t_1, t_2 - t_3, t_4 - t_5$  – ускоренного износа из-за статического разрушения поверхностных слоев металлов при воздействии метанолов биотоплива (периоды приработки).

$U_1$  - износ образца при непрерывном изнашивании,

$U_2, U_3$  - износ образца при прерывистом изнашивании с остановками при  $t_2$  и  $t_4$ .

Как видно из рисунка 11 суммарная величина износа образцов с простоями значительно превышает величину износа образцов при непрерывном изнашивании.

Суммарный износ образцов с учетом простоев можно записать

$$U_{\Sigma}(t) = U_1 + (U_2 - U_1) + (U_3 - U_2) + \dots + (U_i - U_{i-1}), \quad (11)$$

где  $i$  - количество простоев.

Моделируя процесс изнашивания с учетом простоев можно записать функциональную зависимость скорости изнашивания (интенсивность изнашивания) как логическую сумму всех периодов процесса.

$$\dot{U}(t) = \frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial U}{\partial t_x} \cup \frac{\partial U}{\partial t_y} \cup \frac{\partial U}{\partial t_{x_1}} \cup \frac{\partial U}{\partial t_{y_2}} \cup \frac{\partial U}{\partial t_{x_3}} \cup \frac{\partial U}{\partial t_{y_3}} \cup \frac{\partial U}{\partial t_{x_i}} \cup \frac{\partial U}{\partial t_{y_i}} \quad (12)$$

Или можно скорость изнашивания записать как логическую сумму, зависящую от простоев сопряжения в процессе изнашивания

$$\dot{U}(t) = \sum_0^i \frac{\partial U}{\partial t} = \sum_0^i \frac{\partial U}{\partial t_{x_i}} \cup \frac{\partial U}{\partial t_{y_i}} \quad (13)$$

где  $i$  – количество простоев в процессе изнашивания.

Изменение скорости изнашивания (ускорение процесса) запишется зависимостью

$$\ddot{U}(t) = \sum \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \sum \frac{\partial^2 U}{\partial t_{x_i}^2} \cup \frac{\partial^2 U}{\partial t_{y_i}^2} \quad (14)$$

Периоды:  $t_1 - t_2, t_3 - t_4, t_5 - t_6$  – нормального изнашивания,

периоды  $t_0 - t_1, t_2 - t_3, t_4 - t_5$  – приработки.

$K_{U1}$  - коэффициент износа материалов при непрерывном изнашивании,

$K_{U2}, K_{U3}$  - коэффициенты износа материалов при прерывистом изнашивании с остановками при  $t_2$  и  $t_4$ .

Величина скачка зависит от времени простоя.

Стабилизация процесса изнашивания характеризуется постоянством скорости изменения коэффициента износа материалов.

$$\frac{\partial K_U}{\partial t} = const \quad (15)$$

Скорость изменения коэффициента износа материалов можно представить как логическую сумму коэффициентов износа периодов приработки и нормального изнашивания.

$$\dot{K}_U(T) = \frac{\partial K_U}{\partial t} = \sum_0^i \frac{\partial K_U}{\partial t_{xi}} U \frac{\partial K_U}{\partial t_{yi}} = const \quad (16)$$

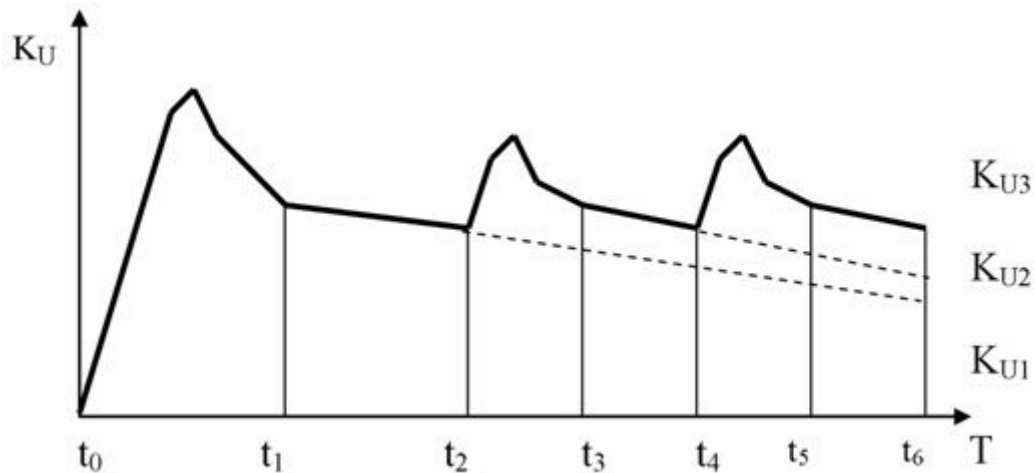


Рис.12. Изменение коэффициента износа материала в процессе изнашивания с простоями (с остановками).

Экспериментальная проверка изменения коэффициента износа различных материалов при изнашивании в среде биотоплива с остановками представлены на рис.13.

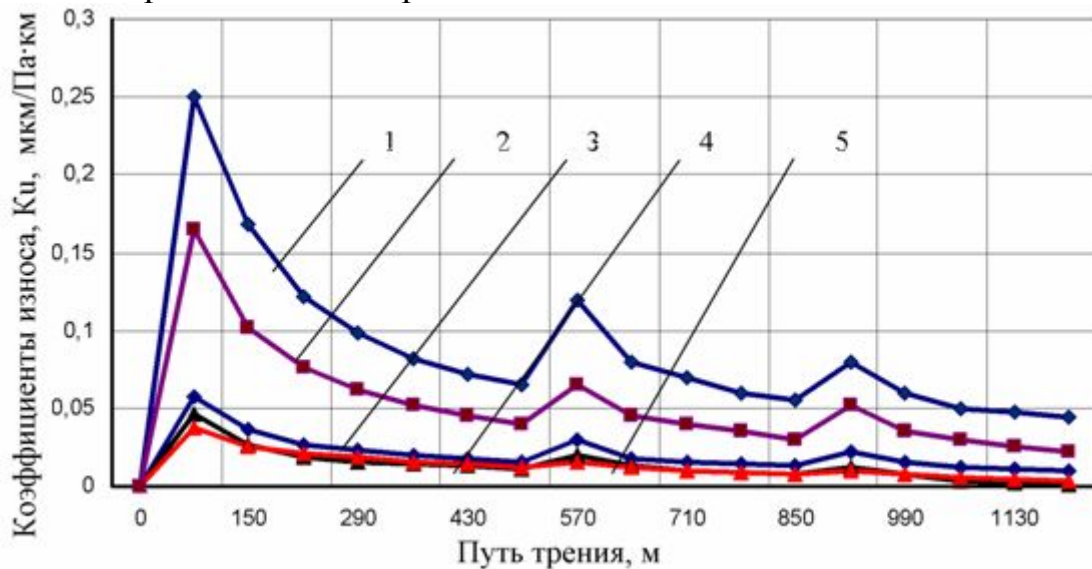


Рис.13. Изменение коэффициента трения  $K_u$  в процессе изнашивания с остановками для различных материалов: 1- алюминий АО, 2- Бронза БР ОЦС5-5-5, 3- чугу́н СЧ 20, 4- сталь 45, 5-сталь ШХ15.

Из рис.13 видно, что любая остановка в процессе изнашивания в среде биотоплива приводит к повышению коэффициентов износа.

Это в конечном итоге приводит к повышению интенсивности изнашивания деталей сопряжения, снижая ресурс работы сопряжения. Рост коэффициента износа зависит от количества и времени простоя сопряжения в период изнашивания.

#### *Выводы.*

1. Износ исследуемых материалов в среде биотоплива меньше, чем в среде нефтяного дизельного топлива при непрерывном процессе изнашивания.

2. Любая остановка процесса изнашивания (скорость относительного перемещения равна нулю) приводит к статическому износу металлов, связанных с водородным охрупчиванием, что в дальнейшем интенсифицирует процесс износа.

3. При изнашивании с остановками наблюдаются скачки, зависящие от времени простоя сопряжения, что в итоге приводит к повышению значений коэффициента износа от 36% до 54 % в зависимости от времени простоя сопряжения.

3. Величина износа в процессе изнашивания в среде биотоплива зависит от времени простоев сопряжения и частоты этих остановок. Особенно это сказывается на сталях содержащих 1-3% хрома, как катализатора водородного охрупчивания.

4. Принятый показатель износа – коэффициент изнашивания, более полно характеризует поведение материалов деталей сопряжения в процессе изнашивания с учетом скоростных, силовых, конструктивных параметров, а также среды изнашивания и режима работы сопряжения.

#### Литература

1. *Ковалев И.Т.* - Коэффициент износа материалов – показатель надежности сопряжений / *И.Т. Ковалев, В.Б. Юдовинский* // Надежность и контроль качества. – М.: 1974. - №2. - С. 31-38.

2. *Юдовинский В.Б.* -. Математическое прогнозирование ресурса сопряжений с-х техники /*В.Б. Юдовинский* // Материалы международной научно-практической конференции. – Киев.: Узд. УСХА, 1994.- С.52-60.

3. *Кардашевский С.В.* -. Применение математических методов при использовании сельскохозяйственных машин: Цифровые модели рабочих процессов / *С.В.Кардашевский С.В* // ЦНИИТИ.-Москва, 1991. – 42 с.

4. *Проников А.С.* -. Расчёт и конструирование металлорежущих станков/ *А.С.Проников* // Высшая школа.-Москва, 1977. — 238 с.

6. Журавель Д.П.- Моделювання хімотологічних та триботехнічних процесів в спряженнях тертя / Д.П. Журавель, В.Б. Юдовінський //Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2007. – Вип.7. Том 3. – С.30-38.

7. Дидур В.А.- Особенности эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники при использовании биодизельного топлива / В.А. Дидур, В.Т. Надыкто, Д.П. Журавель, В.Б.Юдовинський // Тракторы и сельхозмашины.- Москва, 2009. Вып 3.-С. 3-6

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ В СЕРЕДОВИЩІ БІОПАЛИВА ПРИ ПЕРІОДИЧНІЙ РОБОТІ МОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

В.Б. Юдовінський, Д.П. Журавель

*Анотація* - робота присвячена моделюванню процесу зношування трибо спряжень в середовищі біопалива і нафтового дизельного палива при періодичній роботі мобільної техніки.

## **A DESIGN OF PROCESS OF WEAR OF MATERIALS OF TRIBOSOPRYAZHENIY IS IN ENVIRONMENT OF BIOPROPELLANT DURING PERIODIC WORK OF MOBILE TECHNIQUE**

V. Yudovinskiy, D.Zhuravel

### *Summary*

Work is devoted the design of process wear of materials of tribosopryazheniy in the environment of biopropellant and нефтяного of fuel-oil during periodic work of mobile technique.

УДК 631.436

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНОСА ПРЕЦИЗИОННЫХ ПАР ТНВД РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ТИПА ДВИГАТЕЛЯ МТА

Вороновский И.Б., инж. \*

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел/факс: 8(0619)44-02-74, 8(0619)42-25-85

**Аннотация** – в работе рассматривается износ прецизионных пар ТНВД, его влияние на надежность топливной системы дизельного двигателя и эксплуатационные показатели машинно-тракторного агрегата (МТА) в зависимости от загрязненности дизельного топлива.

**Ключевые слова** – дизельное топливо, надежность, износ, топливная система, эксплуатационные показатели МТА.

*Постановка проблемы.* Работоспособность топливоподающей аппаратуры во многом определяет надежную работу дизеля и находится в прямой зависимости от состояния (изношенности) прецизионных деталей, основными из которых являются плунжерные пары топливного насоса. Существующие топливные фильтры автотракторных дизелей при их эксплуатации в запыленных условиях сельскохозяйственного производства пропускают в зазор прецизионных сопряжений абразивные частицы размером до 10 мкм. В частности ведущим видом изнашивания прецизионных деталей является абразивный. Наибольшее снижение ресурса абразивный износ вызывает в топливных насосах распределительного типа серии НД, вследствие большей цикличности работы плунжерной пары. Поэтому вопрос о снижении абразивного износа в насосах распределительного типа имеет большое значение.

*Анализ последних исследований* Ведущим видом изнашивания прецизионных деталей топливоподающей аппаратуры является абразивный, который в свою очередь можно разделить на износ абразивными частицами размер которых в каждый момент наработки меньше радиального зазора прецизионной пары, и износ в результате защемления абразивных частиц, размер которых несколько больше радиального зазора прецизионной пары [1, 2, 3].

Существующие работы Д.Ф. Гуревича, В.В. Антипова, М.М.

Хрущева, М.А. Бабичева посвященные теории износа плунжерных пар, далеко не полно раскрывают большое многообразие сложных и скоротечных процессов, которые происходят при износе деталей плунжерных пар. При этом принимаются различные условности, далекие от действительных условий работы плунжерной пары. Так, например, в работах Д.Ф. Гуревича принимается, что причиной основного износа являются абразивные частицы, величина которых меньше зазора между сопряженными деталями. Но реальная картина местных износов поверхностей плунжерных пар значительно отличается от результатов расчетов величины износа по данной теории.

*Формулирование целей статьи.* Целью статьи является теоретическое исследование процесса износа плунжерной пары топливного насоса, его влияние на надежности топливной системы дизельного двигателя и эксплуатационные характеристики работы МТА в зависимости от загрязненности дизельного топлива механическими примесями и водой.

*Основная часть.* Процесс эксплуатации сельскохозяйственной техники происходит в сложных условиях. В зависимости от условий эксплуатации МТА концентрация пыли в воздухе колеблется в широких пределах и в некоторых районах юга Украины достигает  $5 \text{ г/м}^3$ . Это отрицательно влияет на работоспособность систем двигателя, в том числе на работоспособность топливной аппаратуры. При работе МТА при запыленности воздуха  $1,1 \dots 2,5 \text{ г/м}^3$  содержание загрязняющих примесей в топливе к моменту его выработки в 2-3 раза больше, чем при заправке.

Установлено, что загрязнению топлива способствует и то, что во время работы МТА в объеме бака создается разрежение и туда подсасывается пыль. То есть, в топливных баках имеет место "большое дыхание" при расходе топлива во время работы дизеля и "малое дыхание" при температурных расширениях топлива. Вместе с тем, топливные фильтры тракторных дизелей не обеспечивают достаточной степени очистки топлива от механических примесей, которые затем проникают к прецизионным деталям топливной аппаратуры [4, 5].

В.В. Антипов [1] предложил объемный износ деталей плунжерных пар представить суммой:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 \quad (1)$$

где  $G$  - суммарный износ плунжера,  $\text{мм}^3$ ;

$G_1$  - износ за счет действия абразивных частиц с размерами, несколько меньшими величины зазора,  $\text{мм}^3$ ;

$G_2$  - износ за счет действия абразивных частиц, размер которых превышает зазор плунжерной пары,  $\text{мм}^3$ ;

$G_3$  - износ за счет действия гидроабразивного потока,  $\text{мм}^3$ .

Величина износа  $G_1$  при этом находится по теории предложен-

ной Д.Ф. Гуревичем [2], а величины  $G_2$  и  $G_3$  на основании данных экспериментальных исследований принимать:

$$G_2 = (0,2 \dots 0,85) * G_1, \quad G_3 = 0,05 * (G_1 + G_2). \quad (2)$$

Очевидно, что такое решение задачи довольно условно и не может полно оценить физический процесс изнашивания плунжерной пары частицами, размер которых больше зазора пары, т.е. износ  $G_2$ .

В результате своих исследований В.В. Антипов [1] предложил величину износа  $G_2$  вызываемого абразивными частицами, размер которых больше величины зазора плунжерной пары считать приблизительно равной:

$$G_2 = (0,2 \dots 0,35) * G_1, \text{ при зазоре плунжерной пары } 0,6 \text{ мкм} \leq l \leq 2 \text{ мкм};$$

$G_2 = (0,4 \dots 0,87) * G_1$ , при зазоре плунжерной пары  $2 \text{ мкм} \leq l \leq 6 \text{ мкм}$ , где  $G_1$  - износ, вызываемый абразивными частицами, размер которых в каждый период наработки меньше зазора плунжерной пары.

Такое определение величины износа абразивными частицами, размер которых больше зазора плунжерной пары нами считается весьма условным, в силу следующих причин:

- не учитываются параметры факторов вызывающих износ;
- не учитываются параметры плунжерной пары и свойства ее материала;
- зависимость  $G_2$  от  $G_1$  можно считать прямо пропорциональной только в малом диапазоне изменения величины зазора плунжерной пары  $l$ , а также зернистости абразива  $d_{аб}$ ;
- значение коэффициента пропорциональности находится в широком пределе, от 0,2 до 0,87 и может быть определено только для каких-то строго определенных параметров абразива и плунжерной пары путем трудоемких износных испытаний с последующей обработкой результатов;
- кроме этого, ошибочный расчет  $G_1$  ведет к ошибке в расчете  $G_2$ .

Для определения величины износа  $G_2$  воспользуемся работами [1, 5, 6, 7], в которых предлагается расчет износа частицами абразива, размер которых больше зазора плунжерной пары определять при заземлении их в изменяющемся зазоре пары при так называемом «дыхании» втулки, т.е. при изменении зазора в плунжерной паре вследствие упругих деформаций втулки под действием давления в надплунжерной полости.

Методика этих расчетов, несмотря на некоторые условности, имеет четкий физический смысл и при расчете износа учитывает основные параметры, как абразивного материала, так и плунжерной пары.

Нами пропонується в дану методику розрахунку величини износа абразивом, розмір частинок якого в кожен період износа більше величини зазору плунжерної пари внести суттєве доповнення, а саме, розраховувати защемлення абразивних частинок не тільки в результаті тимчасового збільшення зазора втулки внаслідок її деформацій (рис. 1, а), але й приймати во увагу защемлення абразивних частинок в зазорі в зоні впускного вікна (рис. 1, б).

Аналіз круглограм [1, 6, 7] поверхностей изношених прецизійних деталей показав, що знос має локальний характер, основні зони износа розташовані в районі впускних вікон, причому впадини у плунжера мають збільшувальну глибину по напрямку до верхньої торцевої поверхні (с неизношеною поверхнею утворюють кут  $\gamma_{пл}$  на рис. 1, б), а відповідні впадини у гільзи в цьому напрямку мають зменшувальну глибину (с неизношеною поверхнею утворюють кут  $\gamma_{вт}$  на рис. 1, б). Величина износа у отсечного вікна в декілька раз менше, але характер зміни величини зазора аналогічний, впадини плунжера у отсечного вікна мають збільшувальну глибину по напрямку до отсечної кромки, а відповідні впадини у дозатора, в цьому напрямку мають зменшувальну глибину.

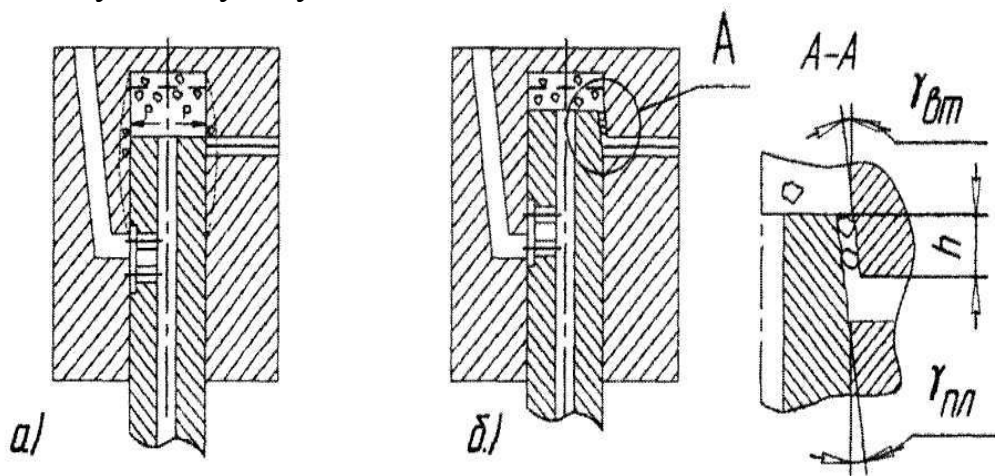


Рис. 1. Схеми защемлення в зазорах плунжерної пари абразивних частинок, розмір яких в кожен період наробки більше зазора пари.

О нерівномірності износа по осевому напрямку плунжера і втулки свідчать отримані результати вимірювання гідроїтності плунжерних пар серії НД при осевому переміщенні плунжера відносно втулки.

Така закономірність износа пояснюється прямо пропорційною залежністю величини износа  $G_I$  від величини утечек  $Q_{ум}$ , яка, в свою чергу, обернено пропорційна довжині ущільнювальної поверхні  $L$ . Таким чином, при нагнетательному ході плун-



жера длина уплотняющей поверхности  $L$  в районе впускных окон увеличивается, это ведет к уменьшению объёма утечек во впускные окна  $Q_{ут}$ , в результате чего износ  $G_I$  плунжерной пары абразивными частицами, размер которых меньше зазора плунжерной пары уменьшается (рис 1, б).

В районе отсечных окон, наоборот, при нагнетательном ходе плунжера длина уплотняющей поверхности уменьшается, это ведет к увеличению объёма утечек и как следствие увеличению износа.

Такой характер износа приводит к тому, что по мере нагнетания топлива плунжером в районе впускного окна происходит уменьшение зазора, у отсечного окна наоборот, происходит увеличение зазора от минимальной до максимальной величины к моменту отсечки подачи. Эти изменения зазоров в зависимости от перемещения плунжера описываются уравнениями:

$$I_{вн} = I_{вн.max} - h * \sin \gamma_{вн} \quad (3)$$

$$I_{омс} = I_{омс.max} + h * \sin \gamma_{омс} \quad (4)$$

где  $I_{вн}$ ,  $I_{омс}$  - зазоры соответственно в зонах впускного и отсечного окон, мкм;

$\gamma_{вн}$ ,  $\gamma_{омс}$  - углы наклона изношенных поверхностей к неизношенным в тех же зонах;

$I_{вн.max}$  - максимальное значение зазора в зоне впускного окна, мкм;

$I_{омс.min}$  - минимальное значение зазора в зоне отсечного окна, мкм;

$h$  - величина перемещения плунжера от геометрического начала подачи.

Ввиду незначительной величины углов  $\gamma_{вн}$ ,  $\gamma_{омс}$  длину уплотняющей поверхности  $L$  (рис. 1) можно приравнять к величине перемещения плунжера  $h$ .

Из формул (3) и (4) следует, что после перекрытия впускных окон гильзы верхним торцом плунжера при его нагнетательном ходе в зоне впускных окон происходит уменьшение зазора, ведущее к защемлению абразивных частиц попавших в уменьшающийся зазор вместе с топливом утечек. В районе отсечных окон, вследствие увеличения зазора, защемления абразивных частиц не происходит, износ вызывают только частицы, проходящие с потоком утечки, т.е. частицы, размер которых меньше зазора пары в этом месте.

В отличие от втулок плунжерных пар насосов рядного типа (где по данным исследований увеличение зазора достигает 3 мкм), деформации втулок плунжерных пар насосов распределительного типа вследствие большей толщины их стенок значительно меньше и не превышает 1 мкм [7].

Объём одной абразивной частицы, участвующей в износе при защемлении, а также их количество в  $1 \text{ м}^3$  находятся с той лишь разницей, что теперь в износе при защемлении участвуют абразивные

частицы другой размерной группы абразива, средний диаметр которых принимается большим на 20% зазора в плунжерной паре.

Зная средний размер абразивных частиц, определяется глубина внедрения частицы, соответствующая моменту ее дробления:

$$h_{др} = (\sigma_{пр.кв} * R_{абр.ср}) / 2 HRC \quad (5)$$

где  $\sigma_{пр.кв}$  - предел прочности кварцевого абразива, критическое напряжение при котором абразивная частица разрушается  $\sigma_{пр.кв} = 206$  МПа [1];

$R_{абр.ср}$  - средняя величина радиуса абразивных частиц, мкм, участвующих в износе,  $R_{абр.ср} = (1,2 * l) / 2$ , где  $l$  - зазор плунжерной пары, мкм;

$HRC$  - твердость металла, для стали ШХ-15  $HRC = 60...62$ .

Общий объем металла  $V_{деф}$ , подвергающийся пластическому и упругому деформированию, рассчитаем из геометрии усеченного конуса, образуемого в результате трения [6, 7]:

$$V_{деф} = 1/3 * F_{деф} * L_{тр} \quad (6)$$

где  $F_{деф}$  - площадь основания усеченного конуса, соответствующего моменту дробления частицы, мкм<sup>2</sup>;

$L_{тр}$  - путь трения абразивной частицы до начала ее дробления, мкм.

Площадь основания усеченного конуса  $F$  находится по формуле (рис 2):

$$F_{деф} = d_{абр}^2 / 8 * (\pi * \beta_{др} - \sin \beta_{др}) \quad (7)$$

где  $d_{абр}$  - диаметр абразивной частицы, мкм;

$\beta_{др}$  - угол сегмента сферы внедрения абразива, соответствующий моменту дробления, определяется по формуле:

$$\beta_{др} = 2 * a * \cos * (R_{аб} - h_{др}) / R_{аб} \quad (8)$$

где  $R_{аб}$  - радиус абразивной частицы, мкм;

$a$  - длина хорды, определяемая глубиной внедрения и радиусом абразивной частицы (рис. 2), мкм.

$h_{др}$  - глубина внедрения, соответствующая моменту дробления, мкм.

Путь трения  $L_{тр}$  абразивной частицы до момента ее разрушения, с учетом того, что разрушение происходит при внедрении частицы на глубину  $h_{др}$  как в тело плунжера, так и втулки, определяется по следующей формуле:

$$L_{тр} = h_{др} / \sin \gamma \quad (9)$$

где  $\gamma$  - средний угол наклона изношенных поверхностей к неизношенным, на рис. 1  $\gamma = (\gamma_{вт} + \gamma_{пл}) / 2$ . Для новой плунжерной пары угол  $\gamma = 0$ . В процессе работы, в результате износа  $G_1$  угол наклона изношенных поверхностей увеличивается пропорционально увеличению среднего зазора:

$$\sin \gamma = (l - l_0) / L_{max} \quad (10)$$

где  $l, l_0$  – текущий и начальный зазор пары на данном участке, мкм;

$L_{max}$  – максимальная длина участка износа  $G_1$ . Так как данный вид износа пропорционален разнице давлений, определяющих утечки, то длина участка износа  $G_1$  равна величине активного хода плунжера  $h_{пл.а}$ .

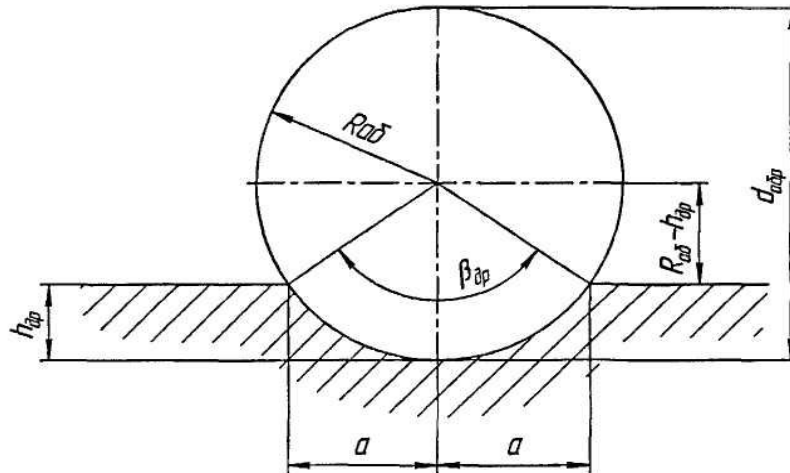


Рис. 2. Схема внедрения абразивной частицы в поверхность плунжера (втулки) при защемлении в зазоре.

Из-за незначительности износа за счет упругой деформации объём металла, подвергающийся упругой деформации необходимо исключить из расчета. Тогда объём металла, подвергающегося вызывающей износ пластической деформации, будет равен:

$$V_{пл} = V_{деф} \cdot V_{упр} \quad (11)$$

Площадь сечения  $F_{упр}$ , соответствующую переходу от упругой деформации к пластической, определяется аналогично расчету  $F_{деф}$ , с помощью формул (7) и (8), допуская, что переход происходит при внедрении частицы  $h_{упр} = 0,001 \cdot R_{абр}$ . Тогда,  $V_{упр}$  определяется аналогично определению  $V_{деф}$  по формуле (5) подстановкой вместо значения  $F_{деф}$  значение  $F_{упр}$ .

В случае идентичности по свойствам поверхностей втулки и плунжера абразивная частица внедряется в обеих поверхностях на величину  $h_{др}$  (рис 2) и износ при дроблении абразивной частицы равняется внедренному объёму, определяемому из геометрии шарового сегмента по следующему выражению:

$$V_{др} = 1/6 \cdot \pi \cdot h_{др} \cdot (3 \cdot (2 \cdot a)^2 + h_{др}^2) \quad (12)$$

где  $V_{др}$  – внедренный объём при дроблении, мкм<sup>3</sup>;

$a$  – длина хорды, определяемая глубиной внедрения и радиусом абразивной частицы (рис. 2), мкм.

Определив по формуле (11) объём металла  $V_{пл}$ , подвергающегося только пластической деформации, и по формуле (12) объём металла  $V_{др}$ , удаляемого с поверхности при дроблении, определяется износ

плунжерной пары  $G_2$  за один час работы по формуле:

$$G_2 = (V_{др} + V_{пл}/N_p) \cdot n_{абр} \cdot N \quad (13)$$

где  $n_{абр}$  – количество абразивных частиц попавших в зазор, шт;

$N$  – количество подач топлива плунжером за один час работы насоса:

$$N = 60 \text{ мин} \cdot 1100 \text{ мин}^{-1} \cdot 6 = 3,96 \cdot 10^5$$

$N_p$  – число циклов, приводящих к разрушению материала при пластических деформациях [6, 7]:

$$N_p = t \varepsilon_0 \quad (14)$$

где  $t$  – коэффициент усталости при пластических деформациях;

$\varepsilon_0$  – относительное удлинение материала при разрыве.

Для стали ШХ-15 по данным [10]  $\varepsilon_0 = 21 \%$ ,  $t = 1,3$ . Тогда  $N_p = 52$ .

Количество абразивных частиц попавших в зазор, определяется из выражения:

$$n_{абр} = K_a \cdot V_3 \quad (15)$$

где  $K_a$  – концентрация частиц данной размерной группы в  $1 \text{ м}^3$  топлива, шт/ $\text{м}^3$ ;

$V_3$  – объем зазора между втулкой и плунжером, соответствующий участку износа, т.е. углу дуги  $a_{вп}$ , на которой расположены впускные окна, определяется по формуле:

$$V_3 = a_{вп}/2 \cdot (R_{вт}^2 - R_{пл}^2) \cdot L_{пл} \quad (16)$$

где  $R_{вт}$  и  $R_{пл}$  – радиусы втулки и плунжера с учетом величины износа, мм;  $L_{пл}$  – длина уплотняющей поверхности, мм.

Таким образом, расчет величины износа в районе впускных отверстий определяется суммой износа  $G_1$  под действием абразивных частиц, величина которых меньше зазора плунжерной пары и износа  $G_2$  абразивными частицами, защемляемыми в зазоре, размер которых больше величины зазора (определяемого по формуле 13). Причем расчет величин обоих видов износа ведется совместно на каждом шаге расчета, так как увеличивающийся в результате этого зазор пары влияет как на  $G_1$ , так и на  $G_2$ .

О характере зон износа можно также судить по полученным результатам оценки гидроплотности плунжерной пары в зависимости от положения плунжера относительно втулки. В качестве измерителя гидроплотности плунжерной пары использовалось время падения давления в надплунжерной полости от 20 до 5 МПа. На графике (рис. 3)

показана зависимость величин утечек во впускные и отсечные окна от положения плунжера.

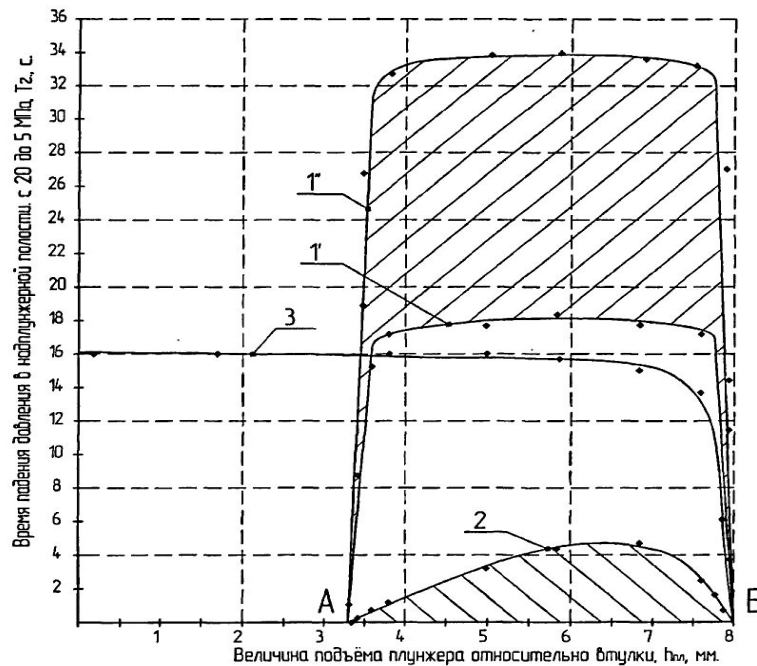


Рис. 3. Зависимость времени падения давления в надплунжерном пространстве (гидроплотности) от положения плунжера во втулке. 1" - новая плунжерная пара с высокой гидравлической плотностью; 1' - новая плунжерная пара с низкой гидравлической плотностью; 2 - плунжерная пара, изношенная до аварийного состояния, 3 - плунжерная пара, изношенная до аварийного состояния, но с заглушёнными впускными отверстиями. Точка А - момент перекрытия впускных отверстий втулки, Б - открытие отсечных отверстий плунжера.

Очевидно, что одним из путей повышения надежности работы МТА, а вследствие и коэффициента его готовности, как комплексного показателя, может быть увеличение срока службы фильтров и повышение ресурса прецизионных пар ТНВД, за счет обеспечения требуемой чистоты дизельного топлива, используя фильтры-водоотделители дизельного топлива при заправке его в баки мобильной сельскохозяйственной техники и в системе питания дизеля.

*Выводы.* Таким образом, используя полученные зависимости можно достоверно оценить степень влияния загрязнённости дизельного топлива на надёжность топливной системы дизельного двигателя. Основной зоной износа плунжерных пар насосов, определяющей их надежность, ресурс и работоспособность - является износ гильзы и плунжера в зоне дополнительных отверстий. Применение фильтра-водоотделителя при заправке топлива и в системе питания двигателя МТА позволяет увеличить ресурс работы фильтров тонкой и грубой очистки практически в два раза, а ресурс работы ТНВД в 2,5 раза. При этом коэффициент готовности топливной системы двигателя МТА по-

вышается с 0,79 до 0,85, что составляет 7,6 %.

#### Литература

1. *Антипов В.В.* Износ прецизионных деталей и нарушение характеристики топливной аппаратуры дизелей / *В.В. Антипов.* -2-е изд. –М.: Машиностроение, 1992..-Т.1.-816 с.
2. *Гуревич Д.Ф.* Основы теории износа плунжерных пар / *Д.Ф. Гуревич* // Автомобильная промышленность.-1968. –№ 2. с. 20-24.
3. *Тишпулатов М.М.* Обеспечение работоспособности топливоподающей аппаратуры дизелей / *М.М. Тишпулатов.* –Ташкент:Фан, 1990. -128 с.
4. *Григорьев М.А.* Обеспечение надежности двигателей /*М.А. Григорьев, В.А. Донецкий.* –М.: Стандарты, 1978. -324 с.
5. *Григорьев М.А.* Очистка масла и топлива в автотракторных двигателях /*М.А. Григорьев.* –М.: Машиностроение, 1970. -270 с.
6. Надежность топливной аппаратуры тракторных и комбайновых дизелей / *Р.М. Баширов и др..* –М: Машиностроение, 1978. -184 с.
7. *Файнлейб Б.Н.* Топливная аппаратура автотракторных дизелей: справочник. –Л.:Машиностроение, 1990. -352 с.
8. Деклараційний патент України. Фільтр-водовіддільник /*В.М. Кюрчев., І.Б. Вороновський* .-№ 66522. Опубл. 17.05.04., Бюл. № 5.
9. Деклараційний патент України. Фільтр-водовіддільник / *І.Б. Вороновський, Б.І. Вороновський.*- № 5544. Опубл. 15.03.05 р., Бюл. № 3.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗНОСУ ПРЕЦІЗІЙНИХ ПАР ПНВТ РОЗПОДІЛЬЧОГО ТИПУ ДВИГУНА МТА

І.Б. Вороновський

**Анотація** – в роботі розглядається знос прецизійних пар ПНВТ, його вплив на надійність паливної системи дизельного двигуна та експлуатаційні показники машинно-тракторного агрегату (МТА) в залежності від забрудненості дизельного палива.

## MODELING OF PROCESS OF ETTERIORATION PLUNDERS OF PAIRS PUMP OF A DISTRIBUTIVE TYPE OF THE ENGINE MTA

I. Voronovsky

### Summary

**In job is considered(examined) of deterioration прецизионных пар плунжерных пар his(its) influence on reliability of fuel system of the diesel engine and operational parameters of the machine-tractor aggregates (МТА) depending on pollution of diesel fuel.**

УДК 519.254.255

## МОДЕЛІ РЕГРЕСІЇ ОЧОСУЮЧОГО МОДУЛЮ ДЛЯ ЗБИРАННЯ РИЦИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Головін С.В., інж.\*

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-14-38

**Анотація** – Робота присвячена побудові математичної моделі у вигляді рівняння регресії та статистичному аналізу отриманої моделі.

**Ключові слова** – моделювання, рівняння регресії, очошуючий модуль, рицина, пружні робочі елементи.

*Постановка проблеми.* Рицина – цінна технічна культура. Але, на сьогоднішній день виробництво даної культури стримується внаслідок відсутності технічних засобів її збирання. Рішенням даної проблеми може бути розробка навісного очошуючого модулю та технологічного обладнання для доробки очосаного вороху.

*Аналіз публікацій.* Розробкою технічних засобів збирання рицини займалися Черепухін В.Д. [1], Рой О.А. [2], Квач В.Г. [3] та інші. Але, дані дослідження присвячені, головним чином, комбайновій технології збирання рицини. Дослідження засобів для роздільного збирання рицини приведені в роботах [4, 5]. Будова робочого органу для очоса рицини приведена в [6].

*Постановка завдання.* З метою обґрунтування параметрів і режимів роботи очошуючого модулю потрібно вирішити наступні задачі:

- провести дослідження технологічного процесу збирального модулю в польових умовах;
- на основі отриманих результатів розробити математичну модель у вигляді рівняння регресії;
- провести статистичний аналіз отриманої моделі.

*Основний матеріал.*

В збиральний сезон 2009 року на полях ДП СП «Лазурне» Мелітопольського району Запорізької області були проведені польові випробування навісного очошуючого органу з пружними елементами для збирання рицини [4, 5]. Вивчення процесів збирання рицини у сполученні з кібернетичними методами досліджень (моделювання)

являє собою основу системного підходу до вирішення поставленого завдання.

Метод системного аналізу досліджуваних процесів включає оптимальне планування експерименту, розробку математичної моделі з метою інтенсифікації процесу збирання рицини, шляхом вибору раціональних умов його протікання.

Для побудови математичної моделі був використаний некомпозиційний, ротатабельний трьохрівневий план Боксу-Бенкіна [7, 8]. Відмінною рисою цих планів є те, що у всіх рядках плану деякі фактори перебувають на нульових рівнях [9, 10].

Математична модель досліджуваного процесу має вигляд [11, 12]:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < \ell \leq k} b_{i\ell} x_i x_\ell + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (1)$$

де  $y$  - вибіркова оцінка функції відгуку;

$b_0, b_i, b_{i\ell}, b_{ii}$  - коефіцієнти регресії, які є оцінками теоретичних коефіцієнтів;

$x_1, \dots$  - незалежні змінні (фактори).

В результаті проведених попередніх досліджень були виявлені основні фактори, що впливають на процес збирання рицини - частота обертання очосуючого барабану, глибина занурення барабану в масу, зазор між очосуючими пальцями, довжина очосуючих пальців і швидкість руху очосуючого агрегату.

Таким чином, у загальному вигляді математична модель збирання рицини може бути представлена у вигляді:

$$\begin{aligned} y = & b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + \\ & + b_{14} x_1 x_4 + b_{15} x_1 x_5 + b_{23} x_2 x_3 + b_{24} x_2 x_4 + b_{25} x_2 x_5 + b_{34} x_3 x_4 + \\ & + b_{35} x_3 x_5 + b_{45} x_4 x_5 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{44} x_4^2 + b_{55} x_5^2 \end{aligned} \quad (2)$$

де  $x_1$  - частота обертання очосуючого барабана,  $n$ ,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$x_2$  - глибина занурення барабану в масу,  $H$ ,  $\text{м}$ ;

$x_3$  - зазор між очосуючими пальцями,  $a$ ,  $\text{м}$ ;

$x_4$  - довжина очосуючих пальців,  $\ell$ ,  $\text{м}$ ;

$x_5$  - швидкість руху очосуючого агрегату,  $v$ ,  $\text{м/с}$ .

Планування експерименту виконувалося на п'яти рівнях (табл.1).

Для проведення експерименту була складена матриця планування експерименту (табл. 2), у якій нижній рівень позначений знаком (-), верхній - знаком (+), основний рівень - (0). Досліди проводилися в п'ятикратній повторності. Для виключення неоднорідностей дискретного й безперервного типів, досліди рандомізувалися.





Формули для підрахунку коефіцієнтів регресії для планів Бокса-Бенкіна, мають вигляд [7]:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= \sum \bar{y}_0; \\ b_i &= A\{iy\}; \\ b_{ii} &= B\{iyy\} + C_1 \sum \{jy\} + C_2 \sum \{\ell y\} - \frac{\bar{y}_0}{\rho}; \\ b_{ij} &= D_1\{ijy\}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де  $\bar{y}_0$  - середнє значення відгуку в нульових точках;

$$\sum_j^{n_1} \text{ и } \sum_\ell^{n_2} - \text{сума для стовпців плану відповідних елементів } j,$$

$\ell$ , первинно і повторно пов'язаних с і-тим елементом в схемі побудови плану;

$A_1, B_1, C_1, C_2, D_1$  - числову константи (їх значення приведені в табл.3) [13].

Рандомізація проведення дослідів забезпечує рівномірне внесення елемента випадковості впливу некерованих і неконтрольованих факторів на відгук. При рандомізації були використані таблиці випадкових чисел.

Таблиця 3 - Числові константи трьохрівневих планів Бокса-Бенкіна.

Число факторів, k	A	B	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	ρ
3	1/8	1/4	-1/16	0	1/4	0	2
4	1/12	1/8	-1/48	0	1/4	0	2
5	1/16	1/12	-1/96	0	1/4	0	2
6	1/24	17/216	10/216	-1/216	1/16	1/8	3
7	1/24	1/16	-1/144	0	1/8	0	3

У виразі (9) прийняті наступні позначення:

$$\{iy\} = \sum_{n=1}^N x_{in} y_n; \quad \{iyy\} = \sum_{n=1}^N x_{in}^2 y_n; \quad \{ijy\} = \sum_{n=1}^N x_{in} x_{jn} y_n. \quad (4)$$

Так як в дослідженнях був реалізований п'яти факторний експеримент, то формули для визначення коефіцієнтів з урахуванням численних значень констант  $A_1, B_1, C_1, C_2, \rho$  приймають вигляд:

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{5} \sum_{n=1}^N y_{0n}; & b_i &= \frac{1}{16} \sum_{j=1}^{46} x_{ij} y_j; & b_{i\ell} &= \frac{1}{12} \sum_{j=1}^{46} x_{ij} x_{\ell j} y_j; \\ b_{ii} &= \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{46} x_{ij} y_j - \frac{1}{96} \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{46} x_{ij}^2 y_j - \frac{1}{6} \sum y_{0n} \end{aligned} \quad (5)$$

Після підстановки в формули (11) численних значень функції відгуку, отриманих в результаті експерименту були визначені коефіцієнти рівняння регресії:

$$\begin{aligned} b_0 &= 1.9467; & b_1 &= 0.036; & b_2 &= 0.062; & b_3 &= 0.017; & b_4 &= 0.1; \\ b_5 &= -0.136; & b_{12} &= 0.085; & b_{13} &= 0.02; & b_{14} &= -0.148; & b_{15} &= 0.0375; \\ b_{23} &= -0.083; & b_{24} &= 0.09; & b_{25} &= 0.095; & b_{34} &= -0.078; & b_{35} &= 0.0625; \\ b_{45} &= 0.0725; & b_{11} &= 0.146; & b_{22} &= 0.125; & b_{33} &= 0.092; \\ b_{44} &= 0.209; & b_{55} &= 0.100. \end{aligned}$$

Після визначення коефіцієнтів регресії проводилась перевірка їх значимості. Для цього, по-перше, була визначена за результатами дослідів в центрі плану дисперсія  $S^2\{y\}$  відтворюваності:

$$S^2\{y\} = \frac{S_E}{n_0 - 1}, \quad (6)$$

де  $S_E$  - дисперсія, яка характеризує похибку дослідів;  
 $n_0$  - число дослідів в центрі плану.

Дисперсія, яка характеризує похибку дослідів визначається з співвідношення:

$$S_E = \sum (y_{0n} - \bar{y}_{0n}). \quad (7)$$

Дисперсії, які характеризують похибки в визначенні коефіцієнтів рівняння регресії для  $y$ , розраховувались за наступними формулами [7]:

$$\begin{aligned} S^2\{b_0\} &= \frac{1}{3} \cdot S^2\{y\}; & S^2\{b_i\} &= \frac{1}{8} \cdot S^2\{y\}; \\ S^2\{b_{i\ell}\} &= \frac{1}{4} \cdot S^2\{y\}; & S^2\{b_{ii}\} &= \frac{13}{48} \cdot S^2\{y\}. \end{aligned} \quad (8)$$

Довірчий інтервал  $\Delta b_0$  знаходимо з виразу:

$$\Delta b_0 = \pm t_T \cdot S\{b_0\}, \quad (9)$$

де  $t_T$  - критерій Стьюдента.

Критерій Стьюдента визначається за таблицею, в залежності від рівня значимості і числа ступенів свободи. При числі ступенів рівному 23 і 5% рівні значимості  $t = 2,086$ .

Аналогічно визначаємо довірчі інтервали коефіцієнтів  $b_i, b_{i\ell}, b_{ii}$ :

$$\begin{aligned} \Delta b_i &= \pm t_T \cdot S\{b_i\}; \\ \Delta b_{i\ell} &= \pm t_T \cdot S\{b_{i\ell}\}; \\ \Delta b_{ii} &= \pm t_T \cdot S\{b_{ii}\}. \end{aligned} \quad (10)$$

В результаті розрахунків були отримані наступні значення довірчих інтервалів:

$$\Delta b_0 = \pm 0.0039; \Delta b_i = \pm 0.0015; \Delta b_{i\ell} = \pm 0.0029; \Delta b_{ii} = \pm 0.0032.$$

Таблиця 4 - Параметри математичної моделі втрат насіння річчини при очошуванні на корені при роботі барабана з пружними робочими елементами.

№	Найменування параметрів моделі	Розрахункові значення
1	Коефіцієнти регресії	$b_0 = 1.9467; b_1 = 0.036; b_2 = 0.062; b_3 = 0.017;$ $b_4 = 0.1; b_5 = -0.136; b_{12} = 0.085; b_{13} = 0.02;$ $b_{14} = -0.148; b_{15} = 0.0375; b_{23} = -0.083; b_{24} = 0.09;$ $b_{25} = 0.095; b_{34} = -0.078; b_{35} = 0.0625; b_{45} = 0.0725;$ $b_{11} = 0.146; b_{22} = 0.125; b_{33} = 0.092; b_{44} = 0.209;$ $b_{55} = 0.100.$
2	Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії	$\Delta b_0 = \pm 0.0039;$ $\Delta b_i = \pm 0.0015; \Delta b_{i\ell} = \pm 0.0029; \Delta b_{ii} = \pm 0.0032.$
3	Дисперсія відтворюваності	$S^2\{y\} = 0,02791$
4	Дисперсія адекватності	$S_{\text{ад}}^2 = 0.05782$
5	Розраховане значення критерію Фішера	$F_p = 2,072$
6	Табличне значення критерію Фішера	$F_T = 2,71$ модель адекватна

Численні значення коефіцієнтів регресії виявилися більше їх довірчих інтервалів, з цього слід висновок, що всі коефіцієнти регресії значимі.

Таким чином, рівняння регресії має вигляд:

$$\begin{aligned}
 y = & 1,9467 + 0,036x_1 + 0,062x_2 + 0,017x_3 + 0,1x_4 - 0,136x_5 + \\
 & + 0,085x_1x_2 + 0,02x_1x_3 - 0,148x_1x_4 + 0,0375x_1x_5 - 0,083x_2x_3 + \\
 & + 0,09x_2x_4 + 0,095x_2x_5 - 0,078x_3x_4 + 0,0625x_3x_5 + 0,0725x_4x_5 + \\
 & + 0,146x_1^2 + 0,125x_2^2 + 0,092x_3^2 + 0,209x_4^2 + 0,1x_5^2
 \end{aligned} \quad (11)$$

Адекватність отриманої моделі перевіряємо за F-критерієм. Для розрахунку дисперсії адекватності  $S_{\text{ад}}^2$  знаходимо суму квадратів відхилень розрахованих значень  $\hat{y}$  від експериментальних  $y$  у всіх точках плану [7]:

$$S_{ад}^2 = \frac{S_R - S_E}{N - k' - (n_0 - 1)}, \quad (12)$$

де  $k'$  - число значимих коефіцієнтів регресії.

Визначаємо розрахункове значення  $F$  - критерію:

$$F_P = \frac{S_{ад}^2}{S^2\{y\}}. \quad (13)$$

Таблиця 5 - Параметри математичної моделі фракційного складу очосаного вороху рицини при очосуванні на корені при роботі барабана з пружними робочими елементами.

№	Найменування параметрів моделі	Розрахункові значення
1	Коефіцієнти регресії	$b_0 = 74,49; b_1 = -2,155; b_2 = -3,965; b_3 = 0.6375;$ $b_4 = -2,9825; b_5 = 0,825; b_{12} = -2,76; b_{13} = -1,68;$ $b_{14} = 3,51; b_{15} = 0,54; b_{23} = -0,45; b_{24} = 2,7;$ $b_{25} = 2,39; b_{34} = 2,75; b_{35} = -2,21; b_{45} = -0.72$ $b_{11} = -7,06; b_{22} = -5,96; b_{33} = -5,07; b_{44} = -9,67;$ $b_{55} = -17,9967.$
2	Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії	$\Delta b_0 = \pm 0.407; \quad \Delta b_{i\ell} = \pm 0.306;$ $\Delta b_i = \pm 0.153; \quad \Delta b_{ii} = \pm 0.331.$
3	Дисперсія відтворюваності	$S^2\{y\} = 2,9303$
4	Дисперсія адекватності	$S_{\text{аа}}^2 = 5,935$
5	Розраховане значення критерію Фішера	$F_P = 2,026$
6	Табличне значення критерію Фішера	$F_T = 2,64$ модель адекватна

Після підстановки численних значень у вирази (12) та (13) отримаємо:  $S_{\text{аа}}^2 = 0.05782; F_P = 2,072.$

В нашому випадку  $F_T = 2,71.$  Отже  $F_T > F_P$  - модель адекватна при 5% рівні значимості. Результати розрахунків коефіцієнтів регресії та статистичний аналіз рівняння регресії приведені в таблиці 4.

Аналіз фракційного складу проводився по аналогічній методиці. В результаті була отримана математична модель складу очосаного вороху у вигляді рівняння регресії другого порядку

$$y = 74.49 - 2.155x_1 - 3.965x_2 + 0.6375x_3 - 2.9825x_4 + 0.825x_5 - \\ - 2.76x_1x_2 - 1.68x_1x_3 + 3.51x_1x_4 + 2.7x_2x_4 + 2.39x_2x_5 + 2.75x_3x_4 - (14) \\ - 2.21x_3x_5 - 7.06x_1^2 - 5.96x_2^2 - 5.07x_3^2 - 9.67x_4^2 - 17.9967x_5^2$$

*Висновок.* В результаті проведення польових випробувань на основі матриці планування експерименту були отримані експериментальні дані, обробка яких дозволила отримати рівняння регресії для втрат зерна рицини та фракційного складу очосаного вороху.

Проведений регресійний аналіз дозволив стверджувати, що в результаті отримані адекватні моделі, подальший аналіз яких дозволить визначити раціональні значення конструктивних параметрів і режимів роботи очосуючого модулю.

#### Література

1. *Черепухин В.Д.* Физико-механические свойства вороха клещевины в связи с механизацией его очистки / В.Д. Черепухин // Науч.-техн. бюл. ВНИИ масл. культур. - 1974. - №3. - С. 60-65.
2. *Рой А.А.* Исследование технологического процесса обмолота клещевины / Рой Александр Андреевич: автореф. дис...д.техн. наук. - Волгоград, 1969. - 57 с.
3. *Квач В.Г.* Двухфазная уборка клещевины / В.Г.Квач, В.Д. Черепухин, В.В. Сайченко // Техника в сельском хозяйстве. - 1979. - №10. - С.16-18.
4. *Головін С.В.* Розробка конструкції машини для збирання рицини методом очісування на корені / С.В.Головін. - Праці ТДАТУ. - Мелітополь, 2009. - Вип.9., т. 5. - С.208-213.
5. Результати польових досліджень машини для збирання рицини методом очісування на корені / В.А.Дідур, О.М.Леженкін, С.В.Головін. - Праці ТДАТУ. - Мелітополь, 2010. - Вип.9., т. 6.
6. Пат.37775 Україна МКІ<sup>7</sup> А01D41/08 А01D45/30 Пристрій для збирання рицини / В.А.Дідур, В.Т.Надикто, О.М.Леженкін, С.В.Головін, ТДАТУ // Промислова власність. - 2008. - Бюл.№23.
7. *Маркова Е.В., Лисенков А.Н.* Планирование эксперимента в условиях неоднородностей / Е.В.Маркова, А.Н.Лисенков. - М.- 1973. - 220 с.
8. *Thre Level for the Study ob Quantitative Variables.* / G.E.P.Box, D.W.BehnKen // Home New. - Technometrics, 1960, V.2, №4.
9. *Налимов В.В., Чернова Н.А.* Статистические методы планирования экспериментальных экспериментов / В.В.Налимов, Н.А.Чернова. - М.: Наука, 1965. - 340 с.
10. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П.Адлер, Е.В.Маркова, Ю.В.Грановский. - 2-е изд., пере раб. и доп. - М.: Наука, 1976. - 279 с.

11. *Спиридонов А.А.* Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А.Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 60 с.

12. Планирование эксперимента в технике / В.И.Барабашук, Б.П. Креденцер, В.И. Мирошниченко; Под ред. Б.П. Креденцер. – К.- 1984. – 200 с.

13. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В.Мельников, В.Р.Алешкин, П.М.Рощин. – Л.: Колос, 1980. – 165 с.

## **МОДЕЛИ РЕГРЕССИИ ОЧЕСУЮЩЕГО МОДУЛЯ ДЛЯ УБОРКИ КЛЕЩЕВИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

С.В. Головин

*Аннотация* - работа посвящена построению математической модели в виде уравнения регрессии и статистическому анализу полученной модели.

## **MODELS OF REGRESS SCRATCH TO THE MODULE FOR CLEANING OF THE CASTOR-BEAN TREE WITH USE OF ELASTIC ELEMENTS**

S. Golovin

### *Summary*

Work is devoted construction of mathematical model in the form of the equation of regress and to the statistical analysis of the received model.

УДК 632.935.4: 621.3

## МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ ВСЕРЕДИНІ ЛИЧИНОК ШКІДНИКІВ

Вужицький А.В., асп. \*

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619)42-31-59

**Анотація** – робота присвячена аналізу існуючих та розроблювальних методів і технічних засобів знешкодження прикореневих шкідників у садівництві. Встановлено, що найбільш перспективним способом за даним напрямком є застосування електромагнітних полів (ЕМП) дециметрового діапазону.

**Ключові слова** – електромагнітне поле надвисокої частоти, садівництво, прикореневі шкідники.

*Постановка проблеми.* Прикореневі шкідники є однією із складних та актуальних проблем в садівництві. Вони наносять значні економічні збитки даній галузі.

Для захисту рослин від шкідників застосовують комплекс фізико-механічних, хімічних, електрофізичних та інших методів боротьби. Фізико-механічний метод недоцільно використовувати після висаджування молодих саджанців. Даний метод не дає можливість обробки в прикореневій зоні та можливе пошкодження кореневої системи, а також відбувається ущільнення ґрунту. Хімічний метод може привести до накопичення хімічних сполук в ґрунті, що негативно відображається на життєдіяльності саджанців. Електрофізичний метод для знешкодження прикореневих шкідників в садах широкий і включає застосування різних фізичних факторів – температури, електромагнітних випромінювань різних діапазонів, акустичних сигналів і т.д. Екологічна чистота, селективність, швидкодія робить застосування цього методу перспективним при організації захисних заходів. Проте недостатнє вивчення процесу залучення та знешкодження шкідників, а також високі потенційні можливості методу, обумовлює необхідність продовження робіт з дослідження та розробці установок та процесів електрофізичних методів боротьби з личинками комах шкідників у садівництві [1].

*Аналіз останніх досліджень.* До найбільш розповсюджених методів та електрофізичних пристроїв для знешкодження прикореневих



шкідників відносяться використання електричних та електростатичних полів постійного струму, змінного струму низької, високої та надвисокої частоти. Відомо спосіб, який полягає в генеруванні НВЧ променів у напрямі оброблюваної сільськогосподарської культури. Довкола культури, що оброблюється, створюють зону дії НВЧ променів шляхом концентрації НВЧ генеруючих і відбитих променів у обмеженому просторі. Спосіб реалізований на установці, що містить блок живлення, НВЧ генератор, хвилеводи і випромінювачі, поміщені в екран. Багато разів відбитий потік НВЧ променів ефективно впливає на шкідників, розташованих в оброблюваній культурі.

НВЧ генератор характеризується наступними параметрами: рівень щільності потоку НВЧ енергії 22...30 Вт на  $1\text{ м}^3$  на відстані 1 м від випромінювача; споживана потужність 3300 Вт, генерує від кожного випромінювача НВЧ промені, які прямують на протилежну бічну сторону екрану і багато разів відбиваються від його поверхні. Установка екрану відображає НВЧ промені від розсіювання і концентрує їх в обмеженому просторі.

Утворений таким чином потужний потік НВЧ генеруючих і відбитих променів, опромінює оброблювані рослини і шкідників [2].

Відомий також один із пристроїв для узгодженого введення НВЧ енергії в ґрунт, виконаний в вигляді радіопрозорого ободу, встановленого на осі, причому випромінювач розташований в середині ободу. При русі візка, обід качається по поверхні навантаження, повторюючи його профіль. Випромінювач рухається при цьому на мінімальній відстані від поверхні, що опромінюється. Керування пристроєм здійснюється механічно за рахунок того, що величина зазору між випромінювачем та поверхнею, що опромінюється, підтримується постійною. Причому величина зазору не залежить від зміни профілю поверхні, в продовж якої рухається випромінювач, і весь час залишається мінімальною [3].

Проведений аналіз літературних джерел показує, що знешкодження прикореневих шкідників з використанням ЕМП НВЧ діапазону можливе.

*Формування цілей статті.* Ціллю даної роботи є аналіз існуючих методів та електрофізичних пристроїв для знешкодження прикореневих шкідників у садівництві.

*Основна частина.* Наукові дослідження, що проводяться на різних рівнях організації матерії, показали, що організми самих різноманітних видів комах чутливі до низькоенергетичних електромагнітних випромінювань надвисокої частоти [4].

У діапазоні дозволених частот найбільше практичне значення для обробітку ґрунту мають частоти 915, 2450, 2375 і 5800 МГц яким відповідає ефективне глибинне проникнення НВЧ енергії 0,1...0,45 м [5].

Механізм діелектричного нагріву матеріалів надвисокочастотною енергією заснований на явищі діелектричній поляризації - переміщенні в деяких обмежених межах зв'язаних електричних зарядів - диполів. Під дією зовнішнього змінного електромагнітного поля в матеріалі відбувається їх коливальний рух і переорієнтація, в результаті дії яких виникають струми провідності і зсуву. Сукупність обох явищ і забезпечує нагрів матеріалу.

Питома активна потужність, що визначає кількість тепла виділеного при НВЧ-нагріві в одиниці об'єму матеріалу розраховують згідно класичному закону Джоуля-Ленца [6]:

$$P_{\text{пит}} = 0,556 \cdot 10^{-6} \cdot \epsilon' \cdot \text{tg}\delta \cdot f \cdot E^2$$

де  $P_{\text{пит}}$  - питома потужність, Вт/м<sup>3</sup>;

$\epsilon'$  - дійсна частина комплексної діелектричної проникності матеріалу;

$\text{tg}\delta$  - кут діелектричних втрат;

$f$  - частота електромагнітного поля, Гц;

$E$  - напруженість електричного поля, В/м.

Таким чином, нагрів діелектричних матеріалів в ЕМП НВЧ кількісно визначається як, власне, діелектричними властивостями матеріалу  $\epsilon'$  і  $\text{tg}\delta$ , так і параметрами електромагнітного поля - напруженістю  $E$  і частотою  $f$ . Ці чинники обумовлюють деякі виняткові переваги НВЧ-нагріву:

- високий ККД перетворення НВЧ-енергії в теплову (близький до 100%);

- безінерційний нагрів об'єкту "зсередини" з виключно високою інтенсивністю (температура і швидкість НВЧ-нагріву регулюються напруженістю  $E$  і частотою  $f$  ЕМП);

- безконтактне екологічно чисте підведення енергії;

- рівномірний нагрів по всій масі продукту і його вибірковість в разі нерівності діелектричних властивостей (параметрів  $\epsilon'$  і  $\text{tg}\delta$ ).

Останнє, практично, означає, що, оскільки діелектричні властивості води приблизно в десятки разів вище, а волога личинки, яка знаходиться в ґрунті, більша за вологу ґрунту, то при НВЧ-нагріві в першу чергу нагріватиметься вода в серединні личинки. На макро рівні це виявлятиметься в більшому нагріві вологіших матеріалів в порівняно з менш вологими [6]. Відома інформація, що стосується питань біологічної дії ЕМП на сільськогосподарські об'єкти. Проте слід зазначити, що експериментальні дані носять вельми суперечливий характер. Найбільш вивчена теплова дія НВЧ-випромінювання.

Наприклад, дія НВЧ-випромінювання з довжиною хвилі 3 см при щільності потоку 150 - 200 мВт/см<sup>2</sup> протягом 1 - 25 хвилин викликала загибель багатьох комах, а також ряду ссавців: мишей, щурів,

кроликів, овець [7]. Промисловість випускає мікрохвильові установки які можуть бути використані в будівництві і експлуатаційно-ремонтному господарстві для протигрибкової обробки, дезінсекції елементів складів, будівельних споруд, овочесховищ, складських контейнерів. Їх також можна з успіхом застосовувати для сушки і бактеріологічної обробки стін, у тому числі після штукатурки, для глибокого просушування стін в місцях протікання води з водопровідних труб. Мікрохвильові установки добре справляються із спінюванням рідкого скла. Мікрохвильове випромінювання ефективно знищує грибок і деревного жука на дерев'яних поверхнях.

Даний пристрій можна також використовувати для знищення прикореневих шкідників. Даний пристрій може обробляти одночасно 1 м<sup>2</sup> площі, споживаючи 1,4 кВт [8]. У республіці Білорусь випускаються модуля мікрохвильового нагрівання типу ММН КРЭС 434726, що генерує електромагнітну енергію. Хвилевий вихід дозволяє використовувати його в промисловому обладнанні, оптимізованим для конкретних задач сушіння, нагрівання, стерилізації різних діелектричних матеріалів. Конструктивне виконання виробу дозволяє отримувати потрібну потужність електромагнітної енергії шляхом багатомодульної побудови обладнання, як резонансного, так і конвеєрного типу.

При стерилізації ґрунту пристроєм з частотою 2450±100 МГц, експозицією 2...7 хв за даними авторів [9] отримані результати що наведені в табл. 1.

У Росії в Самарській державній сільськогосподарській академії проводилися дослідження впливу НВЧ енергії на репродуктивну здатність колорадського жука. В лабораторних умовах з використанням медичного приладу «ЛУЧ-3», який генерує електромагнітні коливання НВЧ діапазону частотою 2450 ± 49 МГц. Виявилось, що найбільш ефективна була обробка на протязі 4, 5 і 7 хвилин.

Таблиця 1 – Показники ефективності мікрохвильової стерилізації ґрунту.

Етапи розвитку	Кількість життєдіяльних нематод в 0,1 мл ґрунту	
	Контрольні	Експериментальні
Личинка	6,2	0
Самки	7,0	0
Самці	7,2	0

При обробленні личинок з частотою 2450 МГц та експозицією 4 хв загинуло 16 % кладки яєць, за 5 хв загинуло 9 % а при 7 хв загинуло 83 % [10]. Таким чином, електрофізичне випромінювання НВЧ діапазону дає позитивний результат при боротьбі з колорадським жу-

ком а також може бути застосований для знешкодження прикореневих шкідників. Вплив НВЧ енергії на шкідників вивчають також в Україні у Харкові провели дослідження по знешкодженню амбарних комах та грибків. Результати даних досліджень представлено в табл. 2.

Таблиця 2 – Вплив НВЧ випромінювання на комах що перебувають у зерні.

№ п/п	Експозиція, с	Питома потужність випромінювання, Вт/см <sup>3</sup>	Смертність, %
1	5	2,3...2,8	68,3
2	15	2,3...2,8	79,3
3	30	2,3...2,8	97,1
4	60	2,3...2,8	100
5	120	0,8...1,1	100

Випромінювання здійснювалося з частотою 2450 МГц та експозицією згідно таблиці 3. Приведені дані свідчать про те що в даному випадку летальність у комах безпосередньо корелювала з експозицією. Підвищення експозиції обробки зерна з 5 до 45...90 с сприяла збільшенню кількості загиблих комах з 68 до 100 %. Температура зерна при цьому не перевищувала 40...45 °С [11].

Фотосинтезу належить центральне місце у загальній енергії клітини, оскільки саме цей процес є першоджерелом всієї енергії, яку використовують живі організми у процесі життєдіяльності. Під час фотосинтезу енергія світла поглинається пігментними системами, перетворюється у хімічний потенціал багатих енергією метаболітів та накопичується у клітці у вигляді вуглеводів, жирів, білків. Фотосинтез нерозривно пов'язаний з реакцією енергетичного та пластичного обміну і тому складає основу метаболізму зеленої рослинної клітки.

До складу видимого освітлення входять промені з довжиною хвилі 380...810 нм, а фотосинтетична активна радіація (ФАР), або фотосинтетично активні промені мають довжину хвилі від 380 до 710 нм. Тобто вони займають смугу сонячного спектра меншу від смуги видимого світла. На рис.1 наведений спектр видимих променів та дія цих променів на фотосинтез, біосинтез хлорофілу та інші процеси життєдіяльності рослини: тропізми, фотоморфогенез, проростання насіння, фотоперіодичні реакції [12].

З даного спектру розвитку рослин можна зробити висновки про межі застосування довжин хвилі для боротьби з личинками прикореневих шкідників. Даний діапазон довжини хвилі знаходиться в межах  $1...10^{-1}$  нм, з частотою  $3\cdot 10^8...3\cdot 10^9$  Гц.

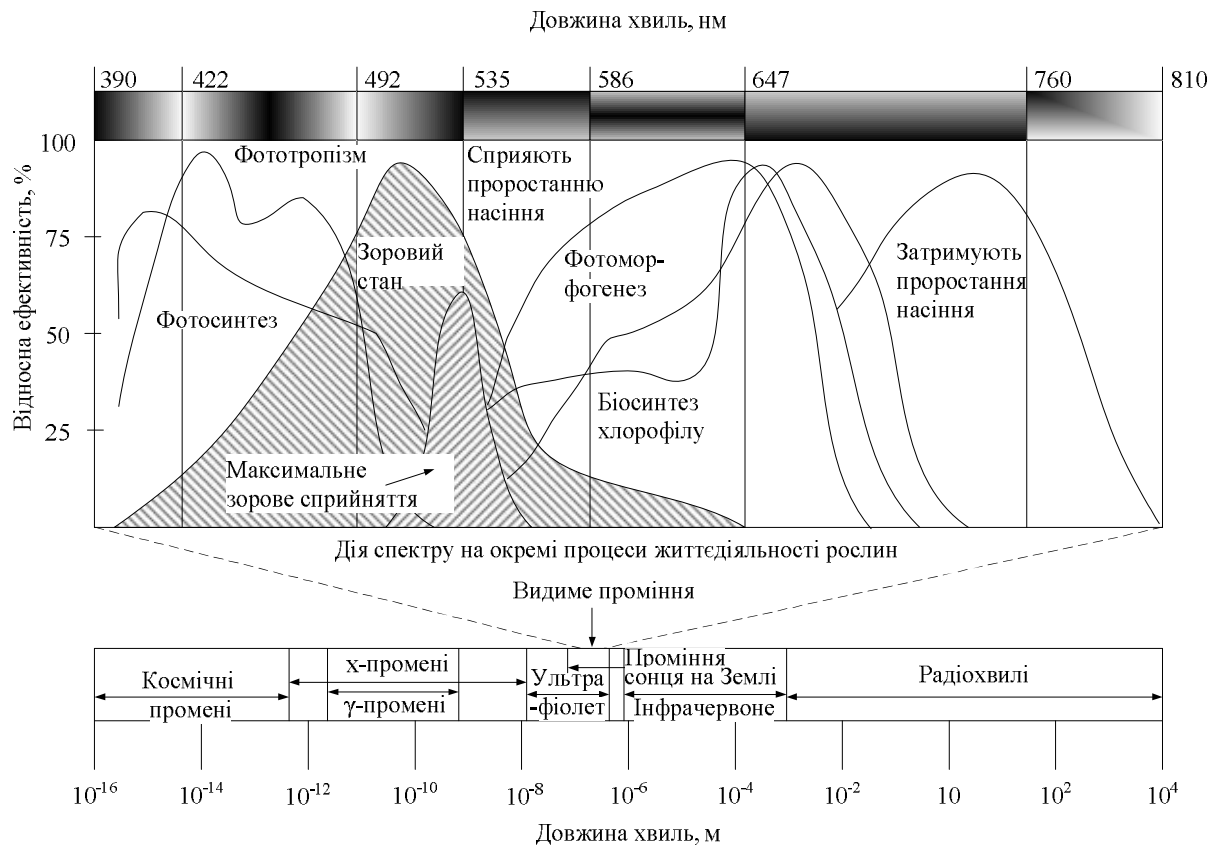


Рис.1. Спектр розвитку рослини.

Так як в даній частині довжини хвилі немає впливу на рослину, тобто боротьба зі шкідниками не буде мати негативних наслідків для рослини. Як відомо після цвітіння яблуні хрущі відкладають яйця в ґрунт на глибину 20...40 см купками по 5...20 яєць. Через 24..35 днів, залежно від температури ґрунту, з'являються шестиногі личинки, які живуть у ґрунті три чотири роки. У цей період відбувається інтенсивне поїдання коренів дерев. У червні – липні з личинки розвивається жук і, не виходячи з ґрунту, залишається там до весни [13]. Виходячи з вище сказаного, пропонується знешкодження шкідників на стадії личинки другого та третього року життя. Установлено вплив на личинку електромагнітних полів на частоті  $3 \cdot 10^8 \dots 3 \cdot 10^9$  Гц з щільністю потоку 150...200 мВт/см<sup>2</sup> на глибину до 15 см. Так як вони проводять життя на глибині від 7 до 10 см.

Таким чином, проведений аналіз наукових літературних джерел показує, що для знешкодження прикореневих шкідників доцільно застосовувати ЕМП дециметрового діапазону, використання яких вимагає розробки фізико-математичних моделей для визначення біотропних параметрів електромагнітного випромінювання. Відсутність спеціалізованих високостабільних монохроматичних джерел НВЧ випромінювань дециметрового діапазону, робить проблематичною постановку питання про створення електротехнології знеш-

кодження прикореневих шкідників в садівництві. Тому розробка електромагнітних пристроїв і технічних засобів дециметрового діапазону для знешкодження прикореневих шкідників в садівництві є актуальною задачею.

*Висновки.* На підставі узагальнення відомого наукового матеріалу вітчизняних і закордонних наукових публікацій можна зробити наступні висновки:

1. Для знешкодження прикореневих шкідників доцільно застосовувати ЕМП дециметрового діапазону, що дозволяють створити ефективну та екологічно чисту технологію боротьби зі шкідниками.

2. Для визначення біотропних параметрів електромагнітного випромінювання (частоти, потужності, нестабільності частоти, експозиції), що викликають загибель шкідників, необхідно дослідити фізико-математичні моделі з урахуванням будови і електрофізичних властивостей личинки шкідника.

3. Для створення пристроїв знешкодження прикореневих шкідників необхідні подальші дослідження і розробка високостабільних з відносною нестабільністю частоти ( $10^{-7} \dots 10^{-9}$ ) джерел НВЧ випромінювання дециметрового діапазону.

#### Література

1. *Славгородская-Куртниева Л.Е.* Защита сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней: справочное пособие / *Л.Е. Славгородская-Куртниева, В.Е. Славгородский, А.Е. Алтеев.* – 2-е изд., доп. и перераб. – Донецк: Донеччина, 2003. – 480 с.

2. А.с. 2115316 Российская Федерация, МКИ<sup>6</sup> А01М1/22, Н05С3/00, Способ уничтожения сельскохозяйственных вредителей / *А.М. Солдаев* [и др.] - №97112214/13; заявл. 15.07.97; опубл. 20.07.98.

3. А.с. 1251839 СССР, МКИ<sup>4</sup> А01М21/00 Устройство для СВЧ обработки почвы / *Л.Ф. Кучин* [и др.] - №3822401/30-15; заявл. 07.12.84; опубл. 23.08.86, Бюл. №31.

4. *Девятков А.Д.* Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / *А.Д. Девятков, М.Б. Голант, О.В. Бецкий.* – М: Радио и связь, 1991. – 169 с.

5. *Окресса Э.* СВЧ-энергетика / *Э. Окресса.* – М.: Мир, 1971. – 378 с.

6 *Петров. И.Р.* Влияние СВЧ-излучения на организм человека и животных / Под. ред. *И.Р. Петрова.* – Л.: Медицина, 1970. – 230 с.

7. *Исмаилов Э.Ш.* Биофизические основы действия микроволн / *Э.Ш. Исмаилов.* – М.: Энергоиздат, 1987. – 220 с.

8. Оборудование микроволновой вакуумной сушки, жарки. – Режим доступа: [www.saprex.ru/download/](http://www.saprex.ru/download/).

9. Разработки в СВЧ диапазоне: приборы и оборудование для решения научных и прикладных задач [Электронный ресурс] / НИИ

ядерных проблем, Республика Беларусь. – Режим доступа: [www.bsupproduct.by](http://www.bsupproduct.by).

10. *Савельева Э.Н.* Влияние излучения СВЧ на репродуктивную способность колорадского жука / *Э.Н. Савельева* – 2009. - №7-9. – С. 30 - 31.

11. Высокочастотная технология защиты зерна от амбарных вредителей / *В.А. Кутовой, Б.И. Рудяк, Л.А. Базыма* [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (80). – 2001. №4. – С. 129 – 132.

12. *Селезньов Г.П.* Енергетична оцінка спектрів фотосинтезу та сонячних фотобатарей / *Г.П. Селезньов, Ю.М. Куценко* // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля: науковий журнал. – Луганск, 2006. - №1(95). - С. 198 – 203.

13. *Савковский П.П.* Атлас вредителей плодовых и ягодных культур / *П.П Савковский*. – 5-е изд., доп. и перераб. – К.: Урожай, 1990. – 96 с.

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ПРИКОРНЕВЫХ ВРЕДИТЕЛЕЙ В САДОВОДСТВЕ**

А.В. Вужицкий

*Аннотация* - работа посвящена анализу существующих и разрабатываемых методов и технических средств обезвреживания прикорневых вредителей в садоводстве. Установлено, что наиболее перспективным способом в данном направлении является применение низкоэнергетических электромагнитных полей дециметрового диапазона.

## **ANALYSIS OF METHODS AND ELECTROPHYSICAL DEVICES FOR NEUTRALIZATION OF RADICAL WRECKERS IN GARDENING**

A.Vuzhitskiy

### *Summary*

The article is devoted to analysis of existing and developed methods and technical means of neutralization of radical wreckers in gardening. It is ascertained, that using of low power electromagnetic fields in decimeter band is the most perspective.

УДК 636.085.002.61

## МОДЕЛЮВАННЯ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ УСТАНОВОК НВЧ НАГРІВУ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Лобода О.І. інж.

*Таврійський державний агротехнологічний університет**Тел.0619 425-797, e-mail: aleks\_loboda@mail.ru*

**Анотація** – В статті приведено методику модулювання джерела НВЧ енергії та вибір кількості магнетронів для НВЧ установки обробки діелектричних матеріалів, наприклад комбікормів з метою зниження загальної засіяності мікроорганізмами патогенної групи.

**Ключові слова** – біологічний об'єкт, діелектричний нагрів, довжина хвилі, економічна ефективність, комбікорм, магнетрон, НВЧ енергія

*Постановка проблеми.* Досвід розробників НВЧ технологічних установок показує, що замовників в першу чергу цікавить величина затрат на енергію, яка використовується для досягнення технологічного ефекту. Розробники не можуть собі дозволити одностороннього підходу.

В-першу чергу, енергоспоживання технологічної установки головним чином визначається процесами, що проходять в виробі під час його обробки. Величина цього енергоспоживання може бути зменшена, якщо пристрій виготовлюється з іншого, менш енергоємного в процесі виробництва обробки матеріалу.

По-друге, енергоспоживання НВЧ установки термічної обробки залежить від ефективності промислового перетворення енергії. Для порівняння ефективності використання в технологічному процесі електроенергії і існуючого палива в роботах [1, 2] рекомендується використовувати коефіцієнт первинної енергії:

$$K_{\text{пе}} = \frac{W}{3,6Q\eta_{\text{енс}}}$$

де  $W$  – енергія, яка витрачається для виконання технологічного процесу з використанням існуючого палива, МДж;

$Q$  – енергія, яку отримав біологічний об'єкт в НВЧ установці, кВт год;



$\eta_{ЕНС}$  – системна енергетична ефективність НВЧ установки

Якщо  $K_{ПЕ} > 1$ , то витрати первинної енергії нижче при використанні в технологічному процесі електроенергії, а якщо  $K_{ПЕ} < 1$ , то більш ефектний технологічний процес, оснований на використанні існуючого палива. Звичайно заміна теплових технологічних установок на електротермічні більш привабливі, причому  $\eta_{ЕНС}$  тим більше, чим менше теплові втрати в робочій камері НВЧ установки. Зменшую їх на стадії проектування, можна зменшити загальне енергоспоживання. В третє, і це саме головне, енергетичні показники не враховують коштові характеристики розробки: від розробника в рішучій мірі залежить вибір структури схеми і елементної бази НВЧ установки, а тому, економічна ефективність електротермічної НВЧ установки, тому вибір варіанту енергопідводу, структури і елементів установки можна провести із допомогою порівняльного інтегрального ефекту [2]:

$$\Delta I = \sum_{t=0}^{t_{СП}} \left[ (P_t \Delta C_{пт} - \Delta C_t) (1 - \gamma_{Нt}) (1 - \gamma_{Yt}) - \Delta C_{At} - \Delta C_{HUt} - \Delta C_{\%t} - \Delta C_{БРt} \right] \times (1) \\ \times (1 + E)^{-t} + \Delta \Phi_{t_{СП}} (1 + E)^{-t_{СП}}$$

де  $\Delta$  – різниця між відповідними характеристика порівняльних варіантів

$I$  – інтегральний дохід за строк служби;

$t$  – час;

$t_{СП}$  – строк експлуатації НВЧ установки;

$C_{П}$  – ціна продукції;

$P$  – кількість продукції;

$C = C_{СМ} + C_{ЗП} + C_E + C_{ЗН}$  – експлуатаційні витрати, відповідно

$C_{СМ}$  – витрати на сировину,  $C_{ЗП}$  – витрати на заробітну плату,  $C_E$  витрати на енергію,  $C_{ЗН}$  – витрати на запасні частини;

$\gamma_H, \gamma_Y$  – коефіцієнти, які враховують податкові врахування;

$C_A$  – амортизаційні відрахування;

$C_{НУ}$  – витрати на наукові витрати;

$C_{\%}$  – плата за кредит з урахуванням банківського відсотка;

$C_{БР}$  – витрати, які включені в склад собівартості (брак);

$E=1/t_{СП}$  – коефіцієнт приведення різночасових витрат;

$\Phi_{t_{СП}}$  – остаточна на момент часу  $t_{СП}$  коштовність основних фондів

*Формулювання цілей статті.* Керуючись вище зазначеною проблемою і аналізуючи вже існуючі способи її вирішення була поставлена задача по обґрунтуванню, розробці та впровадженню способів які б дозволили проводити вибір характеристик НВЧ установки відповідно рівня обробки біологічних об'єктів з позиції економічності та технологічності. Прийнято рішення здійснювати подальшу розробку та вдосконалення НВЧ знезараження комбікормів мікроорганізмами для зниження загальної засіяності їх патогенною групою у порівнянні з іншими способами.

*Основна частина.* Відомо з практики що є складність в нагріванні діелектричних виробів, наприклад таких біологічних об'єктів, як корма для тварин, продукти харчової промисловості. Цю проблему вдається вирішити із допомогою нагріву обробляє мого виробу енергією високої частоти (ВЧ) або надвисокою частоти (НВЧ) електромагнітного поля [3].

Співвідношення (1) дозволяє зробити вибір між ВЧ і НВЧ діелектричним нагрівом, причому в багатьох випадках перевагу віддають установки НВЧ діелектричного нагріву [2].

Істотний вплив на економічну ефективність електротермічної установки роблять капіталовкладення, що вкладаються, а у випадку установки НВЧ діелектричного нагрівання - ціна джерела НВЧ енергії, що зараз так висока, що істотно заважає широкому застосуванню цих ефективних енергозберігаючих установок.

Під оптимальним джерелом НВЧ енергії будемо вважати таке джерело, яке в сукупності з іншими елементами НВЧ електротермічної установки забезпечить максимально чистий дисконтирований або інтегральний ефект [4]:

$$\Delta I = \sum_{t=0}^{t_{\text{СП}}} \left[ (\Pi_t \Delta C_{\text{нт}} - \Delta C_{\Sigma \text{ит}})(1 - \gamma_{\text{нт}})(1 - \gamma_{\text{т}}) - \Delta C_{\text{нУт}} - \Delta C_{\text{фПт}} - K(0,14 + \frac{1+i_{\text{кР}}}{t_{\text{СП}}}) \right] \times \left( \frac{1+t_{\text{СП}}}{t_{\text{СП}}} \right)^{-t} + K_A K \left( \frac{1+t_{\text{СП}}}{t_{\text{СП}}} \right)^{-t} \quad (2)$$

де  $\Delta C_{\Sigma \text{ит}} = C_{\text{СМт}} + C_{\text{Ет}} + C_{\text{ЕПт}} + C_{\text{ЕЧт}}$

$C_A - 0,14 \text{ К};$

$C_{\%} - B_{\text{КР}}(1+i_{\text{КР}})/t_{\text{СП}};$

$K$  – капіталовкладення для НВЧ нагрівача;

$B_{\text{КР}}$  – банківський кредит;

$i_{\text{КР}}$  – погоджений банківський відсоток;

$\Phi_{\text{тСП}} = K_{\text{д}}K$ ,  $K_{\text{д}}$  – нормативний коефіцієнт амортизації

За такими важливими параметрами, як надійність, робота на навантаження з великими та змінними в часу  $K_{\text{смУ}}$  робочої камери, високий ККД, великий строк роботи, низька анодна напруга, відсутність рентгенівського випромінювання, компактність, простота виготовлення, з усіх типів НВЧ генераторів вибір повинен бути зроблено на користь магнетрону. Довжина хвилі НВЧ генератору, тобто магнетрону може бути обрана з умови [3]:

$$\lambda \cong (1 + 2)\pi l \sqrt{2\epsilon'(\sqrt{1 + tg^2\delta} - 1)} \quad (3)$$

де  $l$  – товщина шару продукту, який обробляється;

$\epsilon'$ ,  $tg\delta$  - діелектрична проникненість та тангенс кута

діелектричних втрат продукту

В установках НВЧ діелектричного нагріву в нашій державі традиційно використовуються в основному генератори с частотою 433, 915 и 2450 МГц і цього достатньо (для біологічних об'єктів великих розмірів можна використовувати установки високочастотного діелектричного нагріву з частотами 300 МГц і нижче) [4].

Номенклатура та ціна джерела енергії повинна бути такою, щоб завжди виконувалося умова:

$$E_{\Sigma} = E_{\Sigma\max}; \quad E_{\Sigma\max} > 0; \quad \frac{K}{E_{\Sigma\max}} \leq t_{\text{ВИФ}} \quad (4)$$

де  $t_{\text{ВИФ}}$  – усереднене в розглядаємий період фактичний строк повернення інвестицій

В якості цільової функції при рішенні задачі техніко - економічного обґрунтування номенклатури і ціни джерела енергії приймаємо співвідношення (2), яке спростимо за такими умовами: кредит короткостроковий ( $t_{\text{КР}} = t_{\text{СП}} = 1$  рік), видано на початку реалізації проекту, відсутні наукові дослідження ( $C_{\text{НУ}} = 0$ ) і демонтаж установки ( $K_{\text{А}} = 0$ ), тому в такому випадку:

$$I_{\Sigma} = (\Pi_t \Pi_{nt} - \Delta C_{\Sigma it})(1 - \gamma_{\text{Нт}})(1 - \gamma_{\text{Yт}}) - C_{\text{бРт}} - K(1,14 + i_{\text{кР}}) = \Delta I_{\Sigma\text{const}} + \Delta I_{\Sigma\text{VAR}} \quad (5)$$

$$\Delta I_{\Sigma\text{const}} = (\Pi_t \Pi_{nt} - C_{\text{СМ}})(1 - \gamma_{\text{Нт}})(1 - \gamma_{\text{Yт}}) \quad (6)$$

$$\Delta I_{\Sigma\text{VAR}} = -[(C_{\text{Е}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{ЗЧ}})(1 - \gamma_{\text{Нт}})(1 - \gamma_{\text{Yт}}) + C_{\text{бРт}} - K(1,14 + i_{\text{кР}})] \quad (7)$$

Находження  $I_{\Sigma\text{MAX}}$  зводиться до находження  $|I_{\Sigma\text{VAR}}|_{\text{MIN}}$ , а тому що:

$$|I_{\Sigma\text{VAR}}|_{\text{MIN}} = f[P, M, \Pi_{\text{ДЕI}}(P), \Pi_{\text{К}}(P), \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n] \quad (8)$$

де  $P$  – потужність НВЧ джерела енергії;

$M$  – кількість магнетронів, що працюють на одну камеру;

$\Pi_{\text{ДЕ}}$  – ціна джерела енергії

$\Pi_{\text{К}}$  – ціна робочої камери

$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  - нормативні параметри

Тобто вимоги  $|I_{\Sigma\text{VAR}}|_{\text{MIN}}$  означають що,

$$\frac{\partial |I_{\Sigma\text{VAR}}|}{\partial P} = 0, \quad \frac{\partial |I_{\Sigma\text{VAR}}|}{\partial M} = 0 \quad (9)$$

Рішення системи рівняння (9) дає значення  $P_{\text{ОПТ}}$  та  $M_{\text{ОПТ}}$ , а потім знаходимо значення  $G_{\text{ОПТ}} = P_{\text{ОПТ}}/c(T - T_0)$ , що дає можливість визначити оптимальне число установок НВЧ діелектричного нагріву:

$$N_{\text{ОПТ}} = \frac{\Pi}{G_{\text{ОПТ}} t_p D} \quad (10)$$

де  $t_p$  – час роботи НВЧ установки на добу;  
 $D$  – число робочих днів на рік

Значення  $G$  і  $t_p$  можна розрахувати тільки з урахуванням особливостей процесів, які реалізуються в НВЧ установці, котрі можна класифікувати таким чином: нагрів без фазових переходів в періодичному режимі, нагрів з фазовим переходом з масоперенесення в періодичному режимі, процес з фазовим переходом без вираженого масоперенесення в періодичному режимі.

Максимальна припустима ціна джерела НВЧ енергії повинна задовольняти умову  $I_{\Sigma} = K$ , звідки:

$$C_{\text{ДЖ}} = \frac{N_1 [(C_{\text{Л}} - K_C C_C)(1 - \gamma_H)(1 - \gamma_Y) - N_2]}{N_3 + \frac{N_4}{P} + \frac{N_5}{\Pi}} \quad (11)$$

де  $C_C$  – ціна одиниці сировини, яка оброблюється;  
 $K_C = \Pi_C / \Pi$  – коефіцієнт виходу готової продукції;  
 $\Pi_C$  – кількість сировини, яка необхідна для випуску  $\Pi$  одиниці готової продукції на рік;  
 $N_1, N_2, N_3, N_4$  – величини, які залежать від параметрів технологічного процесу, обробленої продукції, режиму роботи НВЧ установки, тарифів на електроенергію та холодну воду.

### Висновки

1. Приведена методика дозволяє проводити моделювання вибору НВЧ установки для обробки діелектричних матеріалів, наприклад комбікормів з позиції техніко економічних та енергетичних параметрів.
2. Ця методика дозволяє обрати оптимальну кількість магнетронів в НВЧ установці, з метою збереження енергії.
3. Така НВЧ установка може працювати у всіх випадках автономно або в потоковій технологічній лінії

### Література

1. Информационные материалы к комплексной оценке техники и технологий для животноводства, птицеводства и кормообеспечения: Справочник / В.Ф. Сичкарь, А.С. Кушнарв, Т.Н. Коротченко, Л.М. Олейник; Под ред. В.Ф. Сичкаря - Запорожье, ИМЖ, 1997 - 395 с.
2. Рогов И.А. Сверхвысокочастотный нагрев пищевых продуктов / И.А. Рогов, С.В. Некрутман. – М.: Агропромиздат, 1986 – 351 с.
3. Анфиногентов В.И. Математическое моделирование СВЧ нагрева диэлектриков / В.И. Анфиногентов – Казань: Изд-во Казан.

гос. техн. ун-та, 2006. – 137 с.

4. Бородин И.Ф. Применение СВЧ – энергии в сельском хозяйстве. Обзорная информация / И.Ф. Бородин, Г.А. Шарков, А.Д. Горин - М.: Изд-во ВНИИТЭИагропром, 1985 – 55 с.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ ЭНЕРГОСБЕРИГАЮЩИХ УСТАНОВОК СВЧ НАГРЕВА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

А.И. Лобода

*Аннотация* – В статье приведено методику модулирования источника СВЧ энергии та выбор количества магнетронов для СВЧ установки обработки диэлектрических материалов, например комбикормов с целью снижения общей обсемененности микроорганизмами патогенной группы.

### **SIMULATION OF ENERGY SOURCE ENERGY - SAVING PLANTS MICROWAVE HEATING OF BIOLOGICAL OBJECTS**

A. Loboda

#### *Summary*

The article describes a method of modulating the source of microwave energy is the choice of the number of magnetrons for microwave installation process dielectric materials such as animal feed to reduce the overall contamination of pathogenic microorganisms groups.

УДК [631.362.3:633.8.]001.57

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБРУШЕННЯ НАСІННЯ РИЦИНИ

Дідур В.А., академік АНВШУ, д.т.н.,

Зубкова К.В., інж.\*

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 44-02-74

**Анотація** – розроблено та перевірено на адекватність математичну модель процесу обрушення насіння рицини для отримання конструктивних параметрів та технологічних режимів машини для його забезпечення.

**Ключові слова** – лузга, обрушення, рицина, технологічні режими, математична модель, адекватність.

*Постановка проблеми.* Існуючі операційні схеми отримання касторового масла [1, 2, 3, 5, 6] можна розділити на дві групи: з попереднім відділенням лузги й без її відділення. Процес руйнування лузги насіння називається – обрушенням, яке відбувається в умовах складного стискання у між вальцьовому зазорі машини для обрушення насіння. При цьому одержують суміш називану рушанкою, що складається з цілого ядра, оболонки, січки (часток ядра), олійного пилу і не цілком обрушеного насіння. Для підвищення ефективності процесів руйнування оболонок насіння необхідне визначення оптимальних конструктивних параметрів та режимів роботи обладнання. Для складних систем, що неможливо описати кінетичною чи динамічною системою рівнянь, використовують методи математичного моделювання, які досліджують зміни вихідних параметрів залежно від вхідних факторів (статичні характеристики).

Сучасні подання фундаментальних наук про процес руйнування твердих тіл особливо оболонок насіння недостатні для встановлення кількісних зв'язків між вхідними й вихідними параметрами процесу обрушення і не можуть бути використані для складання математичних моделей обрушення, оскільки не встановлюють необхідних зв'язків між параметрами й показниками якості процесу. Експериментальні дані, отримані різними авторами в різних умовах, як правило, непорівнянні, і їх не можна покласти в основу математичної моделі.

---

© акад ., д.т.н. Дідур В.А., інж. Зубкова К.В

\* Науковий керівник – д.т.н., проф. В.А. Дідур

Для подальшого дослідження процесу обрушення виникає необхідність складання математичної моделі та її аналізу. Після цього виникає проблема визначення й опису поверхні відгуку, тобто відшукування рівняння поверхні для знаходження раціональних конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи машини для обрушення насіння рицини, з метою поліпшення ефективності її роботи. Цей етап необхідно проводити тільки за допомогою подальших лабораторних експериментальних досліджень, тому що оптимальні рівні варіювання цих найбільш значимих факторів можна визначити тільки експериментальним шляхом.

*Аналіз останніх досліджень.* За результатами аналізу літературних джерел, дослідження фізико – механічних характеристик насіння розроблено технологічну схему машини для обрушення рицини, розроблена схема машини для обрушення насіння рицини, що враховує розбіжність розмірних характеристик та поєднує дві операції – калібрування насіння та обрушення. На основі чого складено удосконалену технологічну схему процесу обрушення насіння, яка представлена на рис. 1.

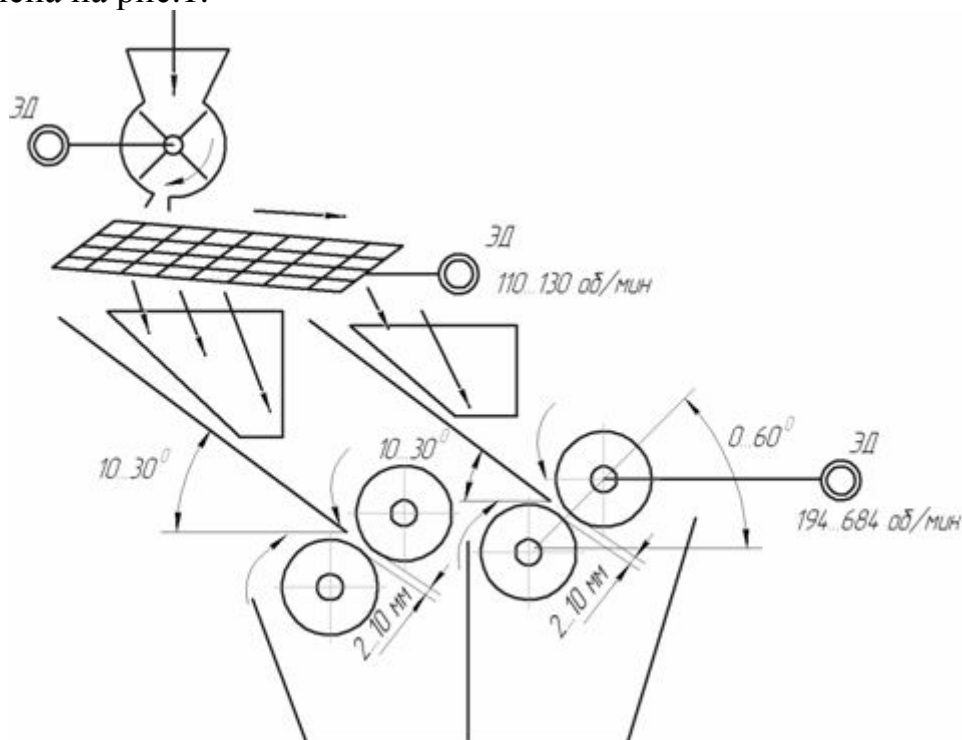


Рис.1. Технологічна схема процесу обрушення насіння рицини.

Машині для обрушення насіння рицини, з точки зору раціональності роботи, висувається ряд вимог – швидкість руху поверхні, величина зазору, що створює зусилля притискання (руйнування), а також висота падіння рушанки, так як додаткове руйнування пошкоджує фракційний склад рушанки. Частота обертання вальців, що обрушують, значно впливає на якість обрушення. З її збільшенням

зростає не тільки продуктивність обладнання, але кількість січки насіння. Збільшення стискаючого зазору приводить до зменшення повноти обрушення насіння рицини. Тому в результаті пошукових дослідів і проведеного по їхнім даним регресійного аналізу максимальний зазор між вальцями приймався рівним 10 мм (верхній рівень) мінімальний зазор (нижній рівень) - 2 мм.. З іншого боку, зменшення зазору приводить до збільшення дрібної січки насіння рицини, а також до збільшення повноти обрушення (зникає ціле та недообрушене насіння). Зміна кута розташування стискаючих вальців впливає на відсоток січки та кількість цілого та недообрушеного насіння в рушанці.

Кожний з розглянутих факторів змінюють повноту обрушення або фракційний склад рушанки не зв'язані між собою. Ця умова вказує на можливість проведення багатофакторного експерименту і його оцінки на основі регресійного аналізу. Інтервали варіювання цих параметрів, показано у табл. 1 і визначалися за результатами теоретичних й експериментальних досліджень.

Таблиця 1 - Параметри, що впливають на процес обрушення.

Параметри	Мак. Значення	Мін. значення
Кут розташування валків відносно горизонту $\beta$ , градуси	60	0
Окружна лінійна швидкість $v$ , м/с	0,55	0,15
Зазори $a_1, a_2$ , мм	10	2
Вологість насіння $\varphi$ , %	9	5

*Формулювання цілей статті.* Метою роботи є обґрунтування технологічних режимів та конструктивних параметрів обладнання для попередньої обробки насіння рицини за допомогою розробки та дослідження математичної моделі процесу обрушення насіння.

*Основна частина.* У загальному виді, проведення експериментальних досліджень проводилося в наступній послідовності [7]:

- вибір й обґрунтування критерію оптимізації, факторів і рівнів їхнього варіювання;
- вибір методики й плану проведення експерименту;
- проведення експерименту в лабораторних умовах;
- аналіз результатів експерименту й оцінка працездатності отриманої математичної моделі за допомогою критерію Фішера.

Критеріями оптимізації моделі можуть бути якісні показники що характеризують склад рушанки, кількісні показники, що характеризують здатність до розділення рушанки, та інші. Для насіння рици-



ни немає нормативної бази по визначенню складу рушанки, оскільки в процесі обрушення вона відрізняється від рушанок інших олійних культур наявністю більшої кількості роздавленого ядра. Ступінь роздавлення ядра рицини при стисканні валками у насіння різна, в залежності від зазору між валками та розмірів насіння. При стискуванні насіння в процесі обрушення імовірно як отримання цілого ядра так і подрібнення ядра з утворенням часток, які при подальшому транспортуванні розсипаються в січку, замащуючи при цьому лузгу.

Таблиця 2 - Рівні та інтервали зміни факторів.

Фактори	Умовні позначення	Основний рівень, $X_{i0}$	Інтервал зміни, $\sigma_i$	Верхній рівень, $X_{i\text{в}}$	Нижній рівень, $X_{i\text{н}}$	Зіркова точка, $+ \alpha$	Зіркова точка, $- \alpha$
Окружна лінійна швидкість $v$ , м/с,	$x_1$	0,35	0,1	0,45	0,25	0,55	0,15
Кут розташування валків відносно горизонту $\beta$ , градуси,	$x_2$	30	15	45	15	60	0
Відношення між зазором та середнім розміром насіння фракцій $\lambda$ ,	$x_3$	0,5	0,15	0,65	0,35	0,8	0,2
Вологість насіння $\varphi$ , %	$x_4$	7	2	9	5	11	3

При якісному обрушенні кількість ядра в рушанці наближається до кількості ядра в насінні, тобто коефіцієнт обрушення  $K_0$  наближується до 100%. При наявності проміжних фракцій доля ядра в рушанці зменшується та коефіцієнт обрушення розраховується за формулою [4]:

$$K_0 = \frac{Я - (М + С + aЦ + вН)}{Я} \cdot 100 \quad (1)$$

де  $М$  - вміст олійного пилу в рушанці, %

$С$  - вміст січки в рушанці, %

$a$  - вміст ядра в насінні,

$Ц$  - вміст цілого насіння в рушанці, %

$в$  - вміст ядра в недорушці,

$H$  - вміст недоруша в рушанці, %.

Таким чином, для оцінки якості процесу обрушення насіння ріцини можемо користуватися формулою (1), тобто за критерій оптимізації приймаємо коефіцієнт обрушення  $K_0$ .

Для обраних факторів визначено область їх зміни, тобто кожному фактору задані верхній та нижній рівні, а також зіркові точки, в межах яких змінюється значення фактора. (табл. 2.). Не керовані параметри приймаємо сталими.

Для проведення дослідів розроблено та виготовлено експериментальну установку (рис.2).



Рис.2. Загальний вигляд експериментальної установки.

Оскільки параметрів багато і деякі мають не лінійний характер приймаємо математичну модель другого порядку (центральний рототабельний композиційний план).

Математична модель другого порядку в загальному вигляді [7]:

$$\bar{y} = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i,j=1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2, \quad (2)$$

де  $i = 0, 1, 2, \dots, n$ .

Коефіцієнти регресії кожного фактора обчислюються за стандартними по формулами [7].

У результаті обробки даних експерименту були знайдені коефіцієнти регресії й по них складене рівняння регресії другого порядку в закодованому виді:

$$y = 78,47 - 1,376X_1 - 1,071X_1X_2 - 3,843X_2X_4 + 3,265X_1^2 + 3,015X_2^2 - 6,11X_3^2 - 5,86X_4^2 \quad (3)$$

Раскодована математична модель має вигляд:

$$y = -41,73 - 220,81v + 0,342\beta + 271,6\lambda + 24,353\phi - 0,714v\beta - 0,128\beta\phi + 326,5v^2 + 0,0134\beta^2 - 271,56\lambda^2 - 1,47\phi^2 \quad (4)$$

Перевірка гіпотези про адекватність отриманої математичної моделі визначався за критерієм Фішера. Розрахунки показали, що модель адекватна на 95% рівні довірчої ймовірності [7].

Після перевірки на адекватність математичної моделі другого порядку визначаємо координати оптимуму й вивчаємо властивості поверхні відгуку на границях оптимуму. Вивчення поверхні відгуку проводимо за допомогою двовимірних перетинів.

Для проведення аналізу методом двовимірних перетинів, отримане рівняння регресії приведемо до канонічного вигляду. Для цього початок координат перенесемо в нову точку факторного простору - рівняння регресії другого порядку диференціюємо по кожному фактору й прирівнюємо до нуля. Отримуємо:

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial x_1} = 1,375 - 1,071x_2 + 6,53x_1 = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial x_2} = -1,071x_1 - 3,843x_4 + 6,03x_2 = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial x_3} = -12,22x_3 = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial x_4} = -3,843x_2 - 11,72x_4 = 0 \quad (8)$$

Вирішуючи систему рівнянь, одержимо координати нового центру:

$$\begin{cases} x_{1s} = 0,22 \\ x_{2s} = 0,03 \\ x_{3s} = 0 \\ x_{4s} = -0,01 \end{cases} \quad (9)$$

На ЕОМ за допомогою програми MathCad, для отриманої математичної моделі, що описує процес обрушення насіння рицини, отримана оптимальна точка, в якій коефіцієнт обрушення має максимальне значення, тобто  $y_s = 75,51$  [7].

Розкодована математична модель при заданих факторах має вигляд:

$$y = -41,73 - 220,81\nu + 0,342\beta + 271,6\lambda + 24,353\varphi - 0,714\nu\beta - 0,128\beta\varphi + 326,5\nu^2 + 0,0134\beta^2 - 271,56\lambda^2 - 1,47\varphi^2 \quad (10)$$

Двовимірний перетин поверхні відгуку та контурні криві, що характеризують взаємодію факторів  $X_3$  (відношення між зазором та середнім розміром насіння) і  $X_4$  (вологість насіння) наведено на рис 3. Тому що один з коефіцієнтів близький до нуля, то центр знаходиться на безконечності, поверхня відгуку являє собою "стаціонарний гребінь", а точки оптимуму немає.

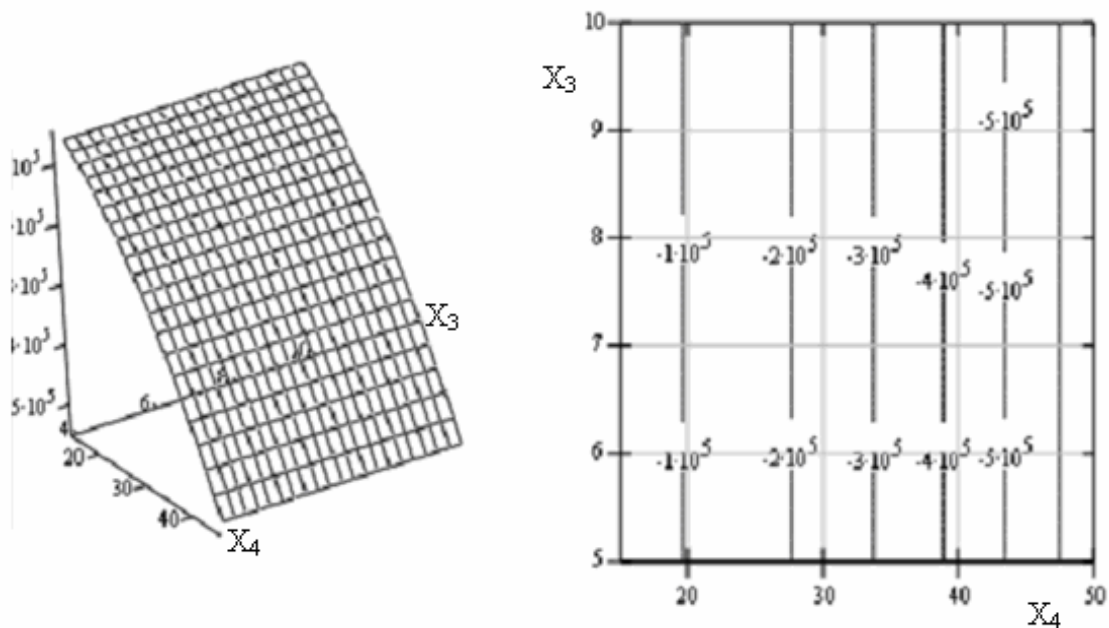


Рис.3. График и контурні криві факторів  $X_3$ ,  $X_4$ .

Характер взаємодії факторів  $X_2$  (кут розташування валків відносно горизонту) та  $X_4$  (вологість насіння) визначаються коефіцієнтами з різними знаками та контурні криві будуть гіперболами. Центр поверхні відгуку буде представляти «сідло» або «мінімакс» (на рис 4.) Витягнуте сідло по осі  $X_4$  коефіцієнт обрушення в зоні оптимуму становить 50 – 55% при вологості насіння від 6,4% до 8,1, та при куті розташування валків відносно горизонту від 20 до 40 градусів. Центру немає.

Двовимірний перетин поверхні відгуку та контурні криві, що характеризують взаємодію факторів  $X_1$  (окружну лінійну швидкість) і  $X_3$  (відношення між зазором та середнім розміром насіння) наведені на рис 5. Коефіцієнти мають різні знаки, контурні криві будуть гіперболами. Центр поверхні відгуку буде представляти «сідло» або «мінімакс». Витягнуте сідло по осі  $X_3$  - відношенні між зазором та середнім розміром насіння. В зоні оптимуму окружна лінійна швидкість від 0,27 до 0,4 м/с, відношення між зазором та середнім розміром насіння – 0,5. Двовимірний перетин поверхні відгуку та

контурні криві, що характеризує взаємодію факторів  $X_1$  (окружна лінійна швидкість) і  $X_4$  (вологість насіння) наведені на рис 6.

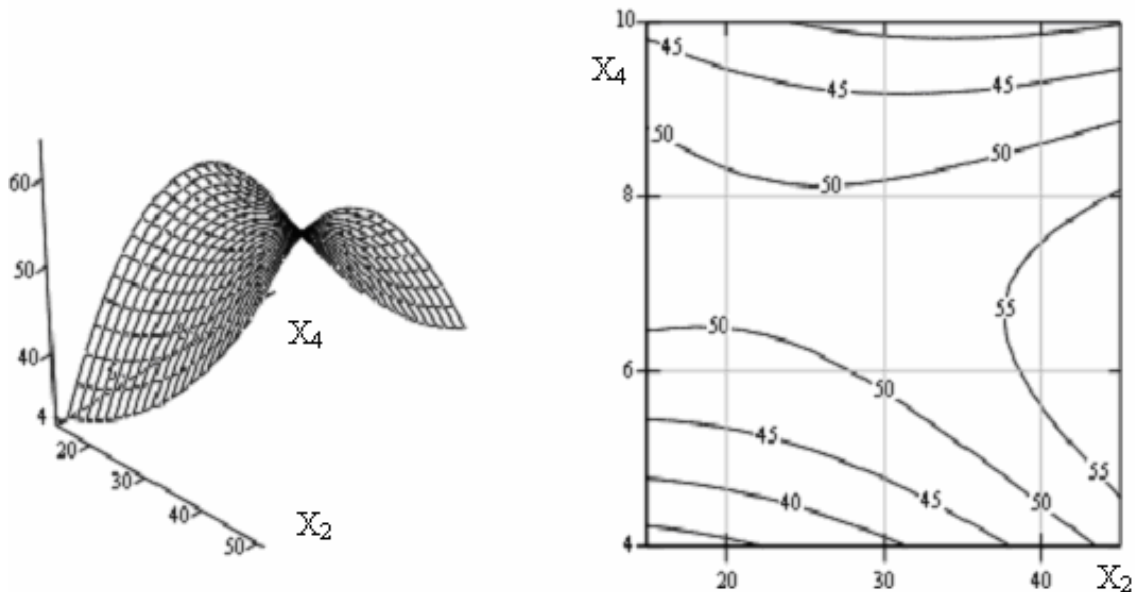


Рис. 4 . Графік и контурні криві факторів  $X_2$ ,  $X_4$ .

Коефіцієнти мають різні знаки, контурні криві являють собою гіперболи. Центр поверхні відгуку - витягнуте «сідло» або «мінімакс». В зоні оптимуму окружна лінійна швидкість від 0,27 до 0,41 м/с, вологість насіння від 7 до 9%. Центру немає.

Аналіз взаємодії факторів  $X_2$  (кут розташування валків відносно горизонту) і  $X_3$  (середній розмір насіння) встановив, що коефіцієнт обрушення в зоні оптимуму становить 50 – 60% при куті розташування валків відносно горизонту від 30 до 45 градусів та при відношення між зазором та середнім розміром насіння 0,5. Двовимірний перетин поверхні відгуку та контурні криві цих факторів наведені на рис 7.

Характер взаємодії факторів  $X_1$  (окружна лінійна швидкість) та  $X_2$  (кут розташування валків відносно горизонту) являє собою стаціонарне піднесення. Двовимірний перетин поверхні відгуку та контурні криві, що характеризує взаємодію факторів  $X_1$  (окружна лінійна швидкість) та  $X_2$  (кут розташування валків відносно горизонту) наведені на рис 8. Тому що один з коефіцієнтів близький до нуля, то центр перебуває на нескінченності. В зоні оптимуму окружна лінійна швидкість від 0,3 до 0,4 м/с.

Розкодований центр оптимуму відповідає значенням:  
 $\nu = 0,37$ ,  $\beta = 30,48$ ,  $\lambda = 0,5$ ,  $\varphi = 6,98$ ,  $K_o = 75,51\%$ .

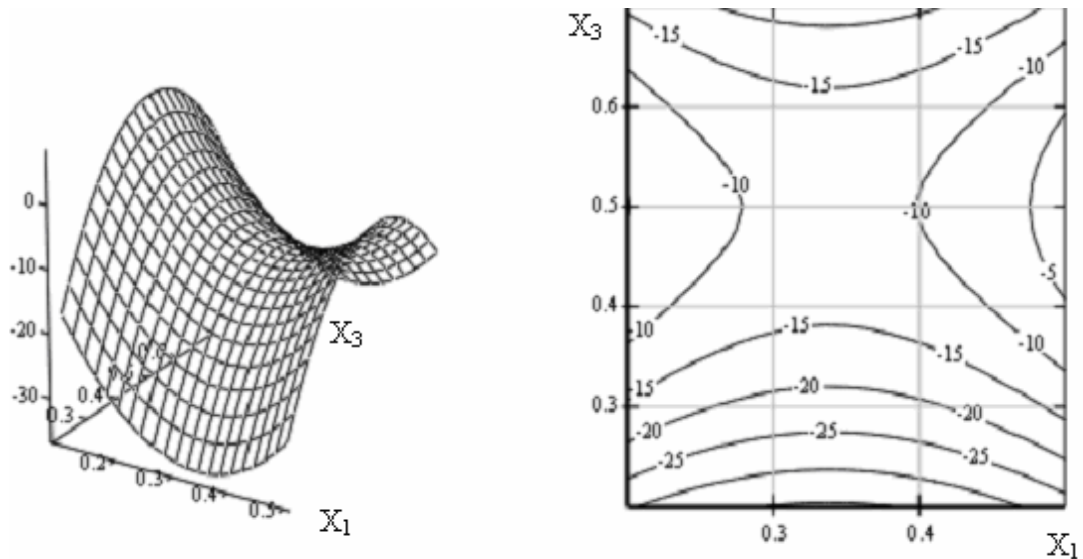


Рис.5. Графік и контурні криві факторів  $X_1$ ,  $X_3$ .

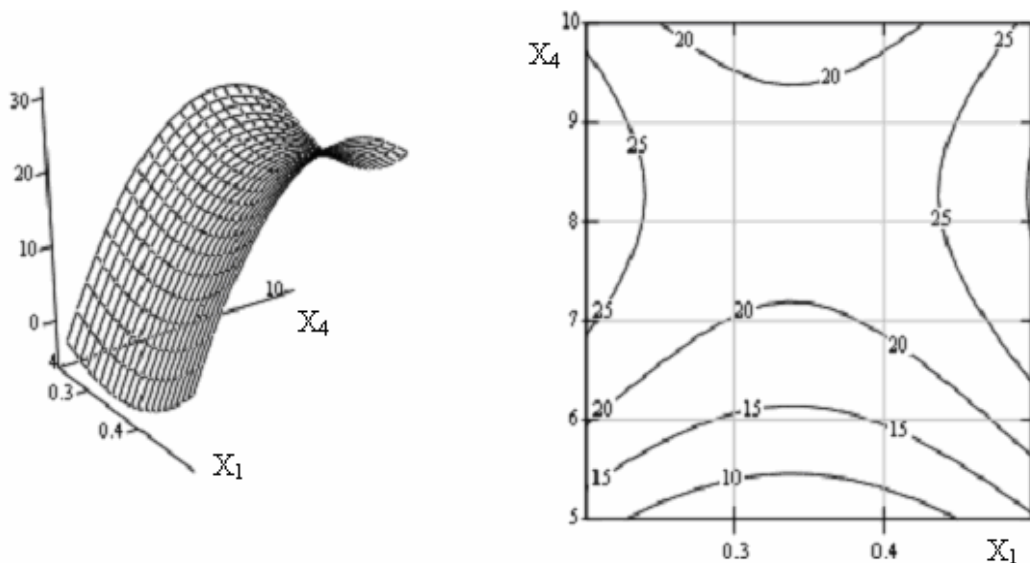
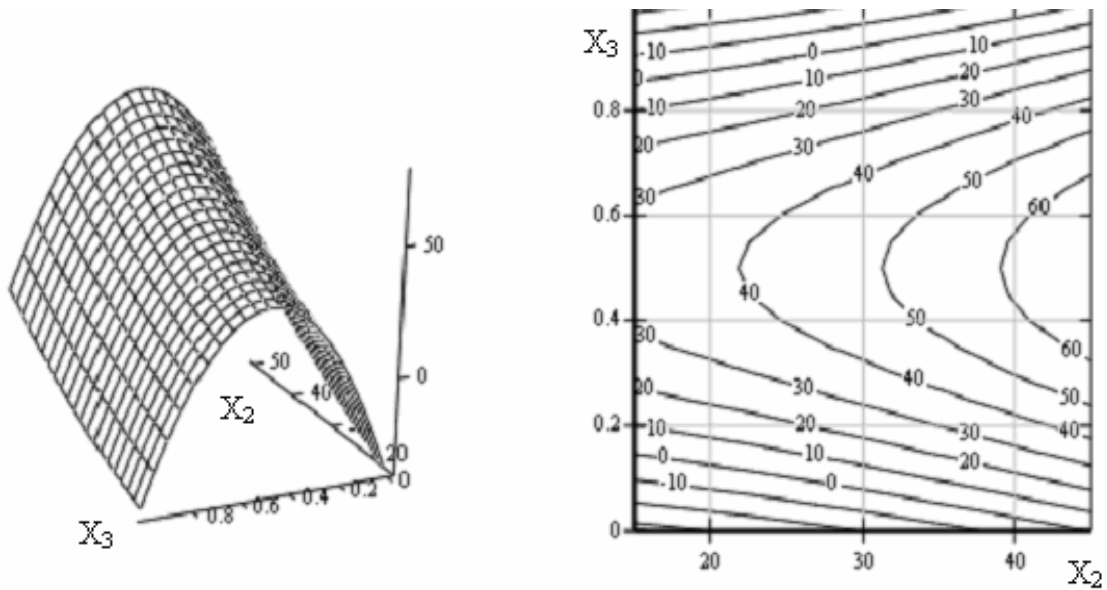
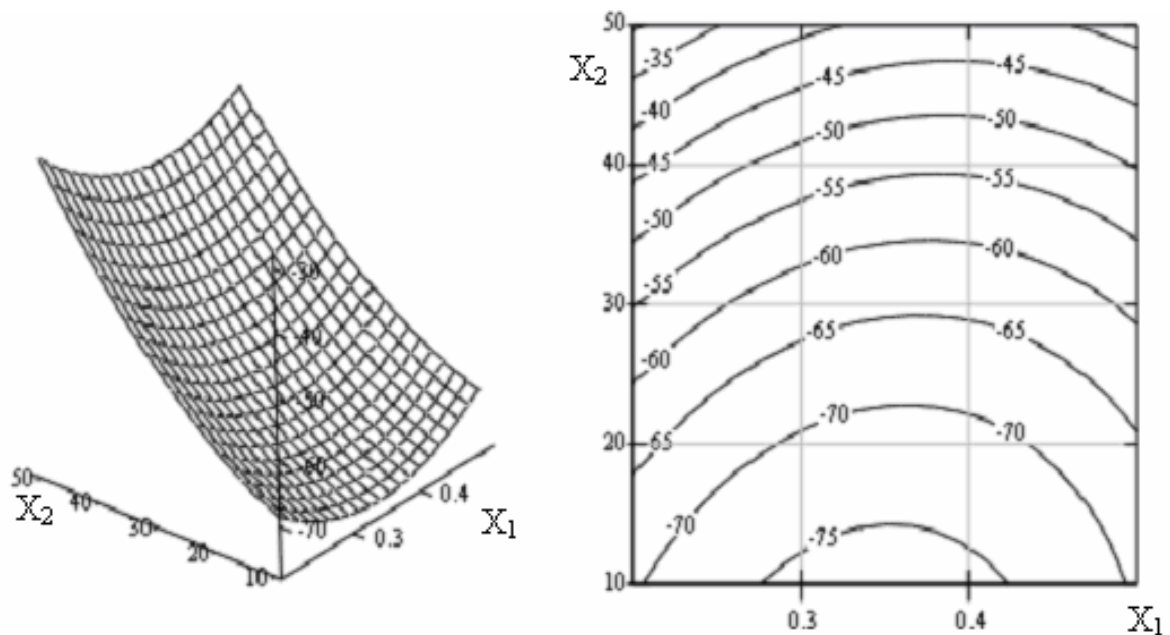


Рис.6. Графік і контурні криві факторів  $X_1$ ,  $X_4$ .

*Висновки:* Аналіз математичної моделі за методом двовимірних перетинів можливість отримання рушанки з коефіцієнтом обрушення 75,51% при наступних параметрах: лінійна швидкість валків – 0,37 м/с, кут розташування –  $30,5^0$ , відношення між зазором та середнім розміром насіння фракцій – 0,5, насіння з вологістю – 6,98%.

Рис.7. Графік і контурні криві факторів  $X_2$ ,  $X_3$ .Рис.8. Графік і контурні криві факторів  $X_1$ ,  $X_2$ .

При виконанні плану експериментальних досліджень виявлений основний недолік розробленої схеми – при калібруванні в склад дрібної фракції потрапляє повністю обрушене ядро, яке в між валковому зазорі руйнується, погіршуючи якість рушанки. Тому потрібно удосконалити схему, попереднім відділенням обрушеного ядра, яке міститься в складі насіння, що йде на переробку.

#### Література

1. Дідур В.А. Технологія безвідходної (глибокої) переробки насіння рицини / В.А. Дідур, В.О. Ткаченко, С.М. Маркелова // Праці

Таврійська державна агротехнічна академія – Мелітополь: ТДАТА, 2003. - Вип.15. – 164 с.

2. Подготовительные процессы переработки масличных семян. [Белобородов В.В., Мацук Ю.П., Кириевский Б.Н., Кузнецов А.Т].// М.: Пищевая промышленность 1974. – 336 с.

3. *Кокшарова В.А.* Переработка семян клещевины экстракционным способом без отделения лузги./ *В.А. Кокшарова* // Масло-жировая промышленность. – 1974. - №6. - С. 8.

4. *Масликов В.А.* Примеры расчетов оборудования производства растительных масел. / *В.А. Масликов* . – М: Пищепромиздат, 1959.

5. *Кошевой Е.П.* Оборудование для производства растительных масел./ *Е.П. Кошевой*. - М.: Агропромиздат, 1991. – 204с.

6. Технология производства растительных масел / [*Копейковский В.М., Данильчук С.И., Гарбузова Г.И. и др.*]; под ред. *В.М. Копейковского и С.И. Данильчук*. - М.: «Легкая и пищевая промышленность» 1982. – 416 с. – Библиогр.: с. 409.

7. *Бондарь А. Г.* Планирование эксперимента в химической технологии / *А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха* . - Издательское объединение «Высшая школа» Головное издательство 1976. - 184с.

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОБРУШИВАНИЯ СЕМЯН КЛЕЩЕВИНЫ**

В.А. Дидур, К.В. Зубкова

**Аннотация - разработана и проверена на адекватность математическая модель процесса обрушивания семянок клещевины для получения конструктивных параметров и технологических режимов машины.**

## **MATHEMATICAL MODEL OF PROCESS BRINGING DOWN OF CASTOR SEED**

V. Didur, E. Zubkova

### *Summary*

**Developed and tested on adequacy mathematical model of process of bringing down of castor species for the receipt of structural parameters and technological modes of machine.**



УДК 629.33.02.004.67:621.895

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МАГНІТНОГО ОЧИЩЕННЯ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ РІДИН ПРИ АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ

Гулевський В.Б. к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (06192) 42-23-41

**Анотація** – робота присвячена питанням забруднення і очищення мастильно-охолоджувальних рідин (МОР) в технологічних процесах відновлення деталей при ремонті транспортної техніки

**Ключові слова** – мастильно-охолоджувальна рідина, відстійник

*Постановка проблеми:* Підвищення ефективності абразивної обробки відновлених деталей внаслідок, удосконалення технологій і технічних засобів очищення мастильно-охолоджувальних рідин від механічних домішок стає дуже актуальним завданням, оскільки є вагомим резервом вдосконалення технологічних процесів ремонту деталей для збільшення надійності відновлених вузлів і конструкцій при експлуатації засобів транспорту [1]. Науково обґрунтоване рішення цих питань неможливе без аналізу складних систем і процесів взаємодії механічних домішок з магнітним полем і залучення сучасних методів дослідження: фізичного і математичного моделювання.

*Аналіз попередніх досліджень:* Відомо, що великі труднощі виникають при абразивній обробці деталей, відновлених наплавленням, металізацією напиленням і іншими методами нарощування металу [2]. Ці труднощі обумовлені нерівномірністю припусків, нестабільністю властивостей нанесеного металу і іншими чинниками, які погіршують умови роботи абразивного інструменту, при цьому однією з основних причин, що впливають на якість відновлених поверхонь деталі являється рівень забруднення МОР механічними домішками. Тверді частки, потрапляючи в зону контакту інструменту і деталі, викликають підвищений знос робочих поверхонь інструменту, погіршують мікрогеометрію обробленої поверхні деталі, викликають затуплення абразивних зерен і засалювання абразивного круга, внаслідок чого, значно звужується область стійкості процесу обробки, зростають параметри шорсткості. Оскільки значна частина механічних домішок, як правило, має магнітні властивості [3],

створюється реальна перспектива застосування методів і пристроїв для магнітного осадження цих часток [4].

*Формування мети статті (постановка завдання):* Підтвердження ефективності очищення МОР магнітному відстійнику.

*Основна частина:* Ефективність очищення МОР в магнітному відстійнику перевірялась на спеціально розробленій експериментальній установці. Випробування проводилися за загально прийнятою методикою при наступних змінюваних параметрах сили струму в обмотці електромагніту:  $I = 5; 10; 15; 20; 25; 30$  А. В якості МОР використовували 3 % - ну емульсію Укрінол-1 з вхідними концентраціями механічних домішок:  $\delta_{вх} = 0,25; 0,7; 1,0$  г/л. Для значень вхідної концентрації взяті середні гранулометричні характеристики домішок в МОР при шліфуванні відновлених колінчастих валів двигунів ЗИЛ. Граничне значення показника чистоти  $\delta_{вих}$  МОР в процесі експлуатації приймали рівним  $\delta_{вих} = 0,1$  г/л, згідно [5].

За результатами експерименту були отримані данні, які зв'язують значення показника чистоти МОР з технологічними і конструкційними параметрами магнітного відстійника  $\delta_{вх} = f$

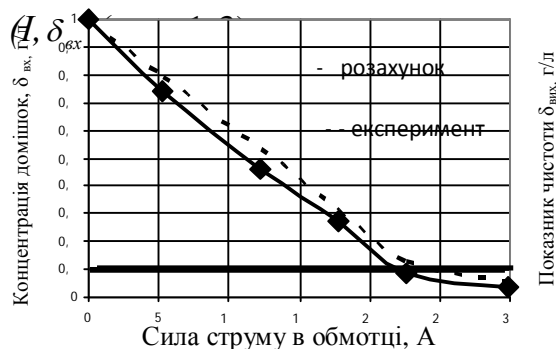


Рис. 1. Залежність показника чистоти МОР при зміні струму в обмотці при  $\delta_{вх} = 1$  г/л.

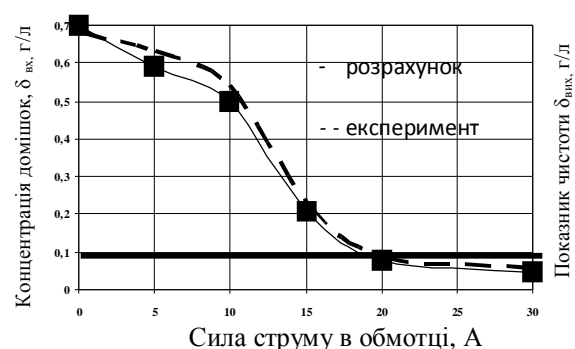


Рис. 2. Залежність показника чистоти МОР при зміні струму в обмотці при  $\delta_{вх} = 0,7$  г/л.

Погрішність експериментальних і розрахункових залежностей не перевищувала 10 %.

*Висновки.* Виконані дослідження дають можливість прогнозувати показник чистоти МОР для підвищення ефективності абразивної обробки відновлюваних деталей, що збільшує надійність експлуатації відновлених вузлів і конструкцій засобів транспорту.

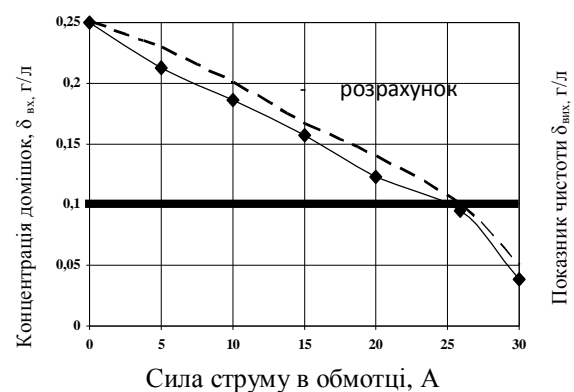


Рис. 3. Залежність показника чистоти МОР при зміні струму в обмотці при  $\delta_{вх} = 0,25$  г/л.

## Литература.

1. Просвірнін В.І. Вплив чистоти мастильно - охолоджувальних рідин на якість поверхні деталей при ремонті транспортної техніки / В.І. Просвірнін, В.Б. Гулевський, Б.В. Савченко // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут." Технології в машинобудуванні. – Харків, 2008. - №22. - С. 57-60.
2. Фролов К. В. Проблемы надежности и ресурса в машиностроении / К. В. Фролов, А. П. Гусенков. - М.: Наука, 1986. - 247 с.
3. Просвірнін В.І. Аналіз забруднень мастильно-охолоджувальних рідин при відновленні деталей транспортної техніки / В.І. Просвірнін, В.Б. Гулевський, Б.В. Савченко // Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2008.- Вип.69.– С. 162-167.
4. Чистота промышленная. Методы очистки смазочно-охлаждающей жидкости от механических примесей. Общие положения.: ГОСТ Р 52237-2004, М.: Издательство стандартов, 2004.- с.16.
5. Промышленная чистота. Жидкости смазочно-охлаждающие. Общие технические требования: ГОСТ Р 50558-93.-М.: Издательство стандартов, 1993.- 16 с.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ  
ТЕХНОЛОГИИ МАГНИТНОЙ ОЧИСТКИ  
СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ  
ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ**

В.Б. Гулевський

***Аннотация* - работа посвящена вопросам загрязнения и очистки смазочно-охлаждающих жидкостей в технологических процессах восстановления деталей при ремонте транспортной техники.**

**MATHEMATICAL DESIGN AND RESEARCH  
TECHNOLOGIES OF MAGNETIC CLEANING  
LUBRICATING-COOL LIQUIDS AT  
TO ABRASIVE TREATMENT OF DETAILS**

V. Gulevsky

***Summary***

**Work the questions of contamination and cleaning of technical liquids in technological processes of renewal of details at repair of a transport technique is devoted.**

УДК 621.3.019.3

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БЛОКУ КОНТРОЛЮ ФАЗНИХ СТРУМІВ ПРИСТРОЮ „ЧАРІВНИЦЯ-1”**

Зайцева Г.Є., інж.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел/факс (0619) 42-11-74

**Анотація** – Робота присвячена дослідженню блоку контролю фазних струмів для пристрою „Чарівниця-1”. Отримано рівняння регресії блоку.

**Ключові слова** – експериментальне дослідження, рівняння регресії, моделювання, адекватність моделі.

*Постановка проблеми.* За даними різних джерел виходить з ладу до 90% насосів, що знаходяться у експлуатації; тільки близько 50% насосних установок має захисні пристрої, але з них лише 25% відповідно настроєні. Вихід з ладу обладнання свердловини з-за недосконалості існуючих захисних пристроїв призводить до значних економічних втрат. Тому розробка технічних засобів, що забезпечують високу надійність захисту заглибних електродвигунів є актуальною проблемою.

*Аналіз останніх досліджень.* Існуючі пристрої захисту і керування, що випускаються серійно, не забезпечують достатньо надійного захисту заглибних електродвигунів, і одне з їх слабких місць – контроль фазних струмів електродвигунів. Найбільш детальніше це розглянуто у роботах [5, 6].

*Формулювання цілей статті.* Аналіз результатів експериментальних досліджень блоку контролю фазних струмів/

*Основна частина.* Блок (рис. 1) має три вхідних аналогових сигнали – робочі струми заглибного електродвигуна – та один вихідний аналоговий сигнал на відключення агрегату при аварійному струмовому режимі. Для досліду приймаємо, що фази струмів зсунуті між собою на  $120^{\circ}$ . Основний фактор, на який повинний реагувати блок – амплітуди струмів.

Як відомо [2,3,4], заглибні електродвигуни можуть витримувати 1,5 кратне симетричне тривале перевантаження без перегріву обмоток за рахунок поліпшених умов охолодження. Захист за струмом повинен

реагувати на симетричне перевантаження кратністю 1,6, струми короткого замикання, а також на відсутність струму у будь-який з фаз. Якщо захист реагує на симетричні перевантаження кратністю вище 1,6, то він буде спрацьовувати і на струми короткого замикання.

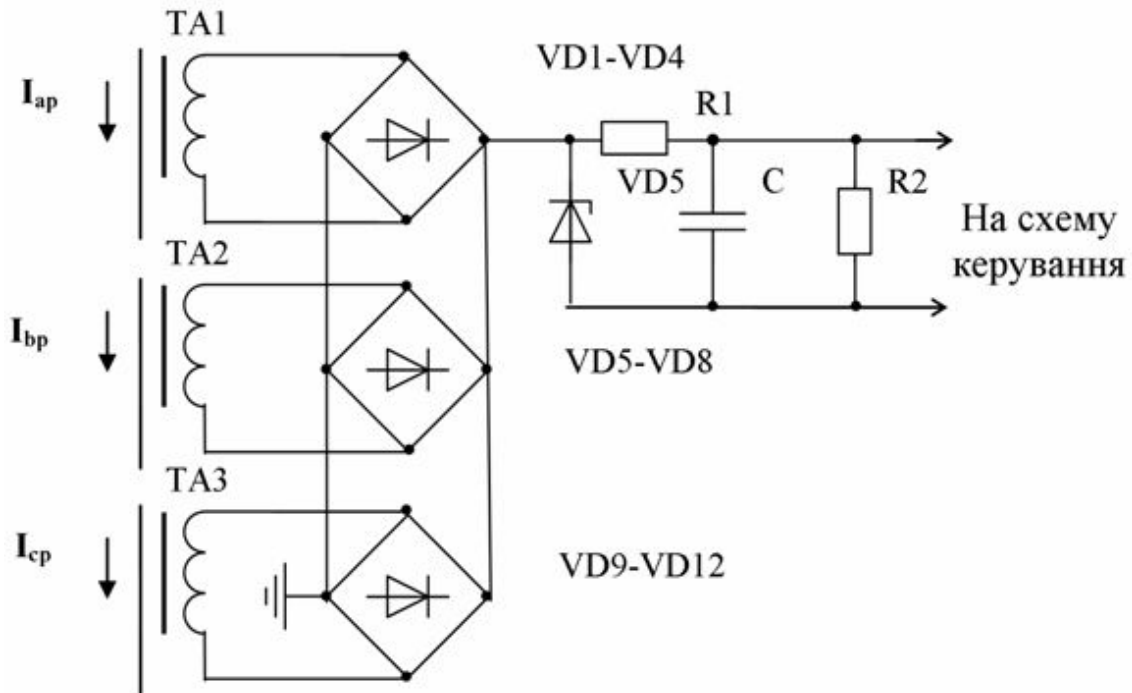


Рис.1. Схема блоку контролю фазних струмів.

Значить, верхнім рівнем фактору  $x_{iB}$  можна прийняти перевантаження за струмом кратністю 1,6, нижнім  $x_{iH}$  – відсутність струму, а нульовий рівень  $x_i^0$  розраховується за формулою:

$$x_i^0 = (x_{iB} + x_{iH})/2 \quad (1)$$

$$x_i^0 = (1,6 I_H + 0)/2 = 0,8 I_H.$$

Інтервал варіювання  $h$  визначається за формулою:

$$h = (x_{iB} - x_{iH})/2 \quad (2)$$

$$h = (1,6 I_H - 0)/2 = 0,8 I_H.$$

На вихідний сигнал – відгук у впливають не тільки фактори, але і їх взаємодія. Крім того, деякий сигнал буде спостерігатись у будь-якому режимі включеного електродвигуна за рахунок неідеально рівних параметрів фаз електродвигуна та датчиків струмів. Матимуть вплив також величини опорів  $R1$ ,  $R2$ . Досліди проводились для двигуна типа 9ПЕДВ-8-140,  $I_H = 18,0$  А. Двигуни такої потужності - одні з най поширених у сільському господарстві. Експеримент проводився за планом ДФЕ 2<sup>(5-1)</sup>. Приймаємо  $x_5 = x_2 x_4$ , з коефіцієнтів потрійних взаємодій може мати вплив лише коефіцієнт, що характеризує взаємодію амплітуд трьох фазних струмів.

Рівняння регресії за моделлю, що шукається, буде мати вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (3)$$

Кодування факторів наведено у таблиці 1. Результати експериментів та розрахунки наведено у таблиці 2.

Таблиця 1 – Кодування факторів експериментального дослідження.

Величина	I <sub>a</sub> , А	I <sub>b</sub> , А	I <sub>c</sub> , А	R1, кОм	R2, кОм
Основний рівень	10,2	10,2	10,2	1	10
Інтервал варіювання	10,2	10,2	10,2	0,1	1
Нижній рівень	0	0	0	0,9	9
Верхній рівень	20,3	20,3	20,3	1,1	11
Кодування позначення факторів	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub> = x <sub>2</sub> x <sub>4</sub>

Таблиця 2 – Результати експериментального дослідження.

U <sub>вих1</sub> , В	U <sub>вих2</sub> , В	U <sub>ср</sub>	s <sup>2</sup>
0,00	0,00	0,00	0,00
8,09	7,91	8,00	0,02
8,23	8,04	8,13	0,02
13,73	13,45	13,59	0,04
7,86	8,20	8,03	0,06
13,36	13,64	13,50	0,04
14,14	14,02	14,08	0,01
16,09	15,73	15,91	0,07
0,00	0,00	0,00	0,00
8,00	8,09	8,05	0,00
7,75	7,84	7,80	0,00
13,64	13,73	13,68	0,00
7,75	7,93	7,84	0,02
13,45	13,73	13,59	0,04
13,54	13,37	13,46	0,02
15,82	16,15	15,98	0,05
7,82	8,09	7,95	0,04

Дисперсія помилок спостережень S<sub>R</sub> визначалась за формулою:

$$S_R = \sum S^2 / (N(\gamma-1)) \quad (4)$$

За критерієм Кохрена  $G_{\text{набл}} = 0,13$ ;  $G_{\text{набл}} < G_{\text{табл}} = 0,45$  – значить, відтворюваність дослідів добра. Дисперсія відтворюваності  $D_{\text{воспр}} = 0,026$ ,  $D_{\text{вi}} = 0,0016$ .

Коефіцієнти  $b_i$ ,  $b_{ij}$  вважаються значимими, якщо

$$|b_i, b_{ij}| \geq t_{\text{кр}} \sqrt{S^2_i} \quad (5)$$

де  $t_{\text{кр}}$  – критичне значення критерію Ст'юдента. Для рівня значимості 0,05 та числа степені свободи 16  $t_{\text{кр}} = 2,12$ . Коефіцієнти  $b_4$ ,  $b_{23}$ ,  $b_{34}$  не значимі, рівняння регресії має вигляд:

$$\hat{y} = 9,98 + 2,53x_1 + 2,57x_2 + 2,54x_3 + 0,09x_5 - 0,68x_1x_2 - 0,69x_1x_3 - 0,63x_2x_3 - 0,13x_1x_2x_3 \quad (6)$$

Перевірка отриманого рівняння на адекватність проводилося за критерієм Фішера: модель адекватна, якщо

$$F = \sum_{i=1}^{\gamma} (\hat{y} - \ddot{y})^2 \cdot f_2 / (S_E \cdot f_1) = \sum_{i=1}^{\gamma} (\hat{y} - \ddot{y})^2 \cdot (N(\gamma-1)) / (S_E \cdot f_1), \quad (7)$$

Для рівня значимості 0,05,  $f_1=8$ ,  $f_2=16$   $F_{\text{кр}} = 2,59$ . За рівнянням (7)  $F = 1,61 < 2,59$ , отже, модель адекватна.

*Висновки.* Отримано рівняння моделі блоку контролю фазних струмів за яким можна досліджувати параметричну надійність та будувати допуск на вихідний параметр – вихідну напругу блоку за методикою, рекомендованою Р-50-076-98 «Метрологія. Вимірювальні інформаційні системи та автоматизовані системи керування технологічними процесами. Методика визначення характеристик похибки вимірювальних каналів, до складу яких входить обчислювальний компонент».

#### Література

1. Пат. № 40823 А Україна, МКИ<sup>6</sup>, Н02Н7/08. Станція керування та захисту заглибних електронасосних агрегатів “Чарівниця-1”/ Г.Є.Кравченко. – № 2000063515; заявл. 16.06.2000; опубл. 15.08.2001, Бюл. № 7 опубл. 2001, Бюл. № 7.

2. Гетманенко В.М. Методы и средства повышения эксплуатационной надежности электродвигателей погружных насосов: автореф. дис. канд. техн. наук./В.М. Гетманенко; МИИСП – М., 1986. – 17 с.

3. Грундулис А.О. Защита электродвигателей в сельском хозяйстве. /А.О.Грундулис– 2-е изд., перераб. и доп.– М.: Агропромиздат,

1988. –111 с.

4. *Егоров А.Е.* Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента / *А.Е.Егоров., Г.Н.Азаров, А.В.Коваль* /под ред. *В.Г.Воронова.* – Х.:Вища шк., 1986. – 240 с.

5. *Кравченко Г.Є.* Надійність системи „електродвигун – апарат захисту від аварійних режимів” для пристрою „Чарівниця-1”/ *Г.Є. Кравченко* // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 8, /ТДАТА. – Мелітополь, 2002. – С. 104-106.

6. *Кравченко Г.Є.* Захист заглибних електронасосних агрегатів / *Г.Є. Кравченко, В.Ф. Яковлев* // Вісник харківського державного технічного університету сільського господарства. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. Вип. 6 /ХДТУСГ. – Харків, 2001. – С.512-514.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БЛОКА КОНТРОЛЯ ФАЗНЫХ ТОКОВ УСТРОЙСТВА „ЧАРІВНИЦЯ-1”**

А.Е. Зайцева

**Аннотация** - работа посвящена исследованию блока контроля фазных токов устройства „Чарівниця-1”. Получено уравнение регрессии блока. Выяснено, что параметры сопротивления резистора, введенного в схему для отстройки от пусковых токов, не влияют на величину выходного сигнала.

## **EXPERIMENTAL RESEARCH OF PHASE CURRENT CONTROL UNIT OF “CHARIVNYTSA-1”**

A. Zaytceva

### **Summary**

The article is devoted to experimental research of phase current control unit of “Charivnytsa-1”. Regression equation of unit was getting up.



УДК 658.382.3:621.3:63

## МОДЕЛІ ВИМІРУ ПАРАМЕТРІВ СТАТИЧНОЇ ЕЛЕКТРИКИ

Бабенко О.М., ст. викладач

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.(0619) 42-14-38

**Анотація** – в статті описується процес виникнення зарядів статичної електрики та методи і прилади для вимірювання параметрів, які характеризують електризацію діелектриків.

**Ключові слова** – статична електрика, заряди статичної електрики, діелектрик.

*Постанова проблеми.* Поява зарядів статичної електрики внаслідок складних процесів, які пов'язані із перерозподілом електронів або іонів під час зіткнення двох різнорідних речовин, сприяє підвищенню небезпеки у пожежо- та вибухонебезпечних приміщеннях. Статична електрика може порушувати технологічні процеси, створювати перешкоди в роботі електронних приладів, автоматики та телемеханіки. Небезпека статичної електрики полягає не лише в іскровому розряді, але і за сильного уколу або поштовху, що може бути першопрчиною травми. Науковці вважають, що для запобігання шкідливого впливу статичної електрики необхідно контролювати її значення шляхом виміру відповідних параметрів [1, 4].

*Аналіз останніх досліджень.* В результаті огляду джерел інформації можна стверджувати: під час технологічних процесів у виробничих умовах спостерігається виникнення та накопичення зарядів статичної електрики. Це дозволяє виконувати вивчення причин та умов електризації, за допомогою механічних та електричних приладів проводити постійний контроль потенціалів  $U$  між зарядженим тілом і землею або заземленим предметом, поверхні площини електричних зарядів  $S$  і напругою електричного поля  $E$  [2].

*Формулювання цілей статті.* Необхідно виконувати вимір та контроль параметрів статичної електрики, що виникає у виробничих умовах та впроваджувати технології, які будуть попереджати виникнення зарядів статичної електрики.

*Основна частина.* Статична електрика виникає за рахунок тертя діелектриків один об другий, а також при переливанні або ударі рідкого

діелектрика до поверхні судин. Поява зарядів статичної електрики – це наслідок складних процесів, пов'язаних із перерозподілом електронів або іонів під час зіткнення двох різнорідних речовин. Відповідно до гіпотези про контактну електризацію речовин внаслідок неврівноваженості атомних і молекулярних сил на поверхні зіткнення утворюється подвійний електричний шар із протилежними знаками. Ці поверхні, заряджені статичною електрикою різних знаків, розглядаються як конденсатор. Зі зміною віддалі між пластинами конденсатора змінюється його ємність і напруга. Збільшення цієї віддалі, наприклад, до 1 см, зумовлює зростання потенціалу до декількох тисяч вольтів. Можливий іскровий розряд, що особливо небезпечно у вибухонебезпечних цехах.

Можливість електризації до високих потенціалів залежить від провідності речовини (тіл) і вмісту в них домішок. Вважається, що якщо питомий електричний опір тіл  $r=10^6$  Ом/см, то їх електризація через можливість іскрових розрядів особливо небезпечна.

Енергію іскри між зарядженим предметом і заземлювачем визначають за формулою:

$$W = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{Q \cdot U}{2}, \text{ Дж}, \quad (1)$$

де  $C$  – ємність зарядженого статичною електрикою предмета відносно землі, Ф;

$Q$  – величина заряду, Кл;

$U$  – величина заряду між зарядженим предметом та землею, В.

Границі зон видів фізіологічної дії на людину умовні, оскільки це залежить від індивідуальних особливостей людини та специфіки виробництва. Це особливо небезпечно для деяких пожежо- та вибухонебезпечних середовищ (об'єктів), що визначається за кривою (рис. 1).

Статична електрика може накопичуватись і на людях, особливо якщо користуватись взуттям із непровідними для електричного струму підощвами, одягом і білизною із шерсті та шовку, а також при контакті з тілами-діелектриками.

Небезпека статичної електрики полягає не лише в іскровому розряді, але і за сильного уколу або поштовху, що може бути першо-причиною травми.

Статична електрика може порушувати технологічні процеси, створювати перешкоди в роботі електронних приладів, автоматики та телемеханіки.

У виробничих умовах заряди статичної електрики виникають та накопичуються за транспортування діелектричних рідин у незаземлених ємностях і по трубопроводах, ізольованих від землі, під час протікання рідин у незаземлених цистернах і бочках, а також руху пило-повітряної суміші у трубах і апаратах (від тертя в пасових переда-

чах та шліфувальної стрічки об шківі, просочка й оброблюваний матеріал); у процесі перемішування речовин у змішувачі.

Заходи захисту від статичної електрики такі: заземлення виробничого обладнання, резервуарів, трубопроводів тощо; нейтралізація статичної електрики; регулювання швидкості взаємного переміщення речовин та стану навколишнього повітря. Заземлення є найефективнішим методом боротьби із статичною електрикою, Але не можна нехтувати й іншими заходами. Влаштовуючи заземлення, особливо турбується про його надійність. Місця можливого порушення заземлювального ланцюга (розриви конструкцій, ущільнення фланців тощо) з'єднують металевими перемичками.

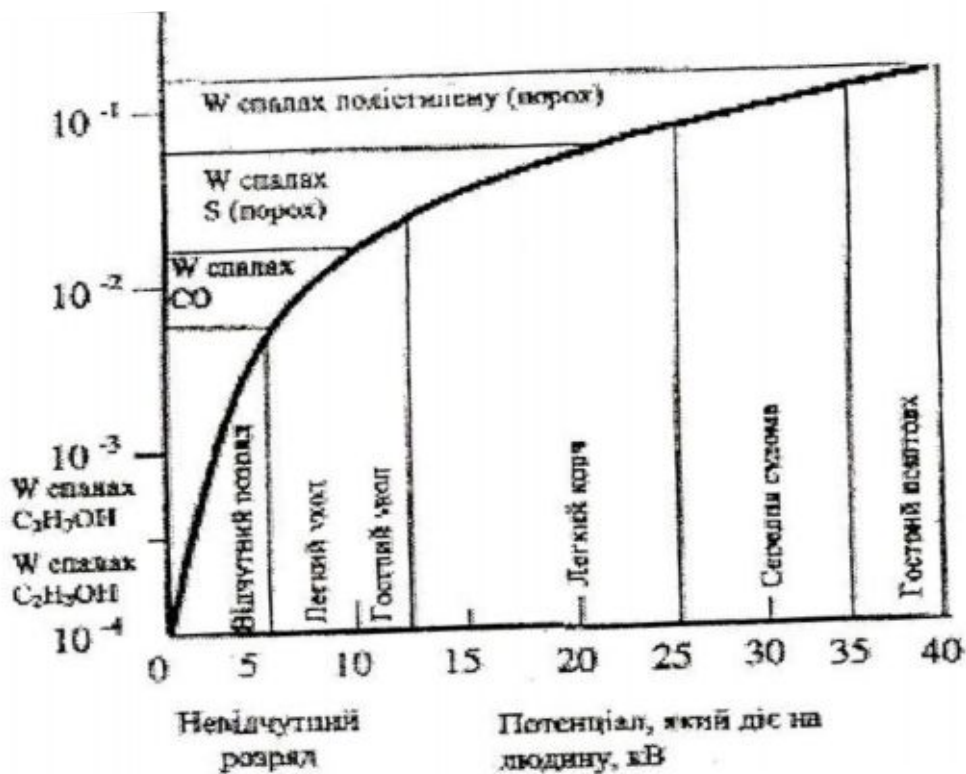


Рис.1. Залежність енергії електричного розряду від потенціалу зарядів статичної електрики.

Здебільшого рекомендується застосовувати антистатичні рукавички, які виготовляють із бавовняного пористого матеріалу, просоченого сумішшю гліцерину з водою і відтиснутого до сухого стану, та антистатичне взуття. Основними характеристиками наелектризованості тіла є кількість зарядів статичної електрики і характер їх розподілу на поверхні або в об'ємі діелектрика. Заміри параметрів статичної електрики проводять із метою вивчення причин і умов електризації та постійного контролю різниці потенціалів  $U$  між зарядженим тілом і землею або заземленим предметом, поверхні площини електричних зарядів  $S$  і напругою електричного поля  $E$ . Замір за допомогою електричної індукції базують-

ся на вимірюванні потенціалу, що накопичується на провідному тілі – зонді. Типова схема таких вимірів показана на рисунку 2.

Вимірювання густини заряду на діелектрику вимагає визначення ємності діелектрика відносно землі. Якщо напруженість поля площини наелектризованої поверхні при малих віддальх від датчика 2 до поверхні 1 (рис. 2), тоді поле над датчиком однорідне, можна судити про величину поверхневого заряду.

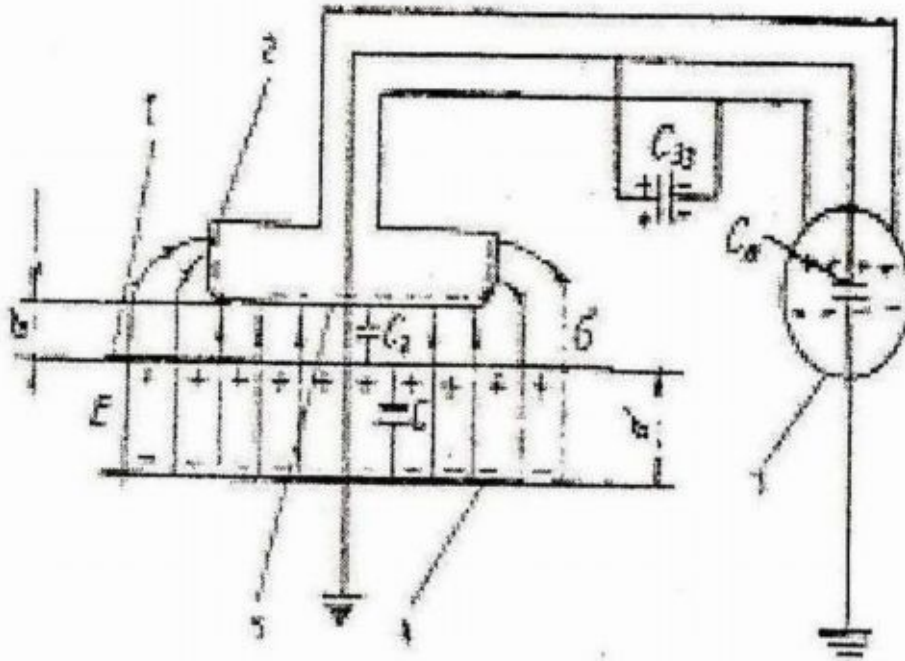


Рис.2. Схема виміру параметрів наелектризованого діелектрика за допомогою зонду: 1 - наелектризований діелектрик; 2 - електроди датчика; 3 - електрометр; 4 – заземлена поверхня; 5 – вимірювальний зонд.

За допомогою датчика можна визначити величину потенціалу поверхні за виразом:

$$\varphi = E \cdot d, \quad (2)$$

де  $E$  – вимірювана напруженість електричного поля;

$d$  – віддаль від датчика до наелектризованої поверхні.

Якщо віддаль від наелектризованої поверхні до землі, тоді поверхневий заряд визначається за виразом:

$$\sigma = \varepsilon_0 \cdot E. \quad (3)$$

Для вимірювання електричних потенціалів застосовують механічні й електричні прилади. У механічних електромірах вимірюється заряд, що подається на один із двох електродів, кулонівська взаємодія фіксується різними методами. В основу квадратних електромірів закладено принцип дії статичних вольтметрів.

Електричний заряд діє на рухомий секторний електрод, котрий під дією кулонівських сил зміщує індикатор вольтметра (рис. 3). При транспортуванні твердих речовин діелектричними стрічками від тертя об металеві шківви виникають заряди статичної електрики, що зумовлює протікання електричного струму. Величина цього струму визначається густиною заряду на стрічці, геометричними параметрами та швидкістю руху стрічки.

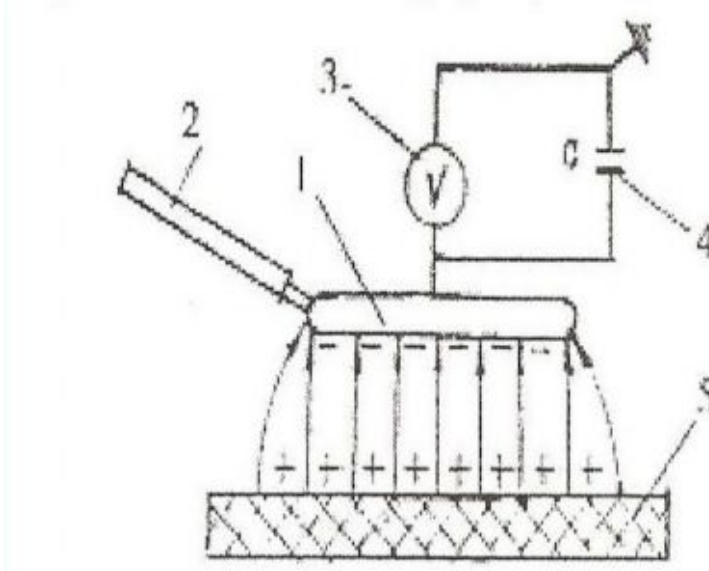


Рис.3. Схема виміру параметрів, які характеризують наелектризоване поле: 1 – зонд; 2 – ізоляційна ручка; 3 – статичний вольтметр; 4 – ємність; 5 – наелектризований діелектрик.

Згідно зі схемою (рис. 4, а), усереднена величина густина на стрічці дорівнює:

$$\sigma = \frac{I}{b \cdot V}, \text{ км/м}^2, \quad (4)$$

де  $I$  – струм у полі заземленого шківви, А;  
 $b$  – ширина стрічки, м;  
 $V$  – швидкість руху стрічки, м/с.

Аналогічним способом може бути визначена і густина заряду, який накопичує рідина. Рідина електризується найбільш сильно під час протікання через фільтр. Якщо ізольований від трубопроводу фільтр заземлити через вимірювач струму (рис 4, б), то середня об'ємна густина заряду, який одержує рідина в фільтрі, може бути розрахована за формулою:

$$\rho = I/P, \quad \text{Кл/м}^3, \quad (5)$$

де  $P$  – подача рідини через фільтр, м<sup>3</sup>/с.

У таблиці 1 наведені дані основних приладів для вимірювання параметрів статичної електрики [1, 3, 4].

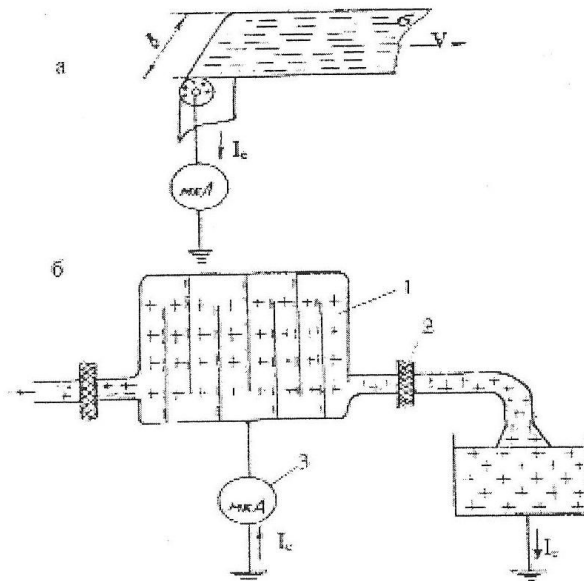


Рис. 4. Вимірювання густини заряду статичної електрики за струмом електризації: а – електризація рухомого полотна або стрічки; б – електризація рідини у фільтрі; 1 – фільтр; 2 – ізоляцію; 3 – вимірювач струму.

Таблиця 1 – Характеристика деяких приладів для вимірювання параметрів статичної електрики.

Назва приладів	Характеристика приладів і параметри вимірювання
Індикатор статичних зарядів ИСПИ – 4-//–МИЗП - 2	Потенціал зарядженої поверхні до 50 кВ. Живлення батарейне. У вибухозахисному виконанні.
Статичний вольтметр із датчиком СМ – 2/С - 95	Напруга 0,03...3кВ. Живлення батарейне. У вибухозахисному виконанні.
Електромір електронний ПК – 2 - ЗА	Потенціал поверхні та тіла людини до 50 кВ, поверхневий заряд 0,2...20 мк Кл/м <sup>2</sup>
Динамічний електромір з обертовим екраном ВИНЭП – 2	Електричне поле 3...2400 кВ/м. Живлення батарейне 1,5В. У вибухозахисному виконанні.
-//– СД - 2	Напруженість електричного поля $5 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^5$ В/м. Живлення 220В.
Електромір із динамічним конденсатором ЭД –05М	Напруженість 0...60 В, струм $10^{-14} \dots 10^{-15}$ А. Живлення 220В.
-//– ИТ 6801	Напруженість $10^{-5} \dots 10^{-2}$ В, струм $10^{-7} \dots 10^{-5}$ А. Живлення 220В
Мікроамперметр М- 95	Струм $10^{-7} \dots 10^{-4}$ А. Живлення 6...127, 220В.
Дистанційний електромір із радіоактивним датчиком ДЭС	Напруженість електричного поля до $3 \dots 10^6$ В. Живлення 220 В. вибухозахисні

Принцип роботи електростатичних приладів базується на відхиленні рухомої системи безпосередньо під дією електричного по-

ля. Ці прилади характеризуються специфічними особливостями, оскільки електроміри дозволяють вимірювати невеликі величини без контакту із зарядженим тілом.

*Висновки.* Вивчення виникнення у виробничих умовах зарядів статичної електрики, яка виникає внаслідок тертя діелектриків один об другий, а також при переливанні або ударі рідкого діелектрика до поверхні судин, дозволяє виконувати вимір та контроль її параметрів та впроваджувати технології, які будуть запобігати створенню зарядів статичної електрики.

#### Література:

1. Носовський Т.А. Основи техніки безпеки/ Т. А. Носовський. – К., 1992. – 140 с.
2. Геврик Є.О. Техніка безпеки: Навч. Посібник для студентів вищ. навч. закладів/ Є.О. Геврик, Г. В. Сомар, Н.П. Пешко. – К.: зовнішня торгівля, Ельга, 2006. – 316 с.
3. Гогіташвілі Г.Г. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами: Навч. Посіб./ Г.Г. Гогіташвілі, Є.Т. Карчевські, В.Н. Лапін. – К.: Знання, 2007.-367 с.
4. Коваль В.І. Управління охороною праці в промисловості: Навчальний посібник./ В.І. Коваль, В.А. Скороходов. – К.: ВД «Професіонал», 2005.- 448 с.

## МОДЕЛИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Е. Н. Бабенко

*Аннотация* – в статье описывается процесс возникновения зарядов статического электричества и методы и приборы для измерения параметров, которые характеризуют электризацию диэлектриков.

## MODELS OF MEASURING OF PARAMETERS OF STATIC ELECTRICITY

E. Babenko

### *Summary*

**In the article the process of origin of charges of static electricity and methods and devices is described for measuring of parameters which characterize electrization of dielectrics.**

УДК 665.2/3.067.7

## МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ, В ЕЛЕКТРОСЕПАРАТОРАХ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ СУСПЕНЗІЙ

Назаренко І.П., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-25-85

**Анотація.** В роботі надані результати математичного моделювання електричного поля, що обертається, в електросепараторах діелектричних суспензій. Здійснена візуалізація трифазного та чотирифазного електричних полів, що обертаються.

**Ключові слова** – електросепарація, частота, електрод, діелектрична суспензія, електричне поле, що обертається.

*Постановка проблеми.* Використання електричного поля, що обертається, та біжучого електричного поля в електросепараторах діелектричних суспензій засновано на різниці в електрофізичних властивостях дисперсійного середовища та дисперсної фази: діелектричній проникності та питомої електропровідності. Визначення електрофізичних характеристик середовища не є складною задачею. В літературних джерелах достатньо інформації, щодо електропровідності та діелектричній проникності очищених діелектричних рідин, таких як рослинні олії, трансформаторні масла, нафтопродукти та інші вуглеводневі рідини. На відміну від середовища, визначення характеристик зважених частинок є достатньо складною задачею з причини того, що видалення цих частинок з метою визначення їх властивостей традиційними методами приводить до зміни їх складу, стану, особливо, якщо вони мають біологічне походження. Тому доцільна розробка методів та технічних засобів визначення електрофізичних властивостей дисперсної фази безпосередню в суспензії.

*Аналіз останніх досліджень.* Для розділення діелектричних суспензій в електричних полях використовують різні підходи, але ж у всіх випадках процес залежить від різниці в електрофізичних властивостях дисперсійного середовища та дисперсної фази [1]. Зокрема в роботі [2] викладені результати теоретичних і експериментальних досліджень процесу розділення суспензій в біжучому електричному полі на прикладі соняшникової олії з домішками шроту.



Авторами показано, що застосування двох біжучих в протилежних напрямках електричних полів дозволяє розділяти суспензії з різними електрофізичними характеристиками зважених частинок.

Для визначення електрофізичних властивостей речовин застосовують різні методи, зокрема, дієлькометрію [3], що як вказувалось вище, потребує відокремлення зважених частинок від рідкого середовища і тому не дозволяє вирішити поставлену задачу. Для визначення електрофізичних характеристик частинок можливе використання явища діелектрофорезу [4]. Але цей метод непридатний для слабопровідних рідин, крім того, він ускладнюється тим, що рух частинки здійснюється в неоднорідному електричному полі.

*Формулювання цілей статті.* Робота направлена на розробку математичної моделі електричного поля, що обертається для дослідження електричних властивостей діелектричних суспензій та обґрунтування параметрів електросепараторів з біжучим електричним полем та електричним полем, що обертається.

*Основна частина.* Якщо розглянути динаміку поступового руху діелектричної частинки в неоднорідному полі, то сила, що діє на частинку залежить від її положення, тому визначення електрофізичних параметрів частинки по динаміці її руху в неоднорідному полі ускладнюється. Якщо розглядати динаміку частинки у полі, що обертається, то вказане ускладнення відсутнє. Це витікає з формули для моменту сил, що діє на частинку в полі, що обертається:

$$M = \operatorname{Im} \left( 4\pi R^3 \varepsilon_2 \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) + j \left( \frac{\sigma_1}{2\pi f} - \frac{\sigma_2}{2\pi f} \right)}{\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2 + j \left( \frac{\sigma_1}{2\pi f} + 2 \frac{\sigma_2}{2\pi f} \right)} \vec{E}^2 \right) \quad (1)$$

де  $R$  – радіус частинки, м;  
 $\varepsilon_1$  – діелектрична проникність частинки, Ф/м;  
 $\varepsilon_2$  – діелектрична проникність середовища, Ф/м;  
 $\sigma_1$  – питома електропровідність частинки, Ом·м;  
 $\sigma_2$  – питома електропровідність середовища, Ом·м;  
 $\vec{E}$  – напруженість електричного поля, В/м.  
 $f$  – частота, Гц.

Для створення електричного поля, що обертається, потрібно певним чином розташувати в просторі електроди. Відомо, що кількість електродів для цього повинна бути три і більше. Для створення симетричного поля ці електроди повинні встановлюватись вздовж кола. Наступною умовою створення електричного поля, що обертається, є зсув фаз між напругою, яка подається на електроди. Симетрія поля при цьому досягається рівним зсувом фаз між сусідніми електродами.

Симетричне поле, що обертається, значно спрощує фіксацію результатів спостереження та розрахунок динаміки з метою визначення електрофізичних характеристик зваженої частинки. Значною мірою на симетрію електричного поля, що обертається, впливає форма електродів. Як показано у роботі [5], електроди у вигляді гіперболічного циліндру мають осьову симетрію і дозволяють отримати електричне поле, що збільшується від центру пропорційно відстані. Тому нами розглянуто опис електричного поля, що обертається, для двох найпростіших випадків: три та чотири гіперболічних циліндри, що відповідає трифазному та чотирифазному полю, що обертається. Поле гіперболічного циліндру залежить від двох координат, тобто таке поле вважається плоским. Розрахунок будь якого плоского поля зводиться до рішення двомірного рівняння Лапласа при заданих крайових умовах, тобто знаходженню потенціалу  $\varphi(x,y)$ . Для вирішення задачі Діріхле скористаємося методами теорії функції комплексної змінної. Основна задача цього методу зводиться до того, щоб побудувати функцію, що здійснює конформне відображення області, комплексний потенціал, якої розшукується на область однакової зв'язності, комплексний потенціал якої відомий.

Області, що розглядаються, є однозв'язними з трьома та чотирма рукавами відповідно. Тому доцільно їх відобразити на внутрішність круга та верхню півплощину [6].

Позначимо різницю потенціалів між електродами як:

$$U_i = \varphi_i - \varphi_{i-1}, \quad (2)$$

де  $\varphi_i$  – потенціал  $i$  – го електроду, В;

$$i = 1, 2, 3; \quad \varphi_0 = 0 \text{ В.}$$

При конформному відображенні електродної області на півплощину  $\text{Im } \dot{z} > 0$  потенціал електричного поля являє собою дійсну частину комплексного потенціалу:

$$W(\dot{z}) = \frac{j}{\pi} \sum_{i=1}^N U_i \cdot \ln(\dot{z} - a_i), \quad (3)$$

де  $a_i$  – точки дійсної вісі, на які відображаються рукава смуги обмежені електродами;

Для відображення півплощини  $\text{Im } \dot{z} > 0$  на круг  $|\omega| < 1$  виконаємо дрібно – лінійне перетворення:

$$\omega = \frac{z-j}{z+j}, \quad (4)$$

яке приводить до наступної залежності комплексного потенціалу  $W$  від координат:

$$W(\dot{z}) = \frac{j}{\pi} \sum_{i=1}^N U_i \cdot \ln\left(1 - \frac{\theta(z)}{c_i}\right), \quad (5)$$

де  $\theta(z)$  – функція, що здійснює конформне відображення області на одиничний круг;

$c_i$  - координати точки одиничного кола, на які відображаються точки  $a_i$ .

Для створення трифазного електричного поля, що обертається, використовуємо електроди в формі узагальненої гіперболи третього порядку. Функція, що відображає криволінійну полосу, яка обмежена гіперболою третього порядку на одиничний круг  $|\theta| < 1$  [7]:

$$\theta = \frac{z}{(1+z^3)^{1/3}}. \quad (6)$$

Для узагальненої гіперболи третього порядку з відповідною віссю симетрії того ж порядку координати точки одиничного кола, на які відображаються точки  $a_i$ , що відповідають рукавам електродної області складають:

$$c_i = e^{j\frac{2}{3}\pi(i-1)}, \quad (7)$$

де  $i = 1, 2, 3$ .

Таким чином, кут між електродами складає  $120^\circ$ .

Для забезпечення електричного поля, що обертається, кут зсуву фаз між напругою електродів повинен також складати  $120^\circ$ :

$$U_i = U \sin\left(2\pi f + \frac{2}{3}\pi(i-1)\right), \quad (8)$$

Використовуючи формули (5),(6),(7),(8), отримуємо вираз, який описує трифазне електричне поле, що обертається:

$$W(z) = \frac{j}{\pi} U \left( \sin(2\pi f) \cdot \ln\left(1 - \frac{z}{(1+z^3)^{1/3} \cdot e^{j0}}\right) + \sin\left(2\pi f + \frac{2}{3}\pi\right) \cdot \ln\left(1 - \frac{z}{(1+z^3)^{1/3} \cdot e^{j\frac{2}{3}\pi}}\right) + \sin\left(2\pi f + \frac{4}{3}\pi\right) \cdot \ln\left(1 - \frac{z}{(1+z^3)^{1/3} \cdot e^{j\frac{4}{3}\pi}}\right) \right) \quad (9)$$

Використовуємо викладену методику розрахунку для чотири-фазного електричного поля, що обертається. При цьому врахуємо, що функція, яка відображає криволінійну смугу, обмежену гіперболою четвертого порядку на одиничний круг  $|\theta| < 1$  має вигляд:

$$\theta = \frac{z}{(1+z^4)^{1/4}}. \quad (10)$$

Для узагальненої гіперболи четвертого порядку координати точки одиничного кола, на які відображаються точки  $a_i$ , складають:

$$c_i = e^{j\frac{1}{2}\pi(i-1)}, \quad (11)$$

де  $i = 1, 2, 3, 4$ .

Для забезпечення електричного поля, що обертається, кут зсуву фаз між напругою електродів повинен складати  $90^\circ$ :

$$U_i = U \sin\left(2\pi f + \frac{1}{2}\pi(i-1)\right), \quad (12)$$

Візуалізація поля, що описується формулою (9), здійснювалась за допомогою програмних засобів системи «Matlab». Силкові та еквіпотенційні лінії цього поля показані на рисунку 1.

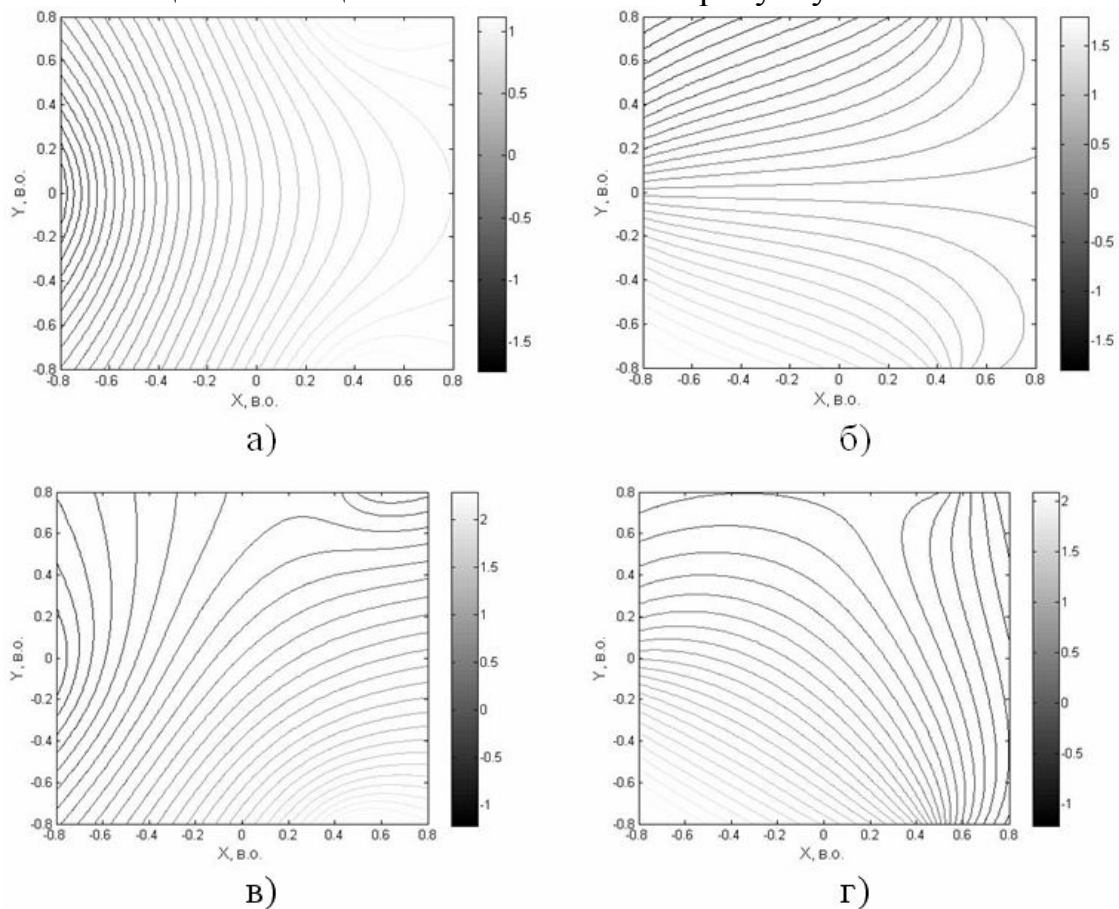


Рис.1. Трифазне електричне поле, що обертається: а - еквіпотенційні лінії при куті  $0^0$ ; б - силкові лінії при куті  $0^0$ ; в - еквіпотенційні лінії при куті  $45^0$ ; г - силкові лінії при куті  $45^0$ .

На підставі формул (5),(10),(11),(12), отримуємо вираз, який описує чотирифазне електричне поле, що обертається:

$$\begin{aligned}
 W(z) = & \frac{j}{\pi} U \left( \sin(2\pi f) \cdot \ln \left( 1 - \frac{z}{(1+z^4)^{1/4} \cdot e^{j0}} \right) + \sin \left( 2\pi f + \frac{1}{2}\pi \right) \cdot \right. \\
 & \ln \left( 1 - \frac{z}{(1+z^4)^{1/4} \cdot e^{j\frac{1}{2}\pi}} \right) + \sin(2\pi f + \pi) \cdot \ln \left( 1 - \frac{z}{(1+z^4)^{1/4} \cdot e^{j\pi}} \right) + \\
 & \left. \sin \left( 2\pi f + \frac{3}{2}\pi \right) \cdot \ln \left( 1 - \frac{z}{(1+z^4)^{1/4} \cdot e^{j\frac{3}{2}\pi}} \right) \right) \quad .(13)
 \end{aligned}$$

Силкові та еквіпотенційні лінії чотирифазного електричного поля, що обертається, показані на рисунку 2.

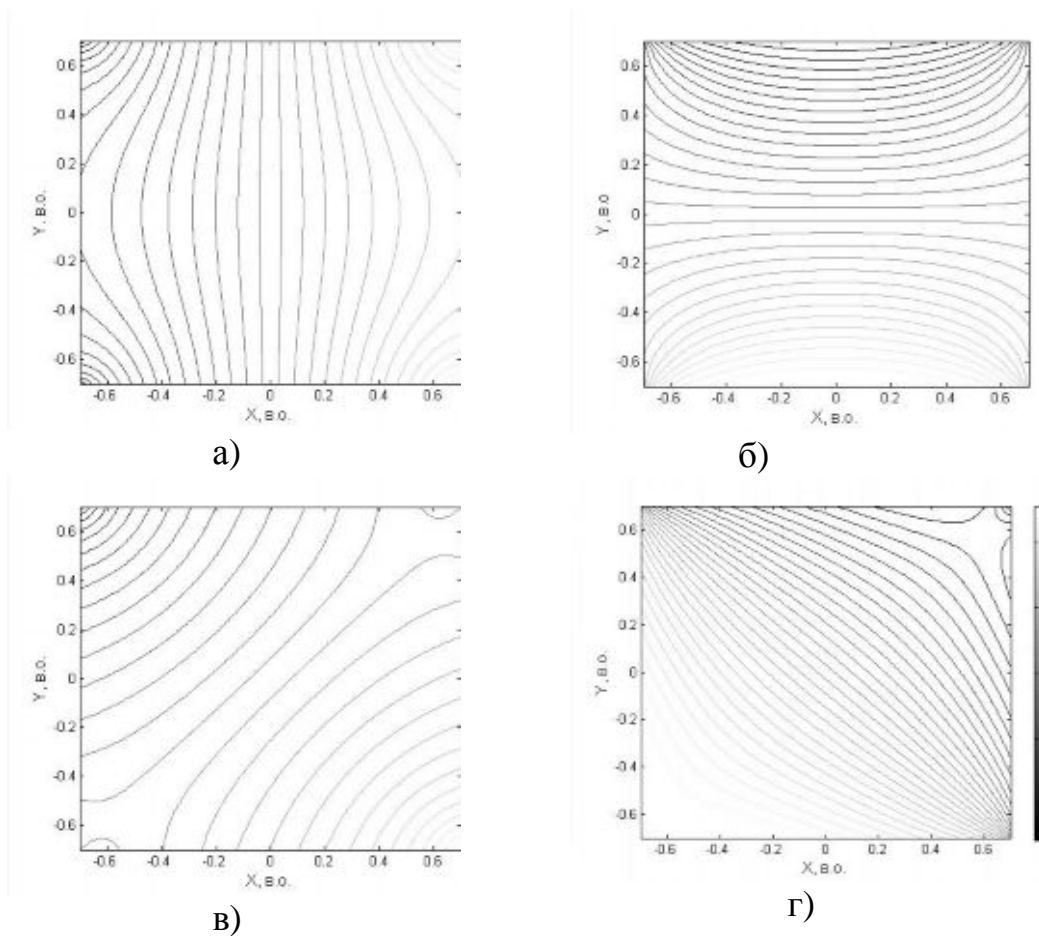


Рис.2. Чотирифазне електричне поле, що обертається: а - екіпотенційні лінії при куті  $0^{\circ}$ ; б - силові лінії при куті  $0^{\circ}$ ; в - екіпотенційні лінії при куті  $45^{\circ}$ ; г - силові лінії при куті  $45^{\circ}$ .

*Висновки.* Методи теорії функції комплексної змінної дозволили розрахувати електричне поле, що обертається. Розрахунок трифазного та чотирифазного електричного полів показав, що збільшення кількості полюсів дозволяє отримати більш однорідне електричне поле на вісі симетрії електродів. Електричне поле, що обертається, можна використовувати як для визначення електричних властивостей речовини, так і для електросепарації діелектричних суспензій. При визначенні електричних властивостей речовини дослідний зразок слід розташовувати в центрі камери.

#### Література

1. Эфендиев О.Ф. Электроочистка жидкости в пищевой промышленности / О.Ф. Эфендиев. – М.: Пищевая промышленность, 1977. –149с.
2. Назаренко І.П. Сепарація діелектричних суспензій в біжучому електричному полі / І.П. Назаренко // Науковий вісник

Національного університету біоресурсів і природокористування України / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2010.- Вип.148.- С. 117-122.

3. Пиротти Е.Л., Мунтян В.А. Расчетные соотношения для определения электрофизических параметров веществ с использованием бисферического резонатора / Е.Л. Пиротти, В.А. Мунтян // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Мелітополь: ТДАТА. – 2004. – Вып. 24. – С. 110 - 117.

4. Шилов В.Н. Диэлектрофорез наноразмерной частицы / В.Н. Шилов // Коллоидный журнал. – 2008.- т. 70. - №4. - С. 559 – 571.

5. Назаренко І.П. Теоретичні дослідження енергетичних показників камерного електросепаратора / І.П. Назаренко, М.О. Рубцов // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / відп. за вип. В. А. Дідур. - Мелітополь, 2009. - Вип. 9, т. 2. - С. 68-73.

6. Миролюбов Н.Н. Методы расчета электростатических полей / Н.Н. Миролюбов, М.В. Костенко, М.Л. Левинштейн, Н.Н. Тиходеев. – М.: Высшая школа, 1963. - 415 с.

7. Лаврентьев М.А. Методы теории функции комплексного переменного/ М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат.- М.: Наука, 1987. – 740 с.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ЭЛЕКТРОСЕПАРАТОРАХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СУСПЕНЗИЙ**

И.П. Назаренко

*Аннотация* - в работе предоставлены результаты математического моделирования вращающегося электрического поля в электросепараторах диэлектрических суспензий. Осуществлена визуализация вращающихся трехфазного и четырехфазного электрических полей.

## **DESIGN OF ELECTRIC-FIELD WHICH IS REVOLVED, IN THE ELECTRO-SEPARATORS OF DIELECTRIC SUSPENSIOIDSS**

I. Nazarenko

### *Summary*

**In work the results of mathematical design of the revolved electric field are given in the electric separators of dielectric suspension. Visualization of revolved three-phase and four-phase the electric fields are carried out.**

УДК 621.928:633.8

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПОПЕРЕДНЬОЇ СЕПАРАЦІЇ ОЧЕСЕСАНОГО ВОРОХУ РИЦИНИ

Герей Е.Е., асп.\*

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 44-02-74

**Анотація** - робота присвячена визначенню раціонального способу сепарації обчесаного вороху рицини, шляхом аналізу існуючих способів очистки насінневого матеріалу, і на його основі побудовано принципову схему роботи машини для попередньої сепарації очосаного вороху рицини.

**Ключові слова** - рицина, обчесаний ворох, коробочка, попередня сепарація, конвеєрне решето.

*Постановка проблеми.* Існуюча технологія збирання насіння рицини має ряд недоліків, а саме: великі втрати врожаю, підвищений рівень енергетичних затрат при обмолоті, невелику продуктивність.

Підвищити ефективність збирання насіння рицини можна за рахунок використання методу зчісування рослин на корені. Найбільш ефективним методом збирання на наш погляд є зчісування зернової частини врожаю в полі та доробку вороху в стаціонарних умовах. Доробка обчесаного вороху на стаціонарі складається з таких операцій: попередня сепарація вороху, домолот коробочок, сепарація зерна. Не достатньо розвинутою ділянкою у даній технологічній схемі є попередня сепарація вороху.

*Аналіз останніх досліджень* показує, що багато уваги приділяється дослідженням, та розробці машин для попередньої сепарації вороху, отриманого методом очосу, в основному для насіння зернових культур та плодів ягід, а от дослідженням та розробкою машин попередньої сепарації зчесаного вороху рицини практично ніхто не займався [1,2].

*Формулювання мети.* Визначити раціональний спосіб розділення обчесаного вороху рицини, шляхом аналізу існуючих способів сортування насінневого матеріалу, та на його основі побудувати принципову схему роботи машини для попередньої сепарації очосаного вороху рицини.

*Основна частина.* Науковцями ТДАТУ створено експериментальний очосуючий модуль для двохфазного збирання насіння рицини методом очосу на корені в результаті роботи якого отримується ворох (рис. 1.) Фракційний склад очосаного вороху приведений на діаграмі (рис. 2) Як видно з рисунку 1, 2 очосаний ворох включає коробочки рицини, як цілі, так і розламані, значну масу рослинної частини: стебла і листя, а також сторонні домішки, що обумовлено станом агрофону перед збиранням врожаю рицини.

Дослідами М.И. Хотулева, В.А. Мошкина и А.В. Жуковой доведено, що найкраще розділення насіння рицини досягається сортуванням за товщиною, для чого рекомендовані решета з продовгуватими отворами. Сорти рицини умовно можна розділити на три групи: дрібнонасінні, середньо насінні та крупно насінні.



Рис. 1. Очосаний ворох.

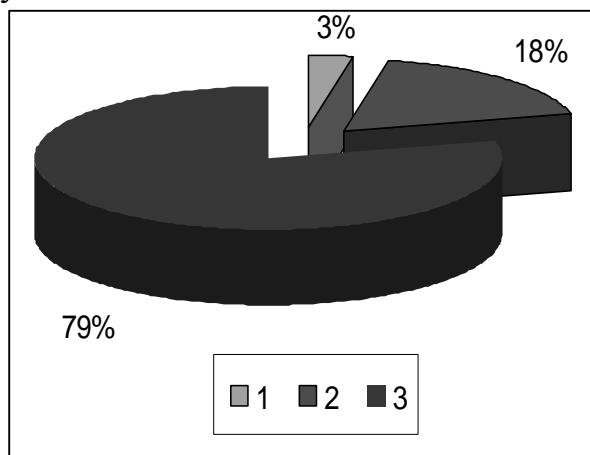


Рис. 2. Фракційний склад очосаного вороху: 1. домішки; 2. рослинна маса; 3. коробочки.

Розміри цих груп приведені в таблиці 1. В кожній групі містяться дуже близькі за розміром компоненти, що ускладнює їх розділення.

Насіння очищають на основі використання наступних фізичних властивостей насіння і відділяємих домішок:

- ширини й товщини (на ситах із круглими, довгастими, прямокутними отворами);
- довжини (у трієрах);
- форми (на ситах з отворами трикутної форми);
- аеродинамічних властивостей (у пневмосепаруючих каналах);
- щільності, індивідуальної маси, станів поверхні (на пневматичних сортувальних столах, зерноситовіючих машинах і ін.);
- магнітних властивостей.



Таблиця 1 - Розміри компонентів насіння рицини.

Група	Компоненти	Довжина		Ширина		Товщина	
		від	до	від	до	від	до
дрібнонасінні	<b>Насіння</b>	9,5	13,0	6,5	9,8	4,5	7,2
	Третинки	-	-	7,6	10,3	5,1	8,5
	Обрушене насіння	-	-	5,1	8,4	3,6	6,0
середньо насінні	<b>Насіння</b>	9,8	13,5	6,7	10,2	4,7	7,6
	Третинки	13,0	19,0	7,5	11,9	5,6	9,3
	Коробочки	13,1	18,9	14,0	18,1	13,9	17,7
	Обрушене насіння	-	-	6,2	8,6	4,0	6,5
крупно насінні	<b>Насіння</b>	12,9	17,0	7,9	11,5	5,7	8,2
	Третинки	15,9	21,9	8,8	12,3	7,0	10,1
	Коробочки	15,5	21,5	14,6	19,6	-	-
	Обрушене насіння	-	-	7,2	10,1	4,9	7,3

Процес сепарування насіння організують з урахуванням підбору відповідних машин, що забезпечують найбільшу ефективність очищення в залежності від змісту й характеру домішок і від необхідної якості насіння, що очищаються.

Операційна схема процесу післязбиральної обробки вороху рицини приведена на рисунку 3.

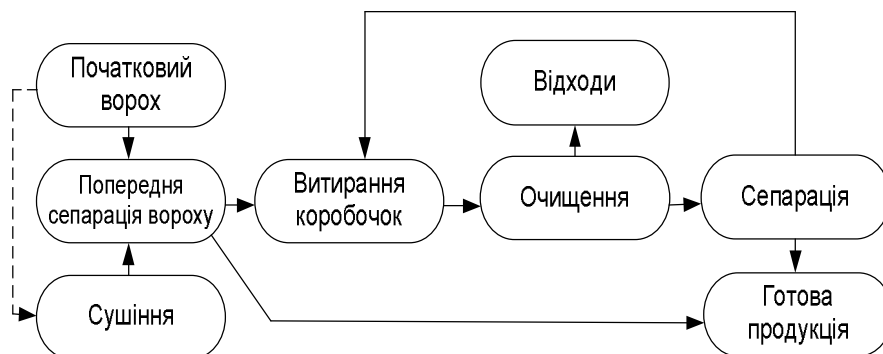


Рис. 3. Операційна схема процесу післязбиральної обробки вороху рицини.

Обробка очоаного вороху виконується в такій послідовності:

1. Сушіння – доведення вороху рицини до придатної для обробки вологості;

2. Попередня сепарація очосаного вороху - відділення вільного (витертого) насіння від вороху, а також органічних та мінеральних домішок;

3. Витирання - руйнування коробочок рицини й виділення насіння;

4. Очищення насінного вороху від залишків насінних оболонок;

5. Сепарація насінного вороху й виділення витертого насіння.

По своїм фізико-механічним властивостям обчесаний ворох рицини має високу щільність та погану сипучість, через вміст домішок та біологічну особливість коробочок. На жаль усе відоме устаткування для попередньої очистки вороху, навіть після переобладнання, не повністю, або частково задовольняє вимоги до якості та продуктивності його обробки. Тому виникає необхідність у створенні машини для попередньої сепарації вороху рицини, що враховуватиме його фізико-механічні та біологічні особливості. Поставлену задачу можна вирішити за допомогою машини принципова схема роботи якої представлена на рисунку 4. Запропонована машина складається з

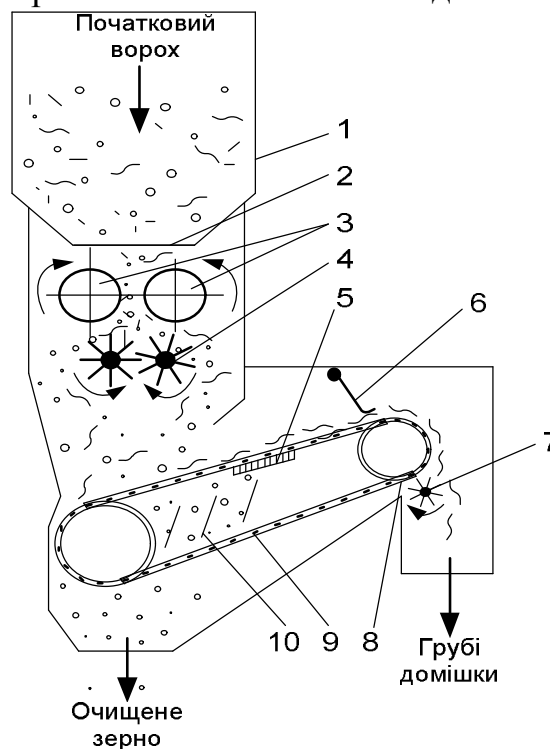


Рис. 4. Принципова схема роботи машини для попередньої сепарації очосаного вороху рицини.

Дана машина працює наступним чином: просушений ворох подається в загрузочний бункер 1, далі через регулюєму заслонку 2 він пропускається між парою прорезинених валків 3, які обертаються в різних напрямках з різною кутовою швидкістю, для того щоб розтрощити цілі коробочки і тим самим збільшити сипучість вороху. Далі розплющений ворох потрапляє на пальцевий розрихлювач 4, для того щоб розтягнути сплющену масу вороху, після цього він сиплеться на зовнішню поверхню конвеєрного решета 9 що виконано в виді безкі-

нечного полотна. Крупні та соломисті домішки, що виділяються решетом, утримуються на поверхні полотна звідки виводяться в окремий бункер. Для запобігання забивання полотна на машині встановлено встряхувач решета, а також його очищає очищаюча щітка 7. Зерно та третинки які пройшли крізь решето, по направляючим зсипається в окремий бункер.

*Висновок.* Проведений аналіз літературних джерел та фракційного складу очесаного вороху дали змогу розробити принципову схему машини для попередньої сепарації вороху рицини, особливістю якої є те, що перед подачою вороху на сито, він проходить стадію розтрощення коробочок, і розрихлення сплющеного вороху.

#### Література

1. Воронов И.Г. и др. Очистка и сортирование семян. / И.Г. Воронов – М.: Сельхозгиз, 1959.
2. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / Под ред. Е.С. Босого – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1978 – 568с.
3. Кленин Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы. / Н.И. Кленин, В.А. Сакун – 2-е изд., перераб. и доп –М.: Колос, 1980. – 671 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СЕПАРАЦИИ ОЧЕСАННОГО ВОРОХА КЛЕЩЕВИНЫ

Э.Э.Герей

*Аннотация* -. работа посвящена определению рационального способа сепарации очесанного вороха клещевины, путем анализа существующих способов очистки семенного материала, и на его основе построено принципиальную схему работы машины для предварительной сепарации очесанного вороха клещевины.

## MODELLING OF PROCESS OF PRELIMINARY SEPARATION COLLECTED OF LOTS RICIN

E. Gerey

#### *Summary*

The robot it is devoted definition of a rational way of separation collected lots ricin, by the analysis of existing ways of clearing of a seed material, and on its basis it is constructed the basic scheme robots of the car for preliminary separation collected of lots ricin.

УДК 634.1.055

## МОДЕЛЮВАННЯ ДІЇ ПОСТІЙНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ДЕРЕВА

Тараканов О. В., асп. \*

*Таврійський державний агротехнологічний університет,**E-mail: tav2010@inbox.ru*

**Анотація** – робота присвячена математичному моделюванню процесу впливу постійного магнітного поля на кореневу систему плодкових дерев.

**Ключові слова** – постійне магнітне поле, дерева, залежність, коренева система.

*Постановка проблеми.* Сучасне сільськогосподарське виробництво знаходиться у постійному розвитку, сприяючи при цьому впровадження нових технологій. Наведена методика пропонує популярний у наш час вплив на молекулярному рівні. Постійне магнітне поле фіксованої величини регулює якість вихідної продукції у плодкових дерев черешні, оскільки відомо, що магнітне поле низької інтенсивності наряду з іншими способами спроможне змінити інтенсивність розвитку рослини [1, 2].

*Формулювання цілей статті.* Мета статті полягає у визначенні математичного зв'язку між магнітною індукцією та електричним струмом, що утворює постійне магнітне поле (МП).

*Основна частина.* Установка складається з плодового дерева (2х річний паросток черешні «Шанс»), що поміщене у вазон (рис. 1). Навколо ємності намотана котушка  $W$ , що утворює МП і живиться від джерела  $G$ . Котушка закріплена на одному рівні з коренем рослини. Параметри експерименту контролюються приладами  $PV$ ,  $PA$ ,  $PB$  (наприклад, цифровий мікротесламетр с магніторезистивним датчиком НМС1022 для вимірювання індукції слабих магнітних полів). Вазони з дослідними деревами знаходяться у приміщенні (Рис.2). Таким чином моделювання впливу МП на дерева являє собою залежність магнітної індукції в дослідному об'єкті від величини електричного струму котушки, що утворює це поле:

$$B = W \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot \frac{I}{2R}, \quad (1)$$

де  $W$  – кількість витків котушки,  $W = 46$ ;  
 $\mu_0$  – магнітна постійна,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Н/А<sup>2</sup>;  
 $R$  – радіус кривизни провідника котушки,  $R = 0,22$  м;  
 $I$  – струм, що протікає по котушці, А;  
 $\mu$  – магнітна проникність ґрунту.

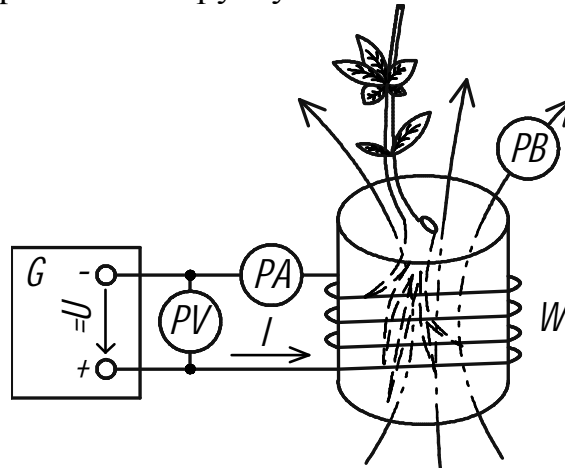


Рис.1. Структурна схема впливу магнітного поля на дослідний зразок

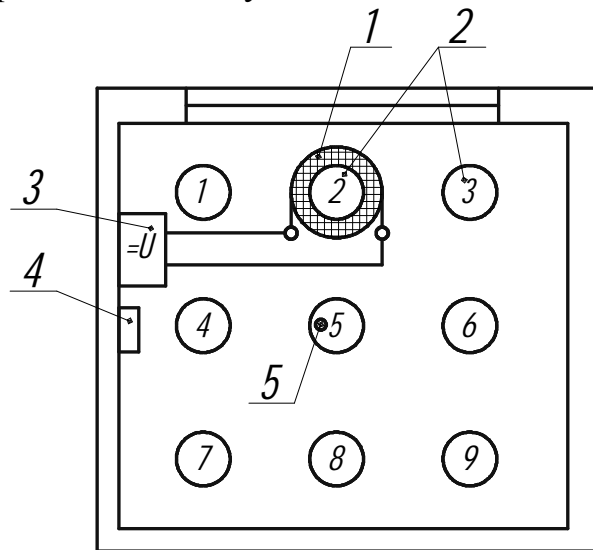


Рис.2. Загальний вид приміщення з дослідними зразками:

1 – котушка; 2 – пронумеровані вазони з дослідними деревами;  
 3 – джерело постійного струму; 4 – психрометр, підвішений до стіни; 5 – термометр, встановлений у ґрунт.

$$\mu = 1 + \chi, \quad (2)$$

де  $\chi$  – магнітна сприйтливність ґрунту,  $\chi = (563 \dots 729) \cdot 10^{-9}$  [3]

$$\mu = 1 + 600 \cdot 10^{-9} = 1,00 \quad (3)$$

Якщо змінювати електричний струм у межах 0...1 А то залежність  $V=f(I)$  буде мати вигляд (рис. 3).

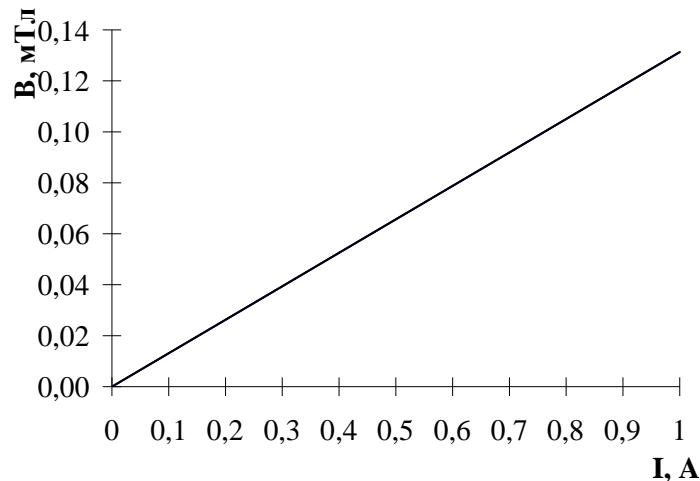


Рис.3. Графік залежності магнітної індукції (В) в ґрунті від струму (І).

*Висновки.* Проведені розрахунки показали, що при незмінних умовах оточуючого середовища залежність  $B = f(I)$  буде мати вигляд прямої пропорційності і характеризуватися рівнянням:

$$y = 0,0131x - 0,0131 \quad (4)$$

#### Література

1. Коваль С.Ф. Растение в опыте: Монография / С.Ф Коваль, В.П. Шаманин. - Омск, 1999. - 204 с.
2. Методы биохимического исследования растений. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Агропромиздат, 1987.-430с.
3. Куценко Ю.М. Особливості впливу ЕМП на життєдіяльність гетерогенних структур./ Ю.М. Куценко, А.В. Сухорада //Матеріали VI Міжнародної наукової конференції “Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища”.– К., 2005.- С. 179-181.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ, ДЕЙСТВУЮЩЕГО НА ДЕРЕВЬЯ

А. В. Тараканов

*Аннотация* – работа посвящена математическому моделированию процесса влияния постоянного магнитного поля на корневую систему плодовых деревьев.

### DIRECT MAGNETIC FIELD, WHICH INFLUENCING ON TREES

A. Tarakanov

#### *Summary*

The article figures out dependence between magnetic induction and electrical current in coil.

УДК 633.853.55

## **РОЗРОБКА МОДЕЛІ ГІДРОФІКОВАНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ЗБИРАННЯ РИЦИНИ МЕТОДОМ ОЧІСУВАННЯ НА КОРЕНІ**

Дмитрієв О.В.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (06192)-6-74-41

**Анотація** – робота присвячена дослідженню існуючих методів і засобів механізованого збирання рицини, а також обґрунтування технологічної схеми та конструкції очісувальної напівнавісної машини.

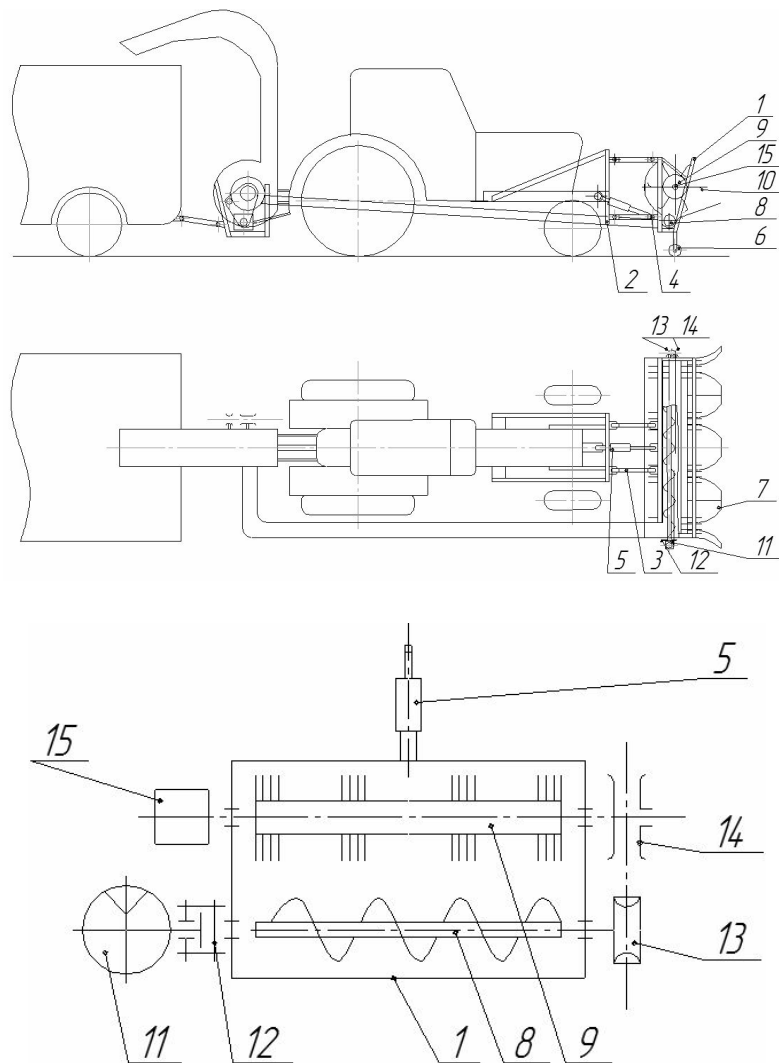
**Ключові слова** – рицина, очісувальний барабан, шнек, люфтера, передня навіска, пружинні пальці.

*Постановка проблеми.* Вирішуючи проблему дефіциту нафтопродуктів з'являється необхідність пошуку шляхів заміни нафтової сировини для виробництва паливно-мастильних матеріалів. Відомо, що цукровий буряк, ріпак і рицина - це ті сільськогосподарські культури, ефективне виробництво і переробка яких може вирішити цю проблему. Що стосується збирання рицини, то всі існуючі обладнання мають багато недоліків, тому є сенс вдосконалити процес збирання рицини.

*Аналіз публікації.* Згідно поставленої проблеми по необхідності вирощування рицини вченими Таврійського державного агротехнологічного університету присвячений ряд наукових праць, та проведена робота з розробки інтенсивної технології і методики її збирання методом очісування на корені. Розроблено технологічну схему експериментального очісувального модуля, та проведені дослідження які показали що середні значення втрат коробочок рицини з циліндричним барабаном та з пружними робочими елементами складають 2,39%, що є задовільним результатом.

*Мета та задачі дослідження.* Розробити технологічну схему, та сконструювати машину для збирання рицини, методом очісування рослини на корені.

*Основна частина.* На базі модуля пропонується зробити напівнавісну машину в агрегаті з трактором МТЗ-82 і гідрофікувати її.



а

б

Рис.1. Загальна технологічна схема (а) і кінематична схема (б) напівнавісної машини для збирання рицини:

1 – корпус, 2 – передня навіска трактора, 3 – тяги, 4 – пальці, 5 – гідравлічний циліндр, 6 – опорні колеса, 7 – люфтера, 8 – шнек, 9 – очісуючий барабан, 10 – пружинні пальці, 11 – гідромотор, 12 – запобіжна муфта, 13 – шків, 14 – варіатор, 15 – датчик обертання барану.

Машини складатиметься з двох частин: жниварки, яка буде знаходитися попереду трактора, для того щоб було зручно вибрати раціональний спосіб руху МТА, і транспортуючого пристрою, який буде знаходитися позаду трактора. Ці дві частини з'єднують трубопроводом (повітряпроводом). Конструктивно розраховано, що жниварка очісує одразу чотири рядки. Колеса трактора і жниварки будуть рухатися по міжряддю і жниварка не буде чіпляти сусідні рядки.

Жниварка складається з корпусу 1, який начіпляється на передню навіску трактора 2, за допомогою тяг 3, закріплених з обох сторін шарнірно пальцями 4, підйом жниварки виконує закріплений шарнірно



з обох сторін гідравлічний циліндр 5, привід отримує від розподільника. Знизу корпус підтримують опорні колеса 6, вони ж задають необхідну висоту відриву коробочок, перед збиранням рицини регулюються по висоті телескопічно і фіксуються пальцями. Спереду жниварки розташовані люфтера 7 центри щілин яких точно співпадають з центрами рядка рослин. В рамі змонтовані: шнек 8, очісуючий барабан 9, з пружинними пальцями 10. Шнек отримує привід від гідромотору 11, який вмикається розподільником через запобіжну муфту 12, і за допомогою ремінної передачі, що складається з шківа 13, варіатора 14, з'єднаних між собою ременем, передає крутний момент на очісуючий барабан, з іншого боку якого влаштований датчик обертання барану 15. Так як в нашому випадку задньої навіски не буде, то варіатор регулюватиметься розподільником від цих виходів.

Транспортуючим пристроєм виступає вентилятор з пневмомагістралями у якого частина всмоктувального повітря-проводу буде виконана із гнучкого еластичного матеріалу, завдяки чому буде мати змогу вигинатися при підйомі (опусканні) жниварки. Транспортуючий пристрій начіпляється на задню частину трактора, привід отримує від валу відбору потужності. До задньої частини приєднується причеп для нагнітання коробочок рицини.

Принцип роботи: при русі МТА рослини поступають в направляючі щілини люфтерів, коробочки рицини захоплюють пружинні пальці очісуючого барабану, відривають їх і подають на шнек. Шнек направляє коробочки в правий бік жниварки, де знаходиться всмоктувальна труба. Проходячи через цю трубу, коробочки потрапляють у вивантажувальну трубу і вилітають в причеп. Якщо в жниварці по якійсь з причин зупиниться шнек, або очісувальний барабан, спрацює запобіжна муфта, а датчик подасть сигнал в кабінку трактора, про негайну зупинку гідромотору.

*Висновки.* Переваги запропонованої машини полягають у простоті конструкції, по відношенню з існуючими рицино збиральними комбайнами. Швидкої підготовки до роботи. Меншими затратами на ТО, ремонт і на витрати паливно-мастильних матеріалів, що дозволить значно знизити собівартість продукції, зменшити строки збирання культури.

#### Література

1. Розробка технологій і технологічного обладнання для глибокої переробки насіння рицини: звіт про НДР (проміжний) ТДАТА; кер. В. А. Дідур; виконавець С.В. Головін. Тема 1.16; №ДР0104У003927Ш006. — Мелітополь: ТДАТА, 2006. - 39 с.

2. Головін С.В. Результати досліджень фізико-механічних властивостей рицини / С.В. Головін // Праці ТДАТА.- Мелітополь, 2008. - Вип.8.-С. 45-51.

3. Головін С.В. Розробка конструкції машини для збирання рицини методом очісування на корені / С.В.Головін // Праці ТДАТУ.- Мелітополь, 2009. -Вип.9.-С. 208-213.

4. Галлы на уборке [Электронный ресурс]/ Александр Дранишников // Зерно. – 2007. – №9. – Режим доступа к публикации: <http://zerno-ua.com/?p=1366>

5. Скуратович А. Очесывающей жатки с помощью метода «ФСА+ТРИЗ» [Электронный ресурс]/ Александр Скуратович, Петр Чуксин, Николай Шпаковский. – Режим доступа к публикации: <http://www.metodolog.ru/01343/01343.html>

6. Очесывающая жатка "Агро-Союз - Славянка" [Электронный ресурс]. - Режим доступа к публикации: <http://www.agrosoyuz.ua/products/techniks-energo/reaping-machine>

7. Чуксин П. И. Использование метода ФСА+ТРИЗ для совершенствования очесывающего зерноуборочного устройства [Электронный ресурс]/ П. И. Чуксин, А. И. Скуратович, Н. А. Шпаковский. - Режим доступа к публикации: <http://www.trizmink.org/e/248013.htm>

8. Использование очесывающих жаток - гарантия своевременной уборки урожая без потерь [Электронный ресурс]. - Режим доступа к публикации: <http://www.farmer.ru/sovet/rasteniievodstvo/42885>

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ГИДРОФИЦИРОВАННОЙ МАШИНЫ ДЛЯ СБОРА КЛЕЩЕВИНЫ МЕТОДОМ ОЧЁСА НА КОРНЮ**

О.В. Дмитриев

*Аннотация* - работа посвящена исследованию существующих методов и средств механизированного сбора клещевины, а также обоснование технологической схемы и конструкции очёсывающей полунавесной машины.

## **HYDRAULIC MACHINE MODEL WORKING OUT FOR CASTOR-OIL PLANT HARVESTING BY COMBING**

O. Dmitriev

### *Summary*

The paper is devoted to the research of existing methods and means for mechanized castor-oil plant harvesting as well as technological scheme and construction of semi-mounted combing machine substantiation.

УДК 611:612:631.31

## БИОНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Бабицкий Л.Ф., д.т.н., акад.

Москалевич В.Ю., к.т.н.

*Южный филиал НУБиП Украины*

*«Крымский агротехнологический университет»*

*Тел/факс (0652) 26-38-23*

**Анотація** – запропоновано схему біонічного моделювання ґрунтообробних робочих органів. Розглянуто напрями застосування біонічних моделей до підвищення ефективності технологічних процесів механічного обробітку ґрунту.

**Ключові слова** – обробіток ґрунту, системний підхід, біоніка, біологічний прототип, модель.

*Постановка проблеми.* Обработка почвы, как один из наиболее важных и энергоёмких процессов в сельскохозяйственном производстве, требует применения системного подхода к обоснованию технологии её выполнения. Почва является сложной биологической системой, от показателей функционирования которой зависит урожайность сельскохозяйственных культур, поэтому анализ взаимодействия с ней почвообрабатывающих орудий следует проводить с использованием принципов общей теории систем.

*Анализ публикаций.* Основы бионического моделирования заложены в трудах основоположника земледельческой механики В.П. Горячкина, который рассматривал движение мобильных агрегатов по аналогии с движением животных [3]. На необходимости учитывать свойства почвы как живой материи при построении рабочих процессов сельскохозяйственных машин акцентировал внимание доктор технических наук А.Н. Гудков [4]. Созданию и развитию биосистемного подхода в почвообработке посвящены исследования доктора технических наук, профессора Л.Ф. Бабицкого [2].

*Постановка задачи.* В этом аспекте необходимо рассматривать систему «почва-растение» с внедрением в неё механического рабочего органа. Поскольку в живую биологическую систему внедряется искусственный рабочий орган, требуется обосновать их совместимость.

*Основная часть.* Весьма перспективным в этом плане является применение принципов и методов бионики для обеспечения надёжного функционирования такой системы с искусственным рабочим органом. При этом в первую очередь в систему «почва-растение» вводится биологический прототип, как более совместимый с ней, а затем по бионическому прототипу моделируется рабочий орган. Схема моделирования такой бионической системы представлена на рис. 1.

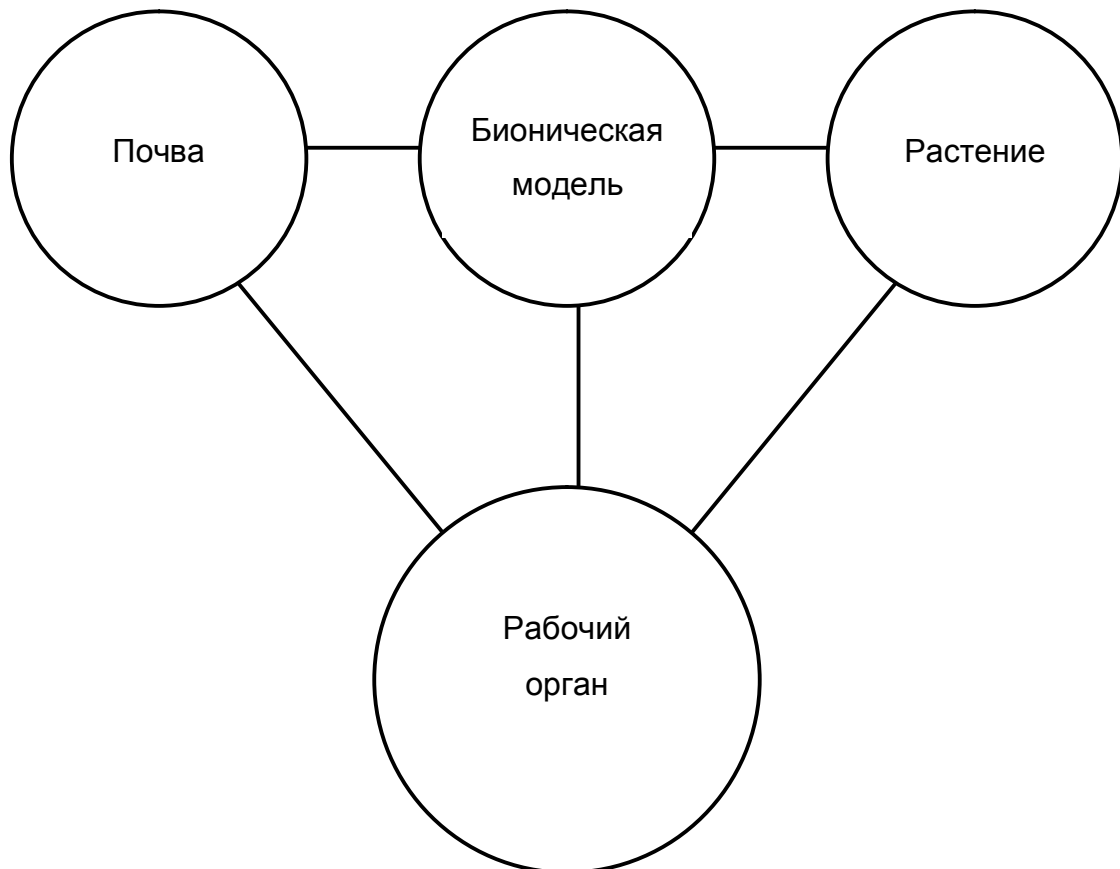


Рис. 1. Схема бионического моделирования почвообрабатывающих рабочих органов.

В качестве биологических прототипов следует выбирать организмы, обладающие свойствами, соответствующими назначению создаваемых технических решений. Для рабочих органов почвообрабатывающих машин такими прототипами могут быть роющие млекопитающие (крот, землеройка, броненосец, сурок и др.), почвообитающие насекомые (медведка, жук-носорог) и их личинки, а также земляные черви.

Функции рытья у жука-носорога и медведки выполняют передние ноги, хорошо приспособленные для копания и перемещения почвы. Копающая конечность медведки имеет лапку с четырьмя выступающими зубцами. У жука-носорога имеются толстые копательные передние ноги с тремя большими зубцами [2]. Такие роющие конеч-

ности биологических прототипов, оказывающие прерывистое в пространстве и периодическое во времени действие на почву, могут служить основой для бионического моделирования зубчатых рабочих органов безотвальных плугов, щелевателей и культиваторов-плоскорезов.

Двухсторонний зубчатый нож плоскорезной лапы содержит основание 1 и лезвия 2 с выступами 3 и впадинами 4, описанными дугами окружностей с радиусами 5 и 6, равными половине максимальной ширины 7 ножа, при этом выступы и впадины лезвий с обеих сторон основания расположены друг против друга с шагом 8, равным максимальной ширине ножа (рис. 2).

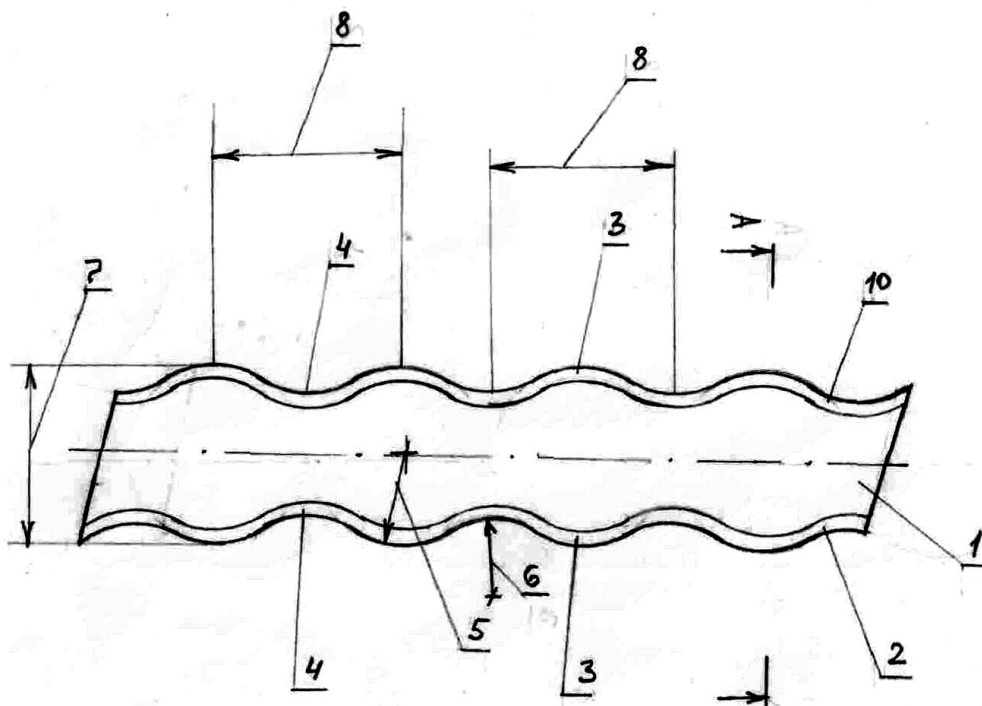


Рис. 2. Двухсторонний зубчатый нож плоскорезной лапы.

При установке на лапу плоскореза и заглаблении ножа в почву выступы 3 первыми врезаются в пласт почвы и, за счет значительного своего выдвигания вперед по отношению к впадинам 4, выступы 3 повышают концентрацию напряжений в почве по всей длине лезвия ножа, значительно снижая тем самым перепад между напряжениями и давлением на лезвие почвы между кромками лезвий у носка лапы и у противоположного края ножа, что повышает равномерность износа и срок службы ножа. Такое исполнение двухстороннего ножа плоскорезной способствует увеличению срока службы ножа и улучшению качества обработки почвы [8].

Стенка тела дождевого червя состоит из пяти основных слоёв: тонкой неклоточной кутикулы, кожного эпителия, состоящего из одного слоя клеток, двух слоёв мускулатуры (наружного кольцевого и

внутреннего продольного) и внутреннего слоя эпителия, ограничивающего вторичную полость тела, в которой располагаются внутренние органы. Эта полость, заполненная прозрачной жидкостью, содержащей взвешенные в ней клетки, разделена тонкими мускулистыми перегородками на отдельные отсеки, соответствующие наружной сегментации тела. Жидкость, заполняющая полость тела, не сжимается и поэтому служит червю хорошим «гидравлическим скелетом».

Когда червь зарывается в землю с поверхности или прокладывает новый ход в толщине почвы, он действует своим передним концом как клином, расталкивая частицы почвы в стороны (рис. 3). Если червю не удастся найти трещину в почве, он начинает вонзять в нее переднюю часть, ударяя изнутри зевом, приводимым в действие с помощью гидродинамического механизма. Продолав брешь в почве, червь увеличивает давление в передней части тела, которая расширяется одновременно с образующимся отверстием. Повторяя описанные выше движения, червь продвигается в почве [5]. Перечисленные особенности строения тела червя и его движения позволяют применить к нему реологическую модель упруго-вязкого тела Кельвина-Фойгта, в котором упругий и вязкий элементы соединены параллельно.

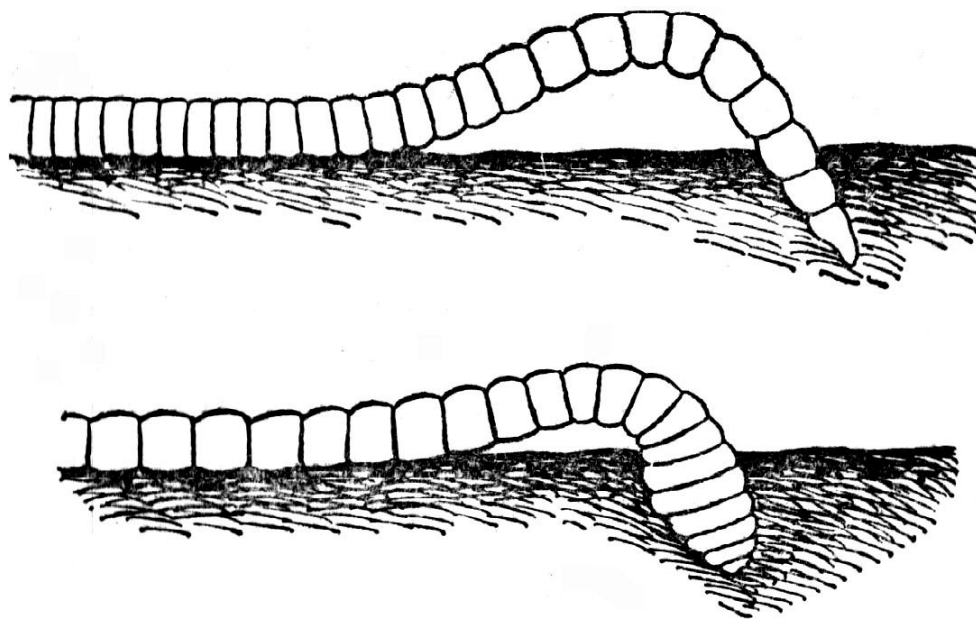


Рис. 3. Дождевой червь, внедряющийся в почву.

Почва представляет собой сочетание твердого, жидкого и газообразного компонентов. Поэтому при построении реологической модели почвы необходимо представить ее квазиоднофазной средой, когда соотношение фаз в единице объема не изменяется или изменяется незначительно. Поскольку почва обладает совокупностью упругих, вязких и пластических свойств, то для описания её состояния в целом можно использовать обобщенную упруго-вязко-пластическую модель

[6]. Для решения конкретных задач по взаимодействию рабочих органов с почвой целесообразно использовать упрощенную ее реологическую модель, состоящую из параллельно соединенных тел Максвелла и Сен-Венана.

На основании вышеизложенного модель взаимодействия дождевого червя с почвой представим в следующем виде (рис. 4).

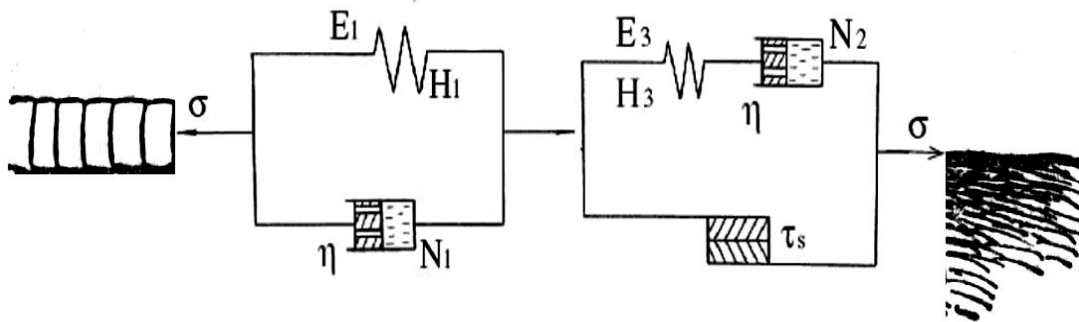


Рис. 4. Модель взаимодействия дождевого червя с почвой.

Левая часть модели, описывающая червя, представляет собой реологическое тело Кельвина-Фойгта, а правая часть, изображающая почву – тело Максвелла-Сен-Венана.

Предлагаемая модель (рис. 4) позволяет составить уравнения связи деформаций и напряжений модели взаимодействия червя и почвы:

$$\sigma_K = \sigma_{H1} + \sigma_{N1}, \quad (1)$$

$$\sigma - \tau_s = \sigma_{H3} + \sigma_{N2}, \quad (2)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{H3} + \varepsilon_{N2}. \quad (3)$$

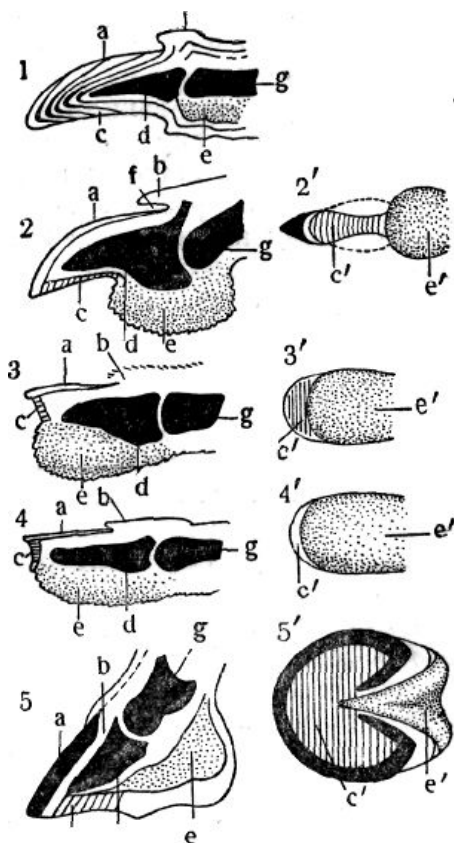
Подставляя в уравнения (1-3) зависимости между деформациями и напряжениями для входящих в модель простых реологических тел, получим дифференциальные уравнения, решение которых позволит найти связь между деформациями и напряжениями рассматриваемой модели:

$$\sigma_K = E\varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (4)$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d\varepsilon_{H3}}{dt} + \frac{d\varepsilon_{N2}}{dt}, \quad (5)$$

$$\frac{d\varepsilon_{N2}}{dt} = \frac{\sigma_{N2}}{\eta} = \frac{\sigma - \tau_s}{\eta}. \quad (6)$$

При моделировании почворезущих деталей в качестве бионических прототипов предлагается использовать когти и зубы животных. Наконечник с формой когтя имеется у очень многих животных: амфибий, рептилий и птиц, а также у большинства стопо- и пальцеходящих млекопитающих. Среди последних когти особенно сильно развиты у хищных животных. На когте выделяют когтевой валик с когтевым желобом, когтевую стенку с венчиком и когтевую подошву (рис. 5). Коготь предохраняется от стирания особыми эластическими связками [1].



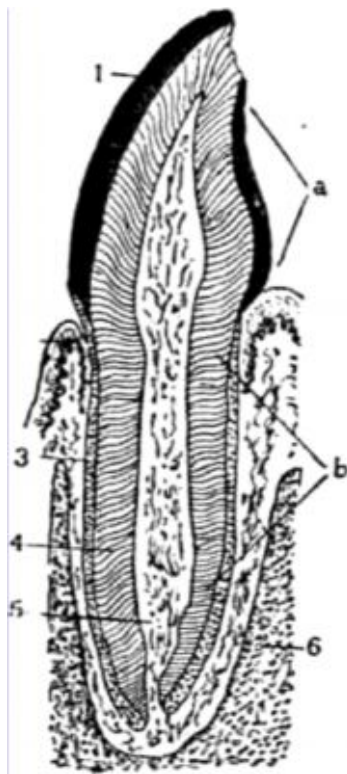
- 1 - коготь крокодила;  
 2, 2' - коготь и пальцевый мякиш хищных животных;  
 3, 3' - коготь и пальцевый мякиш обезьяны;  
 4, 4' - коготь и пальцевый мякиш человека;  
 5, 5' - копыто и пальцевый мякиш лошади;  
 а - когтевая, ногтевая и копытная стенки;  
 б - когтевой валик и копытный венчик с копытной каймой;  
 с, с' - когтевая, ногтевая и копытная подошвы; d - третья фаланга пальца;  
 е, е' - пальцевый мякиш;  
 f - когтевой желоб;

Рис. 5. Схема строения когтей у различных животных.

У большинства зубов принято различать резко выраженную коронку, шейку, которая представляет суженную его часть, следующую за коронкой, и корень. Различают резцовые зубы, клыки и коренные зубы. У грызунов резцы растут длительное время со стороны корня,



выдвигаясь по мере стирания. Постоянные резцовые зубы имеют форму слегка изогнутой, с заострённым краем лопатки, причём коронка резко отделяется от округлого корня шейкой (рис. 6). Постоянные резцы у лошадей обладают характерной формой изогнутых клиньев. Такие зубы в течение жизни животного выдвигаются из челюсти продолжительное время.



- a* — коронка; *b* — корень; 1 — эмаль;  
 2 — десна; 3 — цемент; 4 — дентин;  
 5 — полость зуба с пульпой;  
 6 — вентральная челюсть.

Рис. 6. Продольное сечение резцового зуба жвачных животных.

Поверхность резца, направленная в сторону губы, выпукла по длине зуба. Противоположная язычная поверхность вогнута по длине и от коронки к корню также суживается. Режущая, или трущаяся, поверхность коронки несёт на себе две выступающие складки эмали. Эмаль одевает почти весь дентин, а на режущем конце зуба загибается.

Необходимо отметить, что режущие части когтей и зубов имеют криволинейную форму и состоят из слоёв разной твердости, причём более твёрдый слой имеет выпуклую поверхность, а менее твёрдый – вогнутую. Такое строение обеспечивает эффект самозатачивания и длительного поддержания остроты режущей кромки, что представляет интерес с точки зрения моделирования почворезущих деталей.

Принцип выдвигания режущих частей когтей и зубов животных реализуется в предложенной модели культиваторных лап благодаря тому, что на верхнюю поверхность каждого из крыльев основы лапы устанавливаются накладки, которые выступают за линию лезвий

крыльев, а на передню част лапы, по ее оси, поверх накладок устанавливается сменный носок, который выступает за линию лезвий накладок, при этом накладки и носок устанавливаются с возможностью перестановки вдоль оси лапы, а их толщина меньше толщины основы лапы [7]. При работе таких лап обеспечивается поддержание на протяжении продолжительного времени в определенных пределах необходимой толщины кромки их лезвий культиваторных лап, снижение удельного тягового сопротивления почвообрабатывающего агрегата и эксплуатационных затрат при обработке почвы.

Особенности строения когтей и зубов животных использованы при моделировании почворезущих деталей, состоящих из двух слоёв материала разной твердости. В модели лезвия такой детали обеспечение прочного соединения твердого слоя с основой лезвия, увеличение долговечности работы лезвия и обеспечение достаточной остроты его кромки достигается тем, что на рабочую поверхность 3 его основы 1 наносят износостойкий материал слоем значительно большей толщины, чем при известных способах упрочнения, прогревают переднюю часть 8 основы и дополнительно соединяют между собою основу и слой износостойкого материала путем механического ударного воздействия с взаимопроникновением слоев основы 1 и износостойкого материала 2 и изменением формы задней плоскости лезвия по линии 7, кривизна которой направлена в сторону основы лезвия (рис. 7).

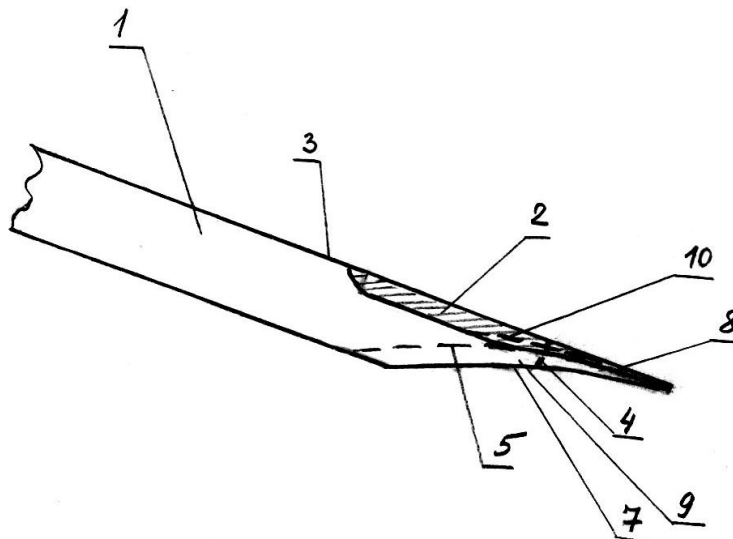


Рис. 7. Схема предлагаемого способа упрочнения лезвий.

Для восстановления утраченной вследствие износа остроты кромки лезвия, упрочненного предлагаемым способом, нагревают его переднюю изношенную часть 9 и изменяют форму задней плоскости лезвия путем механического ударного воздействия на слои основы 1 и износостойкого материала 2, при этом задняя плоскость основы будет ограничена линией 5, а слой износостойкого материала – линией 10.

При этом удаления материала основы не происходит, что способствует значительному увеличению ресурса лезвия. Заостренность кромки лезвия, упроченного предложенным способом, значительно выше заостренности кромки лезвия, упроченного существующими способами, что дополнительно будет способствовать снижению тягового сопротивления и улучшению качества обработки почвы [9].

*Выводы.* Предлагаемая схема бионического моделирования почвообрабатывающих рабочих органов дает возможность создавать новые их типы, максимально адаптированные к почве как элементу биологической системы. Изучение взаимодействия земляных червей с почвой на основе реологических моделей позволяет описать этот процесс дифференциальными уравнениями и в результате их решения найти связь между деформациями и напряжениями. На основе бионического анализа строения режущих и роющих приспособлений животных предложены новые технические решения почворежущих деталей, использование которых будет способствовать улучшению качества обработки почвы, повышению надежности рабочих органов и технологического процесса, а также снижению эксплуатационных затрат при обработке почвы.

#### Литература

1. *Акаевский А.И.* Анатомия домашних животных / *Акаевский А.И.* – М.: Колос, 1975. – 592 с.
2. *Бабицький Л.Ф.* Біонічні напрямки розробки ґрунтообробних машин / *Леонід Федорович Бабицький.* – К.: Урожай, 1998. – 164 с.
3. *Горячкин В.П.* Собрание сочинений: в 3 т. / *В.П. Горячкин.* – М.: Колос, 1968. – Т. 2. – 1968. – 454 с.
4. *Гудков А.Н.* Теоретические основы построения рабочих процессов сельскохозяйственных машин с учетом характера живой материи растений, животных, почвы / *А.Н. Гудков* // *Земледельческая механика.* – М.: Машиностроение, 1966. – Т9. – С. 86-97.
5. *Жизнь животных:* в 7 т. / [ред. *Ю.И. Полянский*]. – М.: Просвещение, 1987. – Т.1: Простейшие. Пластинчатые. Губки. Кишечнополостные. Гребневики. Плоские черви. Немертины. Круглые черви. Кольчатые черви. Щупальцевые. – 1987.– 448 с.
6. *Кушнарёв А.С.* Механико-технологические основы обработки почвы / *А.С. Кушнарёв, В.И. Кочев.* – К.: Урожай, 1989. – 144 с.
7. Пат. 24403 України, А01В 33/00. Лапа культиватора / *В.І. Тарасенко, Л.Ф. Бабицький, В.П. Сальніков*; заявник і патентовласник Національний аграрний університет. – №u200702704; заявл. 14.03.; опубл. 25.06.2007, Бюл. №9.
8. Патент 47730 України, МПК А01D 34/00. Двосторонній ніж плоскорізної лапи / *Л.Ф. Бабицький, В.І. Тарасенко, А.О. Кувшинов, В.Ю.*

*Москалевич*; заявник і патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. - №u200907560; заявл. 17.07.09; опубл. 25.02.2010, Бюл. №4.

9. Патент 87185 України, МПК А01В 33/00. Спосіб зміцнення леза / *Л.Ф. Бабицький, В.І. Тарасенко, В.Ю. Москалевич*; заявник і патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. - №a200708946; заявл. 03.08.07; опубл. 25.06.2009, Бюл. №12.

## **БИОНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ**

Л.Ф. Бабицкий, В.Ю. Москалевич

### *Аннотация*

**Предложена схема бионического моделирования почвообрабатывающих рабочих органов. Рассмотрены направления применения бионических моделей к повышению эффективности технологических процессов механической обработки почвы.**

**Ключевые слова: обработка почвы, системный подход, бионика, биологический прототип, модель.**

## **BIONIC DESIGN OF PROCESS OF TOOLING OF SOIL**

L.F. Babitsky, V.J. Moskalevich

### *Summary*

**The chart of bionic design of tillage tools is offered. Directions of application of bionic models are considered to the increase of efficiency of technological processes of tooling of soil.**

**Keywords: tooling of soil, systems approach, bionics, biological prototype, model.**