

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 631.371:621.31

**ПОГОДЖЕНО**  
Директор ННІ енергетики,  
автоматики і енергозбереження

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри  
електротехніки, електромеханіки та  
електротехнології

проф., д.т.н. \_\_\_\_\_ **КАПЛУН В.В.**  
(підпис)

доц., к.т.н. \_\_\_\_\_ **ОКУШКО О.В.**  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему: «ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ  
ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА В МАГНІТНОМУ ПОЛІ»**

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

**Гарант освітньої програми**

К.Т.Н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Усенко С.М.**  
(ПІБ)

**Керівник магістерської роботи**

К.Т.Н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Савченко В.В.**  
(ПІБ)

**Виконав**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Онисько Д.Р.**  
(ПІБ)

**КИЇВ – 2024**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувача кафедри**  
**електротехніки, електромеханіки та**  
**електротехнології**

к.т.н доцент \_\_\_\_\_ **Окушко О.В.**  
(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**  
**СТУДЕНТУ**

**Ониську Денису Романовичу**

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна  
Тема магістерської роботи «Електротехнологічний комплекс для передпосівної  
обробки зерна в магнітному полі» затверджена наказом ректора НУБіП України  
від 26.09.2024 №1666”С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15.11.2024

Вихідні дані до магістерської роботи: «Правила улаштування  
електроустановок»; «Правила технічної експлуатації електроустановок  
споживачів»; «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»;

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Провести аналіз технологій та методів обробки зерна.
2. Провести аналіз установок передпосівної обробки зерна.
3. Провести розробку та дослідження електротехнологічного комплексу для  
передпосівної обробки зерна.
4. Обґрунтувати заходи з енергозбереження на електротехнологічному  
комплексі.
5. Розробити заходи з охорони праці для електротехнологічного комплексу  
передпосівної обробки зерна.
6. Провести техніко-економічне обґрунтування використання  
електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна.

Дата видачі завдання 27.09.2024

Керівник магістерської роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

**Савченко В.В.**

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

(підпис)

**Онисько Д.Р.**

(ПІБ)

## РЕФЕРАТ

**Магістерська робота: 80 с., 24 рис., 6 табл., 23 джерела.**

**Об'єкт дослідження** – Електротехнологічний комплекс для передпосівної обробки зерна в магнітному полі, що включає параметри обробки, такі як магнітна індукція, швидкість руху насіння та полюсна поділлка.

**Мета дослідження** – визначити оптимальні параметри електротехнологічного комплексу для підвищення енергії проростання та схожості насіння сільськогосподарських культур шляхом передпосівної обробки в магнітному полі. Дослідити вплив магнітного поля на фізіологічні показники насіння та оцінити ефективність обробки для покращення врожайності.

**Предмет дослідження** – Параметри магнітного поля (магнітна індукція, швидкість руху насіння, полюсна поділлка) та їхній вплив на фізіологічні показники насіння, зокрема на енергію проростання та схожість, у процесі передпосівної обробки сільськогосподарських культур в електротехнологічному комплексі.

Проведено аналіз існуючих методів передпосівної підготовки насіння, зокрема, вивчено сучасні технології та технічні засоби для покращення енергії проростання і схожості зернових культур. Розглянуто технічні засоби для магнітної обробки насіння, включаючи конструктивні особливості та принципи роботи установок. Розроблено лабораторну установку для експериментальних досліджень впливу магнітного поля на насіння. Розроблено методику оцінки ефективності магнітної обробки та визначення змін біопотенціалу насіння. Проведено дослідження динаміки зміни енергії проростання і схожості насіння після магнітної обробки. Визначено структуру електротехнологічного комплексу та геометрію пристрою з магнітною системою. Виконано моделювання магнітного поля для оптимізації конструкції. Вивчено вплив магнітної обробки на насіння різних сільськогосподарських культур, включаючи зміну біопотенціалу, енергії проростання та схожості.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	6
<b>РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ ОБРОБКИ ЗЕРНА</b> .....	9
1.1 Огляд питання використання передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур .....	9
1.2 Дослідження методів передпосівної підготовки зерна сільськогосподарських культур .....	11
<b>РОЗДІЛ 2 УСТАНОВКИ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА</b> .....	16
2.1 Огляд технічних засобів для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур у магнітному полі .....	16
<b>РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР У МАГНІТНОМУ ПОЛІ</b> .....	21
3.1 Лабораторна установка для проведення експериментальних досліджень впливу магнітного поля на насіння сільськогосподарських культур.....	21
3.2 Методологія експериментальних досліджень щодо впливу магнітного поля на насіння сільськогосподарських культур.....	22
3.3 Методика оцінки ефекту магнітної обробки насіння .....	24
3.4 Експериментальні дослідження зміни біопотенціалу насіння сільськогосподарських культур під час передпосівної обробки в магнітному полі	28
3.5 Експериментальні дослідження зміни біопотенціалу насіння сільськогосподарських культур під час передпосівної обробки в магнітному полі	31
3.6 Експериментальне дослідження впливу передпосівної обробки в магнітному полі на енергію проростання і схожість насіння сільськогосподарських культур .....	33
3.7 Дослідження впливу магнітного поля на енергію проростання і схожість насіння зернових культур .....	33
3.8 Динаміка зміни енергії проростання та схожості насіння після магнітної обробки .....	36
3.9 Обґрунтування структури електротехнологічного комплексу для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур у магнітному полі	37
3.10. Моделювання магнітного поля та обґрунтування геометрії пристрою для магнітної обробки з періодичною магнітною системою .....	38

3.11. Експериментальні дослідження електротехнологічного комплексу для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур у магнітному полі	42
3.12 Лабораторне тестування результатів досліджень .....	45
3.13 Розробка системи керування потоковою лінією для передпосівної обробки зерна .....	49
3.14 Технічне завдання на дослідний зразок електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна.....	52
<b>РОЗДІЛ 4 ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗЕРНА В МАГНІТНОМУ ПОЛІ .....</b>	<b>54</b>
<b>РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ .....</b>	<b>57</b>
5.1 Організація безпеки праці в промисловому комплексі: вимоги та заходи	57
5.2 Оцінка ризиків і негативних чинників .....	58
5.3 Захисне заземлення.....	61
<b>РОЗДІЛ 6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСУ ДЛЯ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА .....</b>	<b>65</b>
<b>ВИСНОВОК .....</b>	<b>72</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>73</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>76</b>

## ВСТУП

В сучасному агропромисловому секторі передпосівна обробка зерна відіграє важливу роль у забезпеченні високих показників врожайності, здоров'я рослин та якості продукції. Традиційні методи підготовки насіння включають механічну, хімічну й теплову обробку, однак ці підходи мають обмеження, пов'язані з високими витратами та негативним впливом на екологію. Сьогодні все більше уваги приділяється електрофізичним методам обробки насіння, зокрема технології магнітної обробки. Використання магнітного поля для обробки зерна стає ефективною альтернативою, оскільки дозволяє активізувати біохімічні та фізіологічні процеси в насінні, підвищує його схожість і енергію проростання, сприяє покращенню початкового росту рослин і, як наслідок, підвищує врожайність.

Магнітна обробка передбачає пропускання насіння через поле певної індукції та інтенсивності, що створює можливість активізації клітинних мембран і підсилення процесів обміну речовин у зерні. Вплив магнітного поля підвищує водопоглинання насіння, стимулює ферментативну активність та прискорює проростання. Така обробка є перспективною для підвищення стійкості рослин до стресових умов середовища, що особливо актуально в умовах змінного клімату та підвищеного навантаження на сільське господарство.

Метою даної роботи є розробка та експериментальна перевірка оптимальних параметрів електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна. Поставлені завдання включають дослідження впливу різних значень магнітної індукції, швидкості руху насіння, та полюсної поділки на посівні якості зерна. Очікується, що впровадження такої технології дозволить підвищити врожайність, знизити витрати на додаткові хімічні засоби обробки та покращити економічну ефективність сільськогосподарського виробництва.

Об'єктом дослідження є електротехнологічний комплекс для передпосівної обробки зерна в магнітному полі, що включає параметри обробки, такі як магнітна індукція, швидкість руху насіння та полюсна поділка.

Предмет дослідження – Параметри магнітного поля (магнітна індукція, швидкість руху насіння, полюсна поділлка) та їхній вплив на фізіологічні показники насіння, зокрема на енергію проростання та схожість, у процесі передпосівної обробки сільськогосподарських культур в електротехнологічному комплексі.

Методи дослідження:

1. Експериментальний метод – проведення лабораторних досліджень із застосуванням магнітного поля різної індукції та швидкості руху насіння.
2. Планування експерименту – використання ортогонального центрально-композиційного плану для визначення залежностей між параметрами обробки та характеристиками насіння.
3. Потенціометричний метод – вимірювання біопотенціалу насіння для оцінки ефективності магнітної обробки.
4. Статистичний аналіз – обробка експериментальних даних для визначення статистично значущих результатів.

На захист магістерської роботи виносяться:

1. Лабораторна установка для проведення експериментальних досліджень впливу магнітного поля на насіння сільськогосподарських культур.
2. Експериментальні дослідження зміни біопотенціалу насіння сільськогосподарських культур під час передпосівної обробки в магнітному полі
3. Експериментальне дослідження впливу передпосівної обробки в магнітному полі на енергію проростання і схожість насіння сільськогосподарських культур
4. Обґрунтування структури електротехнологічного комплексу для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур у магнітному полі
5. Моделювання магнітного поля та обґрунтування геометрії пристрою для магнітної обробки з періодичною магнітною системою

У магістерській кваліфікаційній роботі було розроблено та випробувано електротехнологічний комплекс для магнітної обробки зерна, спрямований на підвищення якості посівного матеріалу та збільшення врожайності. Проведені дослідження довели, що застосування магнітного поля позитивно впливає на посівні характеристики зерна, зокрема на енергію проростання та рівень схожості.

**Результати досліджень опубліковані в праці:** Онисько Д.Р., Савченко В.В. Передпосівна обробка насіння в магнітному полі. Тези доповідей 77-тої науково-практичної конференції студентів «Енергозабезпечення, електротехнології, електротехніка та інтелектуальні управляючі системи в АПК, м. Київ, 25 квітня 2024 р. С. 55.

## РОЗДІЛ 1

### ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ ОБРОБКИ ЗЕРНА

#### 1.1 Огляд питання використання передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур

Застосування передпосівної обробки зерна у магнітному полі стосується перспективних методів підвищення врожайності та якості рослинної продукції. Основою життєдіяльності рослин є автотрофний синтез органічних речовин, що потребує мінеральних солей, води та вуглекислого газу. Правильне живлення рослин забезпечує активне зростання, збалансований обмін речовин та синхронізує фізіологічні процеси.

Важливу роль у живленні відіграють вода та макроелементи (такі як кисень, вуглець, водень, азот, фосфор, калій тощо), які займають більшу частку хімічного складу рослинної клітини. Мікроелементи, хоча і присутні в незначних кількостях, також необхідні для нормального протікання біохімічних процесів. Їх транспорт у клітини здійснюється через клітинні мембрани, які контролюють надходження поживних речовин завдяки пасивному та активному переносу. Клітинна мембрана є регулюючим бар'єром, який вибірково пропускає речовини, формуючи таким чином потрібні хімічні сполуки всередині клітини та сприяючи підтримці її структури.

Передпосівна обробка насіння, зокрема із застосуванням магнітного поля, є перспективним способом оптимізації процесу росту та розвитку рослин. Магнітні поля, впливаючи на клітинні структури, можуть покращувати проникність мембран та стимулювати обмінні процеси на молекулярному рівні, що зумовлює більш активне поглинання поживних речовин та води. Це призводить до швидшого проростання насіння, зростання енергії проростання та більшої життєстійкості паростків.

Вплив магнітних полів безпосередньо пов'язаний із їх дією на клітинні мембрани. Магнітне поле стимулює зміни в диполях мембран, активізуючи ферментативну діяльність. Під час обробки насіння магнітним полем

відбуваються процеси, що підвищують проникність оболонок, сприяючи швидшому надходженню води та кисню. Як наслідок, посилюється активність ферментів, зокрема гідролітичних і окислювально-відновних, що стимулює внутрішні процеси, необхідні для ефективного проростання насіння.

Це сприяє швидшому та повнішому надходженню поживних речовин до зародка, що стимулює темпи клітинного ділення і активізує процеси росту загалом. У рослин, вирощених із такого обробленого насіння, інтенсивніше розвивається коренева система, що прискорює перехід до фотосинтезу і закладає міцну основу для подальшого зростання і розвитку. Таким чином, активізується вегетативний процес, що пришвидшує ріст рослини та її загальну життєздатність.



Рис. 1.1. Вплив постійного магнітного поля на насіння сільськогосподарських культур

Магнітне поле виступає своєрідним стресовим фактором, що змінює швидкість деяких хімічних реакцій. Під його впливом насіння активніше функціонує, поглинаючи більше води на ранніх стадіях проростання, а крохмаль у клітинах швидше перетворюється на цукор.

Застосування магнітного поля є одним із фізичних методів передпосівної обробки, що забезпечує ефект стимуляції, не порушуючи хімічний склад навколишнього середовища. Використання магнітного поля для обробки насіння стає альтернативою хімічним методам, які можуть мати негативні екологічні наслідки. Це робить його важливою частиною сучасного агротехнологічного комплексу, спрямованого на підвищення врожайності та екологічної стійкості аграрного виробництва. Ефекти дії магнітного поля на фізико-хімічні процеси в клітині залежать від зовнішнього магнітного поля та проявляються у примембранному шарі. Ці ефекти обумовлені швидкістю руху іонів під впливом поля, тривалістю його дії, а також розміром клітини.

## **1.2 Дослідження методів передпосівної підготовки зерна сільськогосподарських культур**

Передпосівна обробка зерна є важливим етапом, який дозволяє оптимізувати процес вирощування сільськогосподарських культур. Залежно від виду обробки можна досягти поліпшення схожості, підвищення врожайності та зниження впливу шкідливих мікроорганізмів. У сільськогосподарській практиці використовуються різні методи передпосівної обробки зерна, включаючи хімічні, фізичні, електромагнітні та комбіновані технології.

Одним із перспективних фізичних методів є обробка озоном, який підвищує схожість та енергію проростання зерна. Крім того, озон дозволяє знезаражувати зерно від збудників захворювань, знижуючи енерговитрати рослин на подолання негативного впливу патогенів. Озонова обробка активізує фізіологічні процеси в рослинах, підвищуючи їх адаптаційний потенціал в умовах стресу, що сприяє підвищенню продуктивності та врожайності.

Іншим фізичним методом є інфрачервоне випромінювання. Дослідження показали, що опромінення зерна (наприклад, пшениці) випромінювачами потужністю 500 Вт при довжині хвиль 1,3-3,6 мкм забезпечує підвищення схожості на 25,4-54,5 % та знижує зараженість зерна фітопатогенами, такими як *Bipolaris sorokiniana*, *Fusarium oxysporum*, *Alternaria tenuis*, та збудниками

пліснявих грибів, як-от *Penicillium spp.* Цей метод також сприяє підвищенню врожайності: польові досліди показали, що урожайність пшениці зростає в середньому на 8,7 ц/га після інфрачервоної обробки.

Ефект інфрачервоного та видимого випромінювання на зерно полягає переважно у тепловому впливі. Інфрачервоні промені нагрівають зародок і ендосперм, сприяючи перетворенню електромагнітної енергії в теплову, що активізує біохімічні процеси у клітинах зерна. Цей процес дозволяє знищити шкідливі мікроорганізми, зокрема такі як пліснява (*mucor, penicillium, aspergillus*), та знизити зараженість бактеріями (*herbicola, mesentericus* тощо).

Однак надмірне підвищення температури може призводити до негативних наслідків. Висока температура може спричинити незворотні ушкодження клітинних структур зерна, знижуючи гідратацію та ослаблюючи водоутримуючі властивості клітин. Дослідження показали, що при температурі від 38 до 52 °C у паростків пшениці спостерігається розпад органічних сполук фосфору, що може негативно вплинути на подальший розвиток рослини.

Електричні методи також знайшли своє застосування у передпосівній обробці зерна. Пропускання постійного та змінного електричного струму через зерно активізує обмін речовин, посилює інтенсивність дихання, підвищує активність гідролітичних ферментів та прискорює процес розщеплення органічних речовин на простіші, які забезпечують живлення зародка. Такі методи сприяють скорішому пробудженню зерна та підвищують його врожайність.

Застосування електричних полів також довело свою ефективність. Електричне поле постійного струму підвищує схожість зерна, енергію проростання та забезпечує стійкість рослин у несприятливих умовах, знижуючи ураження сажковими хворобами.

Дослідження показали, що вплив електромагнітних полів різних частот на зерно може значно підвищити його біологічну активність. Ефективність таких методів залежить від потужності та частоти електромагнітного поля, що застосовується. Поля високої та надвисокої частоти активізують синхронізуючі

коливальні режими в клітинах, що призводить до підвищення біохімічної активності, не спричиняючи іонізації та незворотних хімічних змін. Клітини здатні перетворювати зовнішню електромагнітну енергію на енергію внутрішніх процесів, що сприяє їхньому швидкому росту та розвитку.

Передпосівна обробка зерна є важливим технологічним процесом, що дозволяє покращити посівні якості насіння, підвищити енергію проростання, знизити ризик зараження хвороботворними організмами та загалом підвищити врожайність культур. Серед сучасних методів особливу увагу приділяють використанню електромагнітних полів, зокрема магнітного та електричного впливу на насіння.

Одним із досліджуваних методів було використання соленоїда, підключеного до генератора звукової частоти ГЗ-33 з частотою струму 20 кГц. Цей метод має певні обмеження через неоднорідність створюваного магнітного поля, що впливає на ефективність обробки насіння та знижує її результативність.

Ефективним також виявилось застосування обертового електромагнітного поля. У такій системі використовується статор трифазного асинхронного електродвигуна, до якого додається циліндричний ротор із гвинтоподібно розташованим шнеком. Під час обертання шнек забезпечує рівномірний рух зерна через магнітне поле, що стимулює процеси проростання, збільшує енергію проростання та загальну врожайність. Оптимальна тривалість такої обробки становить 5-10 хвилин, а ефект зберігається щонайменше 5 діб. Проте значна металоємність обладнання, висока вартість установки та суттєві витрати електроенергії є недоліками цього методу.

Дослідження показали, що обробка зерна в електромагнітному полі надвисокої частоти (НВЧ) також має позитивний вплив на енергію проростання та схожість насіння. Залежно від потужності та тривалості впливу, насіння з нижчою початковою схожістю показує більшу позитивну динаміку після обробки. Наприклад, для насіння з початковою схожістю 90 % цей показник покращується на 2-4 %, тоді як для зразків із 62 % схожість зростає на 5-7 %.

Встановлено, що живі організми, формуючись в умовах природного геомагнітного поля, реагують на його зміну. Вплив магнітних полів, як слабких, так і сильних, викликає у рослин відповідні реакції, що залежать від виду культури, інтенсивності магнітного поля та тривалості впливу. Так, у Агроінженерному центрі ВІМ проводили обробку насіння кукурудзи в низькочастотному електромагнітному полі (індукція 16 мТл, частота 16 Гц, тривалість 15-20 хв). Результати показали, що після 15-хвилинного опромінення енергія проростання зростає на 10 %, схожість на 8 %, а також збільшилися показники маси проростка, висоти стебла та розвитку кореневої системи.

Також перспективним виявився метод обробки насіння імпульсним магнітним полем. При енергії 4,7 кДж і числі імпульсів 5 тривалістю 15-20 мс насіння різних культур показало значне підвищення енергії проростання та лабораторної схожості. Врожайність деяких культур, таких як яра пшениця та ячмінь, зростає на 6,6-26,2 % порівняно з первинним значенням, і цей результат був на рівні або вищий, ніж при використанні регуляторів росту та протруйників.

При використанні електромагнітних полів важливим є підбір оптимальних режимів впливу. Хоча експерименти підтверджують позитивний вплив на посівні якості та ріст рослин, оптимальні параметри (магнітна індукція та експозиція) для максимального ефекту поки не встановлені. У цілому ж передпосівна обробка електромагнітними полями є перспективним напрямком, що має низьку енергоємність, нешкідливий для персоналу та легко інтегрується у прийняті технології обробки насіння.

Також використовуються комбіновані методи підготовки насіння до посіву.

У дослідженнях із передпосівної обробки насіння пшениці сорту «Ірен» застосовували комбінований метод, що поєднував тепловий та електромагнітний вплив. Оптимальні результати були досягнуті за таких параметрів: температура обігріву повітря — 30 °С, мікрохвильова обробка на частоті 2,45 МГц із потужністю 140 Вт протягом 10 секунд. Даний режим сприяв покращенню схожості насіння та лише мінімально впливав на розвиток пагонів.

Основний недолік таких комбінованих методів полягає у складності їх реалізації. Для цього потрібно застосовувати декілька технологічних процесів, що вимагає використання досить вартісного та складного обладнання.

## РОЗДІЛ 2

### УСТАНОВКИ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА

#### 2.1 Огляд технічних засобів для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур у магнітному полі

Для магнітної обробки сільськогосподарської продукції існують установки з постійними магнітами, з електромагнітами, а також комбіновані установки, які об'єднують обидва види магнітів.

Установки з постійними магнітами відрізняються простою конструкцією, низькими експлуатаційними витратами та не потребують підключення до електромережі. Вони не споживають електроенергії, є екологічно безпечними та не створюють загрози для обслуговуючого персоналу.

Установки з електромагнітами мають складнішу будову, що підвищує їхню вартість і витрати на експлуатацію. Проте вони дають можливість створювати та регулювати високі значення магнітної індукції, що може бути важливим для окремих видів обробки.

За характером руху насіння під час обробки розрізняють установки зі статичним розташуванням насіння, яке перебуває в магнітному полі протягом певного часу, та установки з безперервним рухом насіння через зону обробки.

Установки з безперервним рухом насіння відзначаються високою продуктивністю, оскільки насіння швидко переміщується через зону магнітного впливу. Час обробки залежить від швидкості переміщення зерна і розмірів робочої зони, коливаючись від часток секунди до кількох секунд. Дозу магнітного впливу можна регулювати, змінюючи параметри робочої зони, швидкість руху насіння або інтенсивність магнітного поля.

Серед установок з безперервним рухом найбільш поширеними є транспортерні установки, які поєднують процес обробки з транспортуванням. Вони забезпечують високу продуктивність завдяки тому, що насіння транспортується у кілька шарів, товщина яких може сягати кількох сантиметрів.

Установки з подачею зерна з накопичувального бункера самопливом також дозволяють поєднувати передпосівну обробку з навантаженням у транспортні засоби. Висока швидкість руху зерна під дією сили тяжіння забезпечує високу продуктивність. Однак такий метод не дозволяє точно регулювати швидкість руху насіння, що впливає на дозу впливу залежно від маси насіння. Оскільки тривалість обробки в цьому випадку коротка, потрібна вища інтенсивність магнітного поля для досягнення належного ефекту.

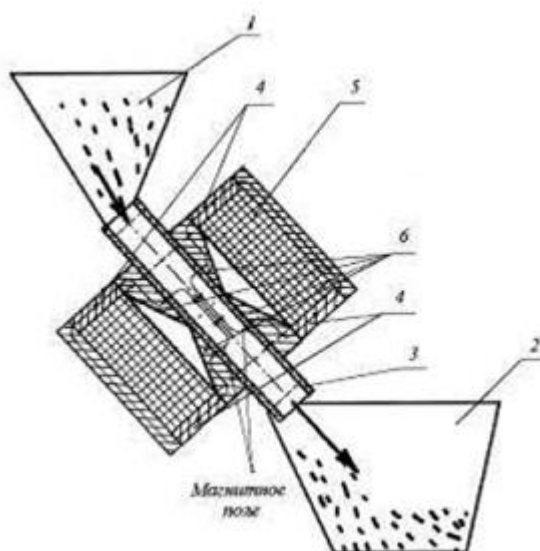


Рис. 1.2. Установка для передпосівної обробки насіння в магнітному полі:

1 – завантажувальний бункер; 2 – приймальний бункер опрацьованого матеріалу; 3 – діамагнітна труба; 4 – циліндричний корпус з феромагнітного матеріалу; 5 – магнітопровід з намагнічуючою котушкою; 6 – центруюча втулка із немагнітного матеріалу

Установка має камеру обробки у вигляді похилої діамагнітної труби, розташованої всередині індуктора, де кут нахилу труби визначає час перебування насіння в активній зоні. Недоліками цього пристрою є нестабільність швидкості переміщення насіння, а отже, і нестабільність тривалості обробки насіння та нерівномірність розподілу магнітної індукції в робочій камері залежно від радіуса поперечного перерізу.

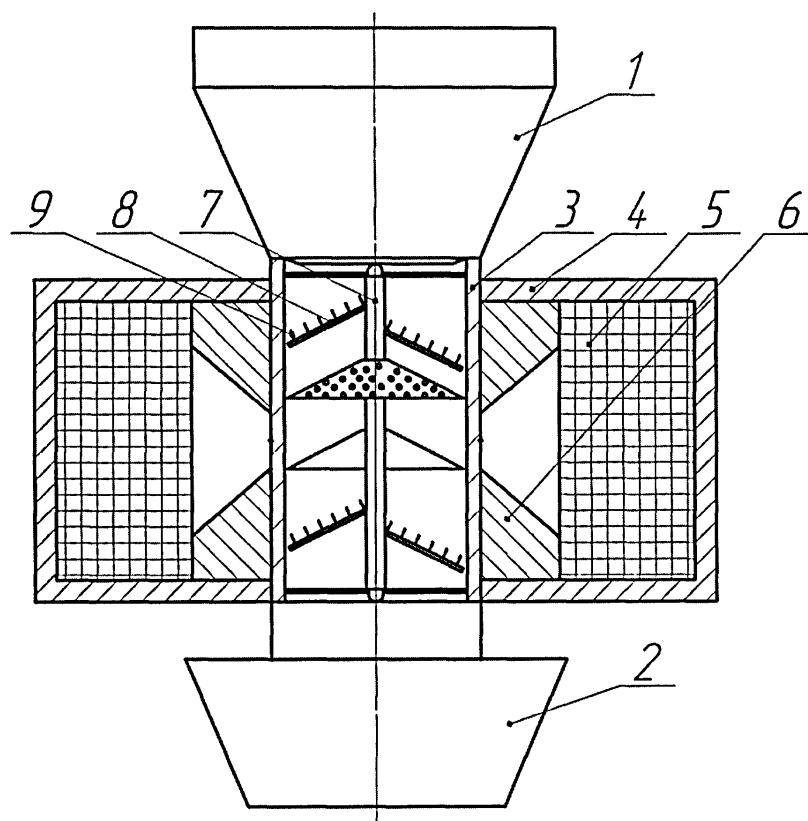


Рис. 1.3. Установка для передпосівної обробки насіння

Установка для передпосівної обробки насіння магнітним полем працює так. Насіння подається самопливом із завантажувального бункера 1 через діамагнітну трубу 3 у приймальний бункер 2. Після потрапляння на активатор 7 насіння рухається без ковзання по похило розташованих пластинах 8, накочуючись на стрижні 9. Це сприяє обертанню насіння навколо стрижнів, дозволяючи магнітному полю діяти з різних сторін і підвищуючи ефективність обробки. Активатор створює турбулентний потік, що забезпечує рівномірний вплив магнітного поля на насіння з усіх боків.

Недоліком установок для передпосівної обробки з електромагнітами є значна неоднорідність магнітного поля, яка заважає підтримувати однакову індукцію магнітного поля для всього насіння. Це створює нерівномірність у ступені магнітного впливу, що знижує передбачуваність та ефективність обробки.

Обробка насіння проводиться всередині соленоїда невеликого діаметра, оскільки збільшення його діаметра зменшує магнітну індукцію, що негативно впливає на ефективність процесу. Соленоїд потребує спеціального джерела живлення постійним струмом, що значно підвищує вартість установок з електромагнітами порівняно з установками на основі постійних магнітів. Окрім цього, використання електромагнітів збільшує експлуатаційні витрати та енергоємність процесу, роблячи такі установки економічно не вигідними.

Більш поширеними для магнітної обробки сільськогосподарської продукції є установки з постійними магнітами. Найпростіші з них складаються з двох постійних магнітів, які генерують знакозмінне поле. Вважається, що намагнічене насіння зберігає свої властивості необмежений час: різниця між обробленим і контрольним насінням, висіяним через 11 років, залишалася такою ж, як і одразу після обробки. Рекомендована індукція магнітного поля становить 30 Гс.

Розроблена установка для передпосівної обробки насіння з постійними магнітами (рис. 1.4) включає корпус 1 у вигляді труби із завантажувальним вікном 2. У середині труби встановлено пристрій для створення постійного магнітного поля, виконаний у вигляді дискових магнітів 3, розташованих на одній осі 4 з бічними щічками 5, паралельно один одному з зазором 6. Дискові магніти розділені дугоподібними прокладками 7 і 8 з немагнітного матеріалу для стабілізації поля.

Установка працює таким чином. Насіння засипається через завантажувальне вікно 2 в зазори між дисковими магнітами 3, де створюється однорідне магнітне поле, яке рівномірно діє на кожну насініну з однаковою напруженістю. Величину магнітної індукції можна регулювати, змінюючи відстань між дисковими магнітами 3. Після завершення обробки установка повертається на  $180^\circ$ , і оброблене насіння видаляється через завантажувальне вікно 2.

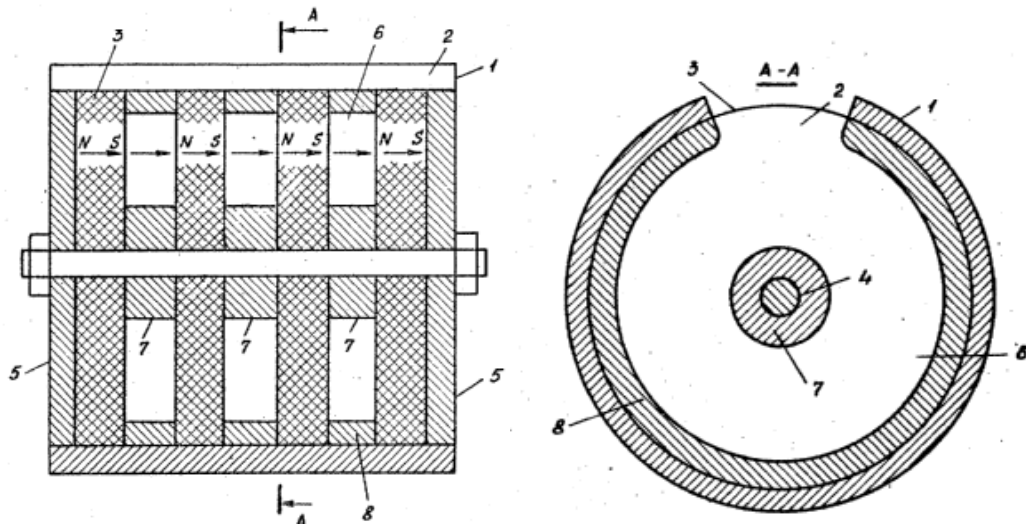


Рис. 1.4. Пристрій для передпосівної обробки насіння з постійними дисковими магнітами

Аналізуючи різноманітні методи передпосівної обробки зерна, ми встановили, що обробка в магнітному полі демонструє значні переваги над традиційними підходами. Цей метод не лише підвищує енергію проростання та схожість насіння, але й сприяє активації біохімічних процесів у зерні, забезпечуючи прискорене проростання та розвиток рослин. Крім того, магнітна обробка є екологічно безпечною, енергоощадною та технологічно доступною. Завдяки цим перевагам, передпосівна обробка зерна в магнітному полі визнана оптимальним рішенням для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР У МАГНІТНОМУ ПОЛІ

#### **3.1 Лабораторна установка для проведення експериментальних досліджень впливу магнітного поля на насіння сільськогосподарських культур**

Проведені теоретичні дослідження показали, що основними чинниками, які впливають на насіння під час його обробки в магнітному полі, є магнітна індукція, її градієнт, полюсна поділлка, кількість циклів перемагнічування та швидкість руху насіння в полі.

Для проведення експериментів, що досліджують вплив магнітного поля на насіння сільськогосподарських культур, була розроблена спеціальна лабораторна установка, зображена на рис. 3.1.

Установка складається з чотирьох пар магнітів 2 з інтерметалічного композиту NdFeB, розташованих паралельно над і під стрічкою транспортера з чергуванням полярності. Магніти закріплені на сталевій плиті 3. З лицьового боку магніти розміщені між двома стрічками з нержавіючої сталі, що дозволяє регулювати відстань між ними. Для встановлення необхідної полюсної поділлки проміжки між магнітами заповнені дерев'яними брусками різної ширини.

Регулювання магнітної індукції здійснюється шляхом зміни відстані між магнітопроводами за допомогою регулятора магнітної індукції 4. Конструкція транспортера передбачає використання чотирьох роликів, що дозволяє закріпити магнітну плиту під стрічкою. Привід транспортера 1 працює від трифазного асинхронного електродвигуна потужністю 0,25 кВт через знижувальний редуктор. Частотний перетворювач 6 живить двигун, забезпечуючи потрібну швидкість переміщення насіння в магнітному полі.

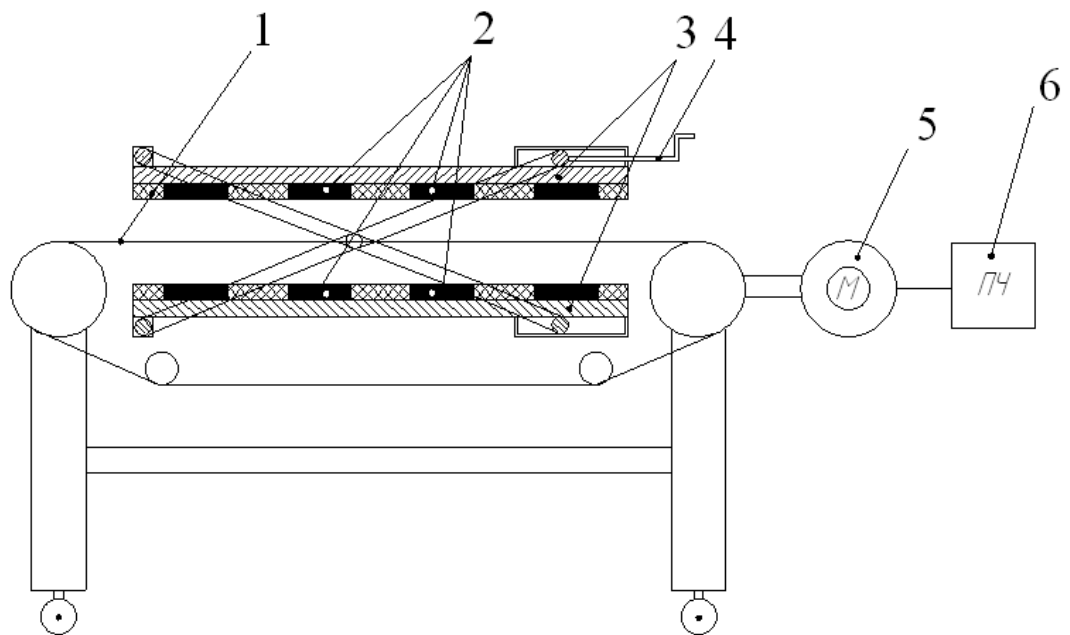


Рис. 3.1. Установка для магнітної обробки сільськогосподарської продукції:

а – загальний вигляд; б – схема установки: 1 – транспортер; 2 – постійні магніти; 3 – сталева плита; 4 – регулятор магнітної індукції; 5 - електродвигун; 6 – перетворювач частоти

Таке конструктивне рішення дозволило створити просту й ефективну установку, що забезпечує оптимальний режим магнітної обробки насіння сільськогосподарських культур.

### **3.2 Методологія експериментальних досліджень щодо впливу магнітного поля на насіння сільськогосподарських культур**

Експериментальні дослідження впливу магнітного поля на насіння сільськогосподарських культур проводилися з використанням спеціально розробленої лабораторної установки (рис. 3.1). Насіння транспортувалося стрічкою через магнітне поле, яке створювали чотири пари постійних магнітів,

розташованих паралельно над і під транспортерною стрічкою зі змінною полярністю.

Магнітна індукція контролювалася шляхом зміни відстані між магнітами, в межах від 0 до 0,5 Тл, і вимірювалася за допомогою тесламетра 43205/1. Полюсну поділку також регулювали, змінюючи відстань між магнітами в межах від 0,14 до 0,32 м. Швидкість руху насіння через магнітне поле регулювалася в межах 0,4–0,8 м/с, що досягалось шляхом зміни кутової швидкості приводного двигуна за допомогою частотного перетворювача.

Для вивчення впливу параметрів режиму обробки насіння в магнітному полі на його посівні якості використовувалася методика планування експерименту. Дослідження проводили за допомогою ортогонального центрально-композиційного плану або плану Бокса – Бенкіна. Основними факторами в дослідах були магнітна індукція, швидкість руху насіння (в деяких дослідах також полюсна поділлка), а вихідними показниками — енергія проростання, схожість і біопотенціал.

Однофакторні експерименти дозволили визначити верхній, нижній та базовий рівні кожного фактора. Для магнітної індукції ці рівні склали 0, 0,65 і 0,130 Тл відповідно, для швидкості руху насіння — 0,4, 0,6 і 0,8 м/с, а для полюсної поділки — 0,14, 0,23 і 0,32 м.

Після обробки в магнітному полі насіння пророщували, а потім визначали показники енергії проростання та схожості. Енергія проростання в кожній аналітичній пробі обчислювалася у відсотках за спеціальною формулою.

$$E = \frac{500 - n}{500} \cdot 100 \%, \quad (3.1)$$

де  $n$  — кількість насінин, що не проросли протягом 72 годин, шт.; 500 — загальна кількість насінин в аналітичній пробі.

Схожість, або здатність насіння до проростання, для кожної аналітичної проби визначали у відсотках за такою формулою:

$$G = \frac{500 - n_1}{500} \cdot 100 \%, \quad (3.2)$$

де  $n_1$  — кількість насінин, що не проросли за 120 годин, шт.

### 3.3 Методика оцінки ефекту магнітної обробки насіння

Одним із основних недоліків наявних методів електромагнітної стимуляції є відсутність інструментального контролю дози обробки. Зазвичай оптимальну дозу визначають за результатами, що залежать від численних факторів, таких як агрокліматичні умови, родючість ґрунту, методи вирощування тощо.

Тому важливим питанням при встановленні оптимальних режимів магнітної обробки є індикація її ефекту, яка потребує наукового обґрунтування. Проведені дослідження показують, що для вимірювання ефекту магнітної обробки найбільш доцільно використовувати потенціометричні методи. Ці методи дозволяють проводити вимірювання в суспензії без спеціальної підготовки зразка, який не піддається впливу електричних або магнітних полів під час дослідження.

Оскільки більшість хімічних реакцій у насінні є окислювально-відновними, ефективність магнітної обробки можна оцінити за зміною біопотенціалу насіння. Біопотенціал вимірюється за допомогою рН-метра, мілівольтметра або іоніметра, оснащеного електродною системою, яка включає платиновий вимірювальний електрод і хлорсрібний допоміжний електрод.

Для вимірювання біопотенціалу розроблено спеціальний вимірювальний електрод, що являє собою платинову пластину із загостреним кінцем. Платиновий електрод вводиться в проросток, а стандартний хлорсрібний електрод виконує роль допоміжного.

Під час аналізу порівнюють біопотенціал проростків обробленого та необробленого насіння в магнітному полі. Якщо різниця біопотенціалів перевищує розширену невизначеність вимірювань, можна стверджувати, що магнітна обробка впливає на процеси, які відбуваються в насінні.

Розробляючи методику оцінки ефекту магнітної обробки, важливо вказати на невизначеність вимірювань. Хоча керівні матеріали містять загальні принципи розрахунку невизначеності, необхідно розробити детальну методику

розрахунку невизначеності вимірювання біопотенціалу при магнітній обробці насіння.

Для оцінки невизначеності проводили п'ятикратні вимірювання біопотенціалу проростків як обробленого, так і необробленого насіння, використовуючи іонімір И-160М. Середнє значення вимірюваної величини було обчислене на основі отриманих результатів.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k, \quad (3.3)$$

де  $x_k$  – значення спостереження вимірюваної величини, кількість проведених вимірювань.  $n$  — кількість проведених вимірювань.

Аналіз невизначеності вимірювань біопотенціалу насіння здійснювався відповідно до рекомендацій щодо розрахунку невизначеності вимірювань. Для цього обчислювали середнє значення середньоквадратичного відхилення вимірюваної величини за допомогою наступної формули:

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}. \quad (3.4)$$

Стандартні невизначеності типу А визначалися на основі експериментального стандартного відхилення середнього значення:

$$u(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}. \quad (3.5)$$

Стандартна невизначеність типу В розраховується з урахуванням даних попередніх вимірювань, а також базується на накопиченому досвіді та загальних знаннях про властивості відповідних матеріалів і приладів. Джерелами інформації для розрахунку невизначеності типу В можуть бути: специфікації виробника приладу, еталонні речовини, дані метрологічної атестації, свідоцтва про перевірку або калібрування, а також наявна довідкова інформація.

Якщо розподіл вимірюваної величини має прямокутний характер, то стандартну невизначеність за типом В розраховують за відповідною формулою.

$$u(x) = \frac{a}{\sqrt{3}}, \quad (3.6)$$

де  $a$  – границі максимально допустимих похибок вимірювального приладу.

Сумарну стандартну невизначеність розраховували за формулою:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i)} = \sqrt{c_i^2 u(x_i)^2}, \quad (3.7)$$

де  $c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$  – коефіцієнт чутливості,

а розширену невизначеність – за формулою:

$$U = k \cdot u_c(y), \quad (3.8)$$

де  $k=2$  – коефіцієнт охоплення для рівня довіри 95 %.

Для обчислення загальної стандартної невизначеності необхідно визначити модельне рівняння для вимірювання біопотенціалу. Формула для цього рівняння має наступний вигляд:

$$БП = 820 - E_0 - 2,3 \frac{RT}{zF} \lg \frac{a_{ox}}{a_{red}}, \quad (3.9)$$

де  $E_0$  – стандартний потенціал;  $a_{ox}$  – концентрація окисленої форми іонів;  $a_{red}$  – концентрація відновленої форми іонів.

Таким чином, сумарну стандартну невизначеність вимірювання біопотенціалу, згідно з рівнянням (3.9), обчислюють за формулою:

$$u^2(БП) = u^2(E_0) + \left(\frac{2,3R}{zF} \lg \frac{a_{ox}}{a_{red}}\right)^2 u^2(T), \quad (3.10)$$

Або

$$u^2(БП) = u^2(E_0) + \left(\frac{\bar{E} - E_0}{T}\right)^2 u^2(T). \quad (3.11)$$

Невизначеність вимірювання потенціалу електродної пари доцільно визначати як невизначеність типу А, використовуючи експериментальне стандартне відхилення середнього значення. Невизначеність типу В обчислюється з урахуванням температурних коливань.

Розрахунок невизначеності вимірювання біопотенціалу паростка насіння подано в табл. 3.1.

**Бюджет невизначеності вимірювання біопотенціалу насіння за  
допомогою іоніра И-160М**

Вхідна величина $x_i$	Значення оцінки	+/-	Тип невизначеності	Розподіл імовірності	Стандартна невизначеність $u(x_i)$	Коефіцієнт чутливості $c_i$	Вклад невизначеності $u(y_i)$	Відсотковий вклад
Вимірне значення біопотенціалу мВ	448	-	A	Нормальний	0,71	1,0	0,71	88,8
Відхилення температури розчину, °С	0	1,0	B	Прямокутний	0,58	-0,16	0,09	11,2
Визначене значення біопотенціалу	448		-		0,91		-	
Розширена невизначеність при $k=2$ , мВ	1,83							

Таким чином, ефект від магнітної обробки насіння вважається досягнутим, якщо різниця між вимірними значеннями біопотенціалу до обробки в магнітному полі та після неї перевищує 2 мВ.

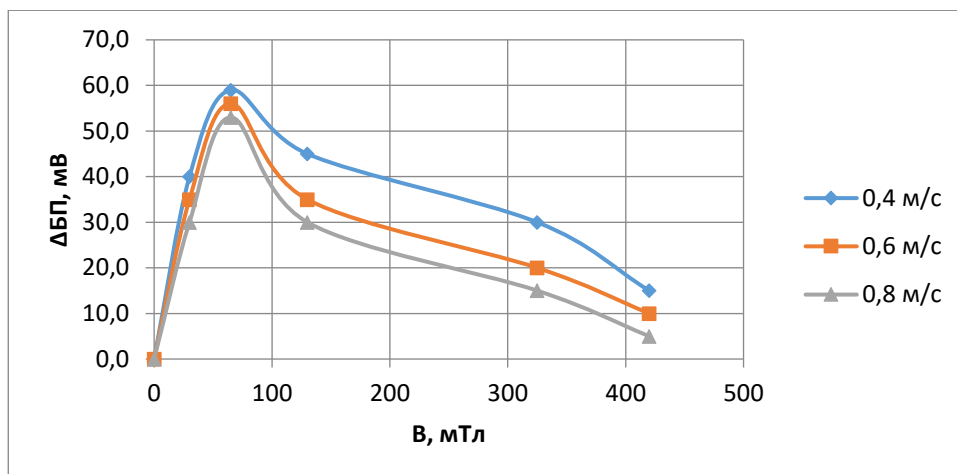
### **3.4 Експериментальні дослідження зміни біопотенціалу насіння сільськогосподарських культур під час передпосівної обробки в магнітному полі**

Під час обробки насіння в магнітному полі відбувається зміна швидкості хімічних і біохімічних реакцій у клітинах рослини, які здебільшого є окислювально-відновними. Це призводить до зміни окислювально-відновного потенціалу (біопотенціалу) насіння.

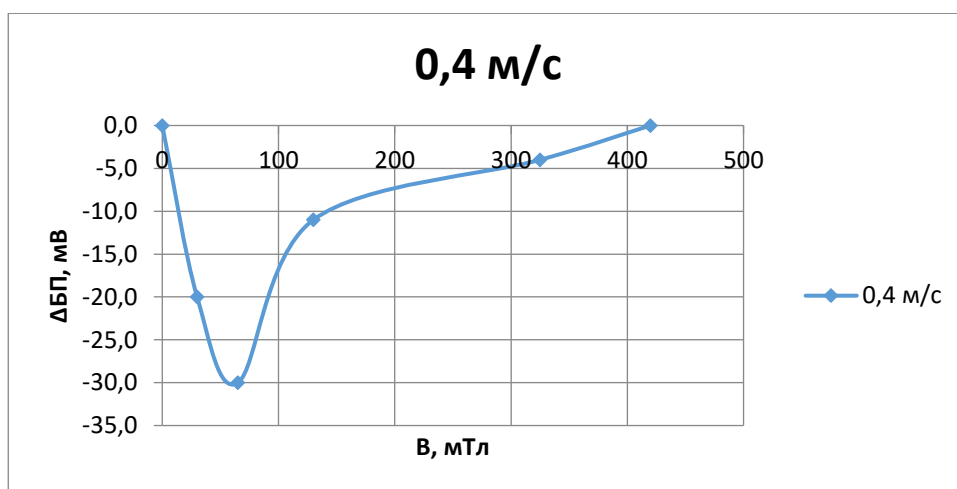
Для дослідження впливу магнітного поля на біопотенціал насіння було використано сорти жита «Харківський 98», вівса «Деснянський» та ячменю «Солнцедар». Насіння переміщувалося на транспортері через магнітне поле, створене чотирма парами постійних магнітів. Магнітну індукцію регулювали в діапазоні від 0 до 0,5 Тл, а швидкість транспортерної стрічки — від 0 до 0,8 м/с.

Після обробки в магнітному полі насіння пророщували, і для паростків вимірювали біопотенціал, порівнюючи показники обробленого та необробленого насіння.

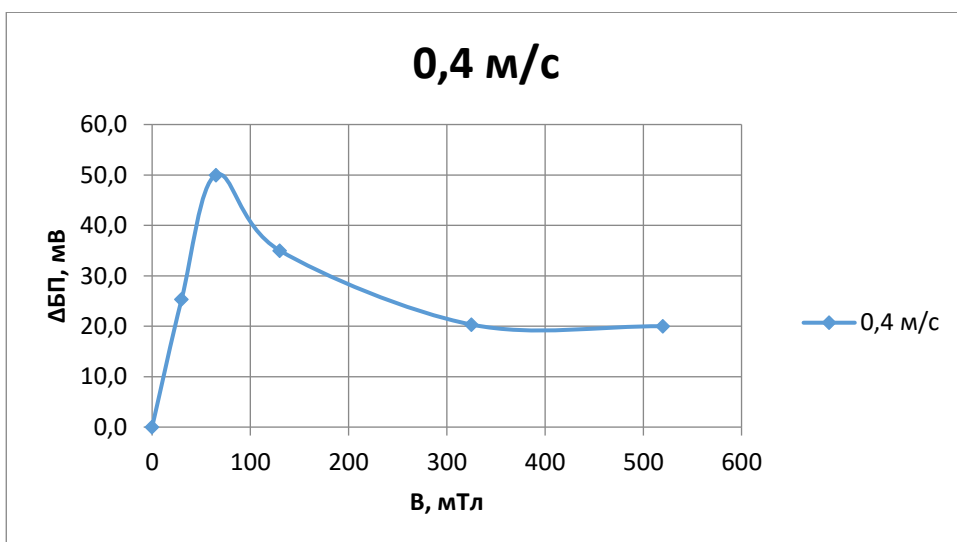
На рисунку 3.2 показано залежність зміни біопотенціалу паростків гороху від магнітної індукції та швидкості транспортування під час передпосівної обробки. Зі збільшенням магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл біопотенціал паростків підвищується, але при подальшому збільшенні індукції починає знижуватися. Коли магнітна індукція перевищує 0,13 Тл, біопотенціал стабілізується, залишаючись вищим за значення, характерне для необробленого насіння.



Жито



Овес



Ячмінь

Рис. 3.2. Вплив магнітної індукції та швидкості переміщення в магнітному полі на зміну біопотенціалу насіння:

а – жито; б – овес; в – ячмінь.

Дослідження впливу параметрів режиму обробки на зміну біопотенціалу насіння проводилося із використанням методу планування експерименту. Рівняння регресії, що описує залежність біопотенціалу насіння від режимних параметрів обробки, у фізичних величинах має наступний вигляд:

Для жита

$$\Delta БП = 34,825 + 1124B - 33,426v - 18,519Bv - 8532B^2. \quad (3.12)$$

Для вівса

$$\Delta БП = 34,825 + 1124B - 33,426v - 18,519Bv - 8532B^2. \quad (3.13)$$

Для ячменю

$$\Delta БП = 34,825 + 1124B - 33,426v - 18,519Bv - 8532B^2. \quad (3.14)$$

Проведені експериментальні дослідження зміни біопотенціалу насіння під час обробки в магнітному полі підтвердили точність отриманої аналітичної залежності. Зміна біопотенціалу при передпосівній обробці в магнітному полі виявилася залежною від квадрата магнітної індукції та швидкості переміщення насіння в полі.

Результати експериментів показали, що найбільші зміни біопотенціалу спостерігалися при магнітній індукції 0,065 Тл. Хоча швидкість переміщення насіння в межах 0,4–0,8 м/с також впливає на біопотенціал, її вплив менш значущий порівняно з магнітною індукцією. Максимальні значення біопотенціалу спостерігалися при швидкості 0,4 м/с.

При таких умовах обробки біопотенціал насіння жита становив 59 мВ, вівса — 30 мВ, а ячменю — 50 мВ, що значно перевищує межу розширеної невизначеності вимірювань (2 мВ).

### 3.5 Експериментальні дослідження зміни біопотенціалу насіння сільськогосподарських культур під час передпосівної обробки в магнітному полі

Під час обробки насіння магнітним полем відбувається підвищення швидкості дифузії молекул води через клітинні мембрани, що сприяє збільшенню водопоглинання насіння.

Експерименти з визначення водопоглинання насіння під впливом магнітного поля проводилися на зразках пшениці сорту «Наталка» та ячменю сорту «Солнцедар». Насіння транспортувалося стрічкою через магнітне поле, яке створювалося чотирма парами постійних магнітів зі змінною полярністю. Магнітну індукцію регулювали в межах 0–0,5 Тл, а швидкість переміщення насіння в полі варіювала від 0 до 0,8 м/с.

Контрольні та оброблені в магнітному полі насіння зважували до та після замочування в дистильованій воді протягом 30 хвилин. Питоме водопоглинання розраховувалося за спеціальною формулою:

$$Y = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\%, \quad (3.15)$$

де  $m_2$  – маса насіння (контрольного та обробленого) після замочування;  $m_1$  – маса насіння до замочування.

Експериментально було встановлено, що при збільшенні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл водопоглинання насіння зростає, проте при подальшому підвищенні індукції починає знижуватися (рис. 3.3). Коли магнітна індукція перевищує 0,130 Тл, рівень водопоглинання насіння змінюється незначно, досягаючи в середньому 11,5 % для пшениці (порівняно з 8,3 % у контролі) і 17 % для ячменю (порівняно з 9,8 % у контролі).

Дослідження впливу параметрів обробки насіння в магнітному полі на його водопоглинання проводилися з використанням методів планування експерименту. За результатами однофакторних експериментів були визначені верхній, нижній та основний рівні для кожного параметра: для магнітної індукції

— 0, 0,065 і 0,130 Тл відповідно, а для швидкості руху насіння — 0,4, 0,6 і 0,8 м/с.

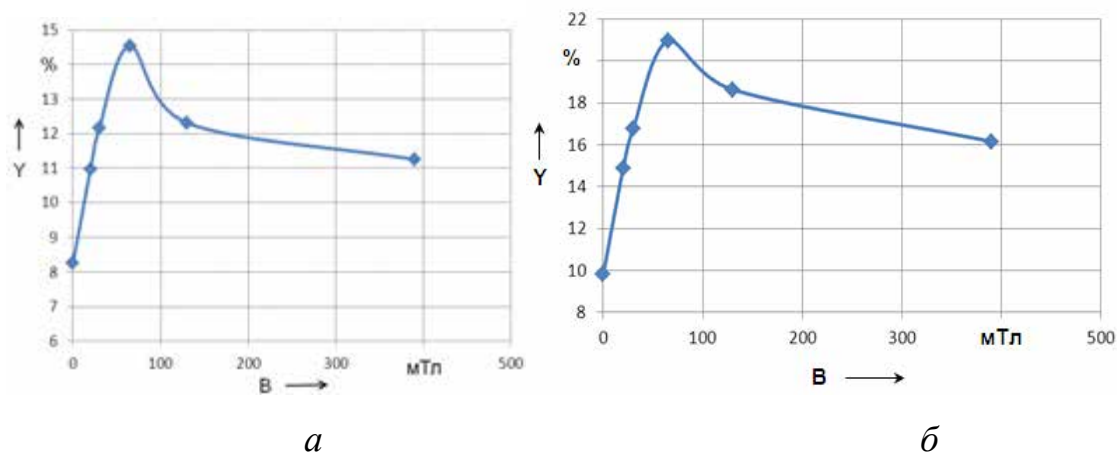


Рис. 3.3. Залежності питомого водопоглинання насіння пшениці (а) та ячменю (б) від магнітної індукції

Результати проведеного багатofакторного експерименту дозволили отримати рівняння регресії, представлені у фізичних одиницях (рис. 3.4):

для насіння пшениці

$$Y = 8,894 + 154,53 B - 1,028 v - 33,333 Bv - 844,181 B^2; \quad (3.16)$$

для насіння ячменю

$$Y = 9,836 + 298,33 B - 0,486 v - 75 Bv - 1562 B^2. \quad (3.17)$$

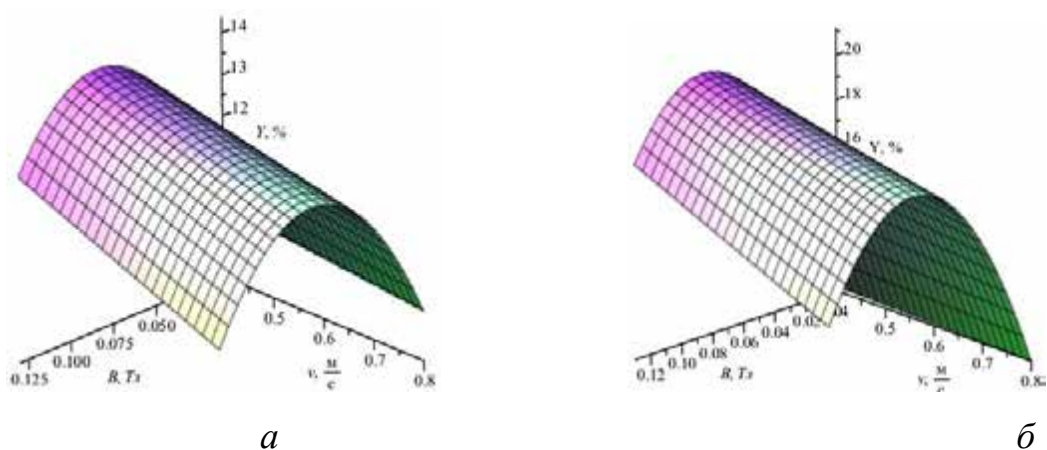


Рис. 3.4. Зміна питомого водопоглинання при обробці насіння пшениці (а) і ячменю (б) в магнітному полі

Максимальний рівень водопоглинання насіння спостерігається при магнітній індукції 0,065 Тл. Хоча ефект від магнітної обробки також залежить від швидкості руху насіння, у діапазоні швидкостей 0,4–0,8 м/с цей параметр має менший вплив порівняно з магнітною індукцією.

Експериментальні дослідження підтвердили відповідність отриманої аналітичної залежності. Результати показали, що водопоглинання насіння зростає найінтенсивніше при магнітній індукції 0,065 Тл, чотирикратному перемагнічуванні та швидкості переміщення насіння 0,4 м/с. У цих умовах водопоглинання насіння пшениці зростає на 6 %, а ячменю — на 11 %.

### **3.6 Експериментальне дослідження впливу передпосівної обробки в магнітному полі на енергію проростання і схожість насіння сільськогосподарських культур**

Під впливом магнітного поля в насініні активізуються хімічні та біохімічні реакції, підвищується розчинність солей і кислот, покращується дифузія кисню та води через клітинні мембрани і прискорюється транспорт іонів. Усе це сприяє збільшенню енергії проростання та схожості насіння сільськогосподарських культур.

### **3.7 Дослідження впливу магнітного поля на енергію проростання і схожість насіння зернових культур**

Експерименти щодо впливу магнітного поля на енергію проростання та схожість насіння проводилися з різними культурами, включаючи пшеницю сорту «Наталка», жито «Харківський 98», ячмінь «Солнцедар», кукурудзу «Зоря 123» та овес «Деснянський».

На рис. 3.5., а показані експериментальні залежності енергії проростання від параметрів магнітної індукції, полюсної поділки та швидкості руху насіння в магнітному полі. При підвищенні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл енергія проростання збільшується, однак подальше підвищення індукції спричиняє її

зниження. При значеннях магнітної індукції понад 0,13 Тл енергія проростання змінюється незначно, але залишається вищою порівняно з контрольними зразками.

Методом планування експерименту із застосуванням ортогонального центрально-композиційного плану були визначені рівняння регресії, які зв'язують енергію проростання з режимними параметрами магнітної обробки насіння.

На основі багатофакторного експерименту отримані рівняння регресії для енергії проростання насіння зернових культур, які мають вигляд у фізичних одиницях:

для пшениці

$$E = 80,021 + 680,889 B - 60,889 v + 300 Bv - 5733 B^2; \quad (3.18)$$

для жита

$$E = 55,5 + 821B - 3,61v - 153,85Bv - 4536B^2; \quad (3.19)$$

для ячменю

$$E = 52,907 + 1021B - 8,611v - 153,846 Bv - 6062 B^2; \quad (3.20)$$

Крім магнітної індукції, на енергію проростання насіння впливає також швидкість його руху в магнітному полі, хоча цей фактор є менш значущим, ніж сама магнітна індукція. Максимальні значення енергії проростання зернових культур були досягнуті при магнітній індукції 0,065 Тл і швидкості руху насіння 0,4 м/с.

Вивчення впливу полюсної поділки на енергію проростання проводилося за допомогою плану Бокса – Бенкіна. На рисунку 3.5 наведено експериментальні залежності енергії проростання від параметрів магнітної індукції, полюсної поділки та швидкості руху насіння в магнітному полі.

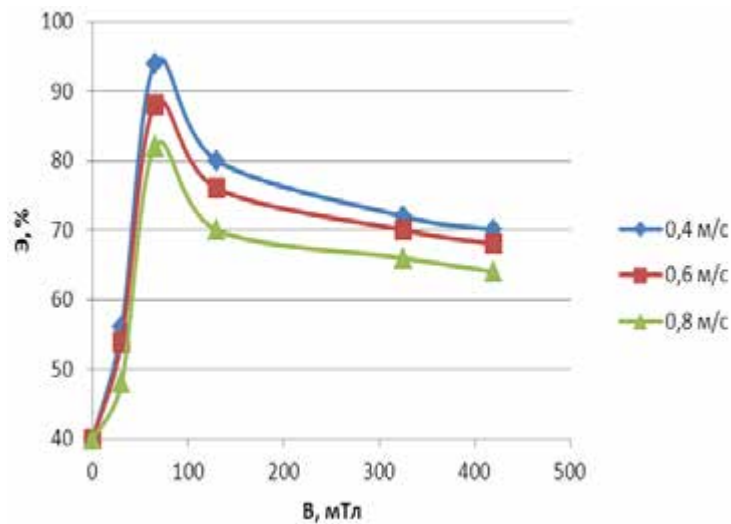


Рис. 3.5. Залежність енергії проростання насіння вівса від магнітної індукції та швидкості руху насіння в магнітному полі при полюсній поділці:

а – 0,14 м; б – 0,23 м; в – 0,32 м

Результати багатофакторного експерименту дозволили отримати рівняння регресії для енергії проростання насіння вівса, виражене у фізичних одиницях:

$$E = 42.6 + 6781B - 2.5v - 9.7\tau - 153.9 Bv - 213.7B\tau - 3461.5B^2. \quad (3.21)$$

Встановлено, що полюсна поділка має менший вплив порівняно з магнітною індукцією. При варіації полюсної поділки в межах  $0,23 \pm 0,09$  м зміни енергії проростання насіння становлять не більше 3 %.

Під час передпосівної обробки насіння в магнітному полі з індукцією 0,065 Тл, при чотирикратному перемагнічуванні, полюсній поділці 0,23 м та швидкості руху 0,4 м/с енергія проростання насіння різних культур суттєво зростає: для пшениці — на 50 %, ячменю — на 42 %, жита — на 30 %, а вівса — на 24 %.

На рисунку 4.11 зображено залежності схожості насіння зернових культур від магнітної індукції та швидкості переміщення в магнітному полі. При збільшенні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл схожість насіння підвищується, проте при подальшому підвищенні індукції вона починає знижуватися. Коли магнітна індукція перевищує 0,130 Тл, рівень схожості майже не змінюється, але залишається вищим, ніж у контрольних зразків. Зростання швидкості переміщення насіння в магнітному полі, своєю чергою, знижує його схожість.

Результати багатофакторного експерименту дозволили отримати рівняння регресії для схожості насіння зернових культур у фізичних одиницях:

для пшениці

$$G = 75,831 + 533,667 B - 9,875 v - 91,667 Bv - 3511 B^2; \quad (3.22)$$

для жита

$$G = 71,61 + 721,82 B - 3,61v - 153,85 Bv - 4339 B^2; \quad (3.23)$$

для ячменю

$$G = 58,63 + 988,034 B - 4,444 v - 192,308 Bv - 5667 B^2; \quad (3.24)$$

### **3.8 Динаміка зміни енергії проростання та схожості насіння після магнітної обробки**

Для оцінки тривалості ефекту магнітної обробки було проведено дослідження, спрямоване на відстеження змін енергії проростання та схожості насіння жита протягом місяця після обробки в магнітному полі.

Обробку насіння жита проводили в магнітному полі з індукцією 0,03, 0,065, 0,13, 0,325 і 0,42 Тл при чотирикратному перемагнічуванні та швидкості переміщення 0,4 м/с. Через кожні п'ять днів вимірювали енергію проростання і схожість насіння.

Результати показали, що ефект від магнітної обробки зберігався протягом місяця після обробки. Енергія проростання насіння жита поступово знизилася з 82 % до 78 %, тобто на 4 %. Схожість насіння також дещо зменшилася — з 96 % до 92 %, на 4 %.

Упродовж усього періоду спостережень оброблене насіння демонструвало вищі показники енергії проростання та схожості порівняно з контрольними зразками. Максимальні значення цих параметрів спостерігалися при магнітній індукції 0,065 Тл.

### **3.9 Обґрунтування структури електротехнологічного комплексу для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур у магнітному полі**

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволили визначити основні вимоги до електротехнологічного комплексу для передпосівної обробки насіння в магнітному полі. Такий комплекс має забезпечувати магнітну індукцію 0,065 Тл у центрі повітряного зазору, періодичне магнітне поле з чотирикратним перемагнічуванням та швидкість руху насіння 0,4 м/с. Для досягнення оптимальної дози енергії під час обробки полюсна поділка повинна становити 0,23 м.

Огляд літератури показує, що найефективнішим підходом для передпосівної обробки насіння в магнітному полі є використання установок транспортерного типу. Установки з постійними магнітами мають менші експлуатаційні витрати та є більш економічними порівняно з електромагнітними.

Електротехнологічний комплекс для обробки насіння магнітним полем має включати транспортер і пристрій для магнітної обробки з постійними магнітами. Конструкція пристрою передбачає встановлення чотирьох пар магнітів на основі NdFeB, розміщених паралельно над і під стрічкою транспортера зі змінною полярністю. Магніти закріплені на плиті зі сталі марки Ст2211, а проміжки між ними заповнені текстолітом. Для захисту, з обох сторін плити облицьовані нержавіючою сталлю.

Транспортер обладнано чотирма роликками для монтажу магнітної плити під стрічкою. Рама транспортера у зоні розміщення плит також виготовлена з нержавіючої сталі. Привід транспортера здійснюється від трифазного асинхронного електродвигуна через знижувальний редуктор, що забезпечує плавний і надійний рух насіння.

### 3.10. Моделювання магнітного поля та обґрунтування геометрії пристрою для магнітної обробки з періодичною магнітною системою

Теоретичні дослідження магнітного поля пристрою для обробки насіння за допомогою магніту та аналіз його параметрів проводились із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення ELCUT. Цей софт дозволяє моделювати геометричні об'єкти, визначати зв'язки між їхніми параметрами та властивостями матеріалів, а також налаштовувати джерела поля і граничні умови.

Програмний пакет ELCUT застосовується для вирішення як лінійних, так і нелінійних задач магнітостатики в плоскій та осесиметричній постановці. Джерелами магнітного поля виступають зосереджені та розподілені струми, струмові шари, постійні магніти і зовнішні магнітні поля.

Для розв'язання подібних задач використовується рівняння Пуассона для векторного магнітного потенціалу  $A$  ( $B = \text{rot } A$ , де  $B$  – вектор магнітної індукції).

В завжди лежить у площині моделі ( $xy$  або  $zr$ ), а векторний потенціал  $A$  перпендикулярний до цієї площини. У плоско-паралельному випадку ненульовими є лише компоненти  $jz$  і  $Az$ , які позначаються як  $j$  і  $A$ . Для у плоско-паралельній постановці рівняння Пуассона має вигляд.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{\mu_y} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{\mu_x} \frac{\partial A}{\partial y} \right) = -j + \left( \frac{\partial H_{cy}}{\partial x} - \frac{\partial H_{cx}}{\partial y} \right) \quad (3.25)$$

де  $\mu_x$  і  $\mu_y$  – компоненти магнітної проникності,  $H_{cx}$  і  $H_{cy}$  – складові коерцитивної сили,  $j$  – густина струму. і значення залишаються постійними в межах кожного блоку моделі.

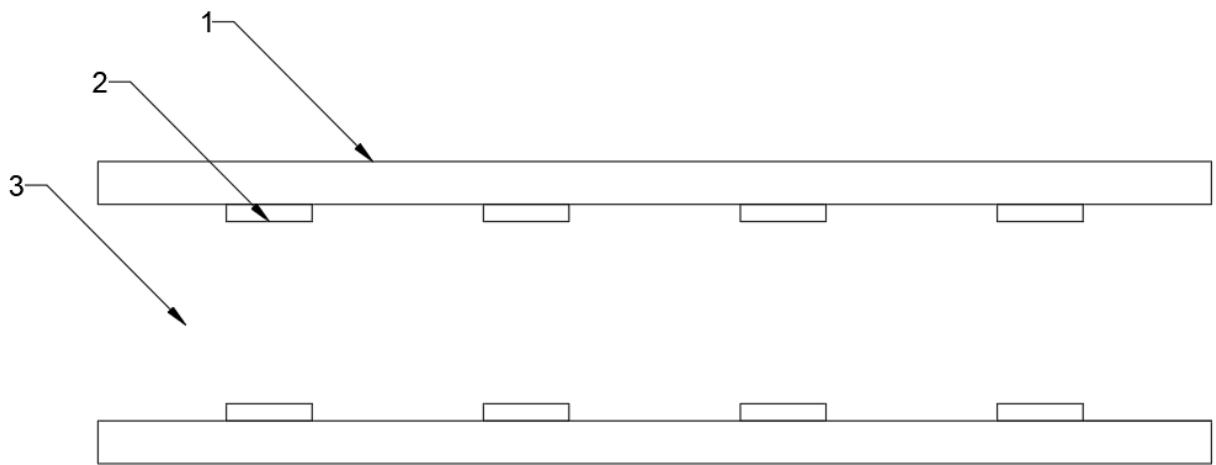
У нелінійній постановці матеріали вважаються ізотропними ( $\mu_x = \mu_y$ ), і їхні властивості задаються як залежність  $B = f(H)$ , що описується кубічним сплайном.

При створенні моделі на внутрішніх і зовнішніх межах області застосовується гранична умова Діріхле. Вона визначає відомий векторний магнітний потенціал  $A_0$  на окремих точках або лініях моделі, що задає нормальну складову індукції на межі. Ця умова часто використовується для задання

нульового значення потенціалу, наприклад, на осі симетрії або на віддаленій межі для повного згасання поля.

Нульова умова Діріхле визначає зовнішні границі моделі, а також застосовується у плоско-паралельних задачах. При цьому магнітні силові лінії не повинні виходити за встановлені межі. Частковий випадок нульової умови Діріхле, де  $B_n=0$ , означає, що нормальна складова індукції дорівнює нулю.

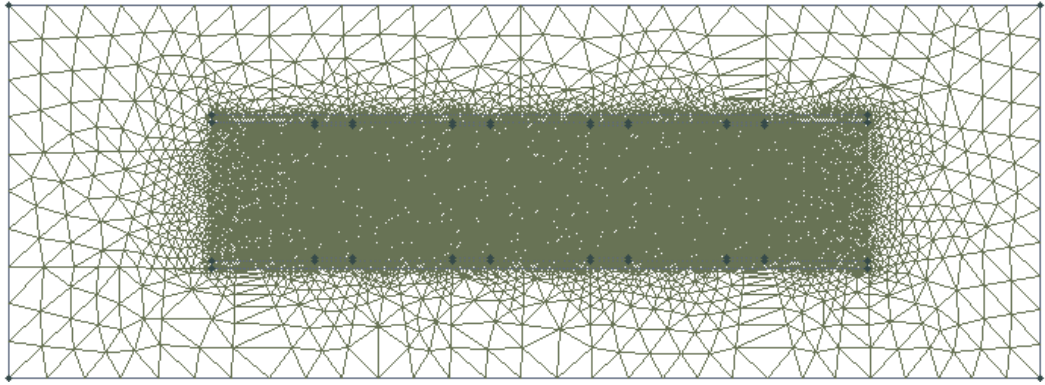
Для вирішення магнітостатичної задачі було побудовано геометричну модель в середовищі ELCUT, яка зображена на рис. 3.6. а.



а

Рис. 3.6. а. Геометрична модель установки для магнітної обробки в програмному середовищі ELCUT:

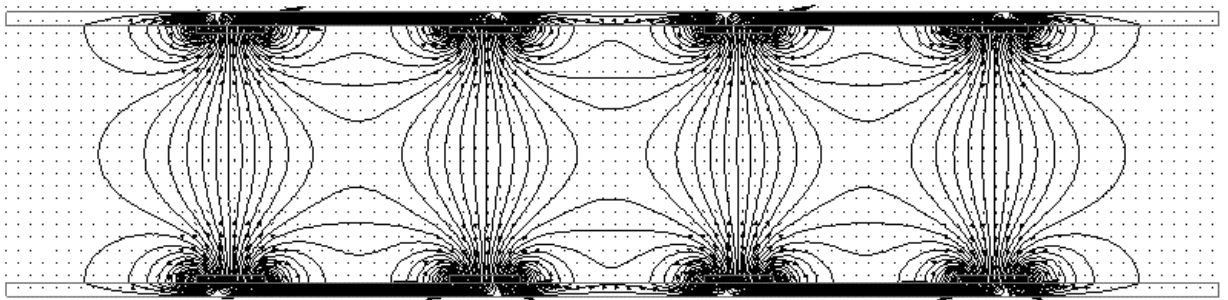
1 – феромагнітна плити, 2 – постійні магніти, 3 – область повітря;



б

Рис. 3.6.1. б. Розподіл області геометричної моделі на кінцеві елементи та кількість вузлів сітки

Точність розрахунків у методі кінцевих елементів значною мірою залежить від того, як поділена модельна область на кінцеві елементи та від кількості вузлів у сітці (рис. 3.6.1. б). У геометричній моделі ELCUT область розділена на кінцеві елементи таким чином, що максимальна густина елементів припадає на активну частину моделі (повітряний зазор, феромагнітні частини та постійні магніти).



а

Рис. 3.7. Картина магнітного поля установки для магнітної обробки насіння (а)

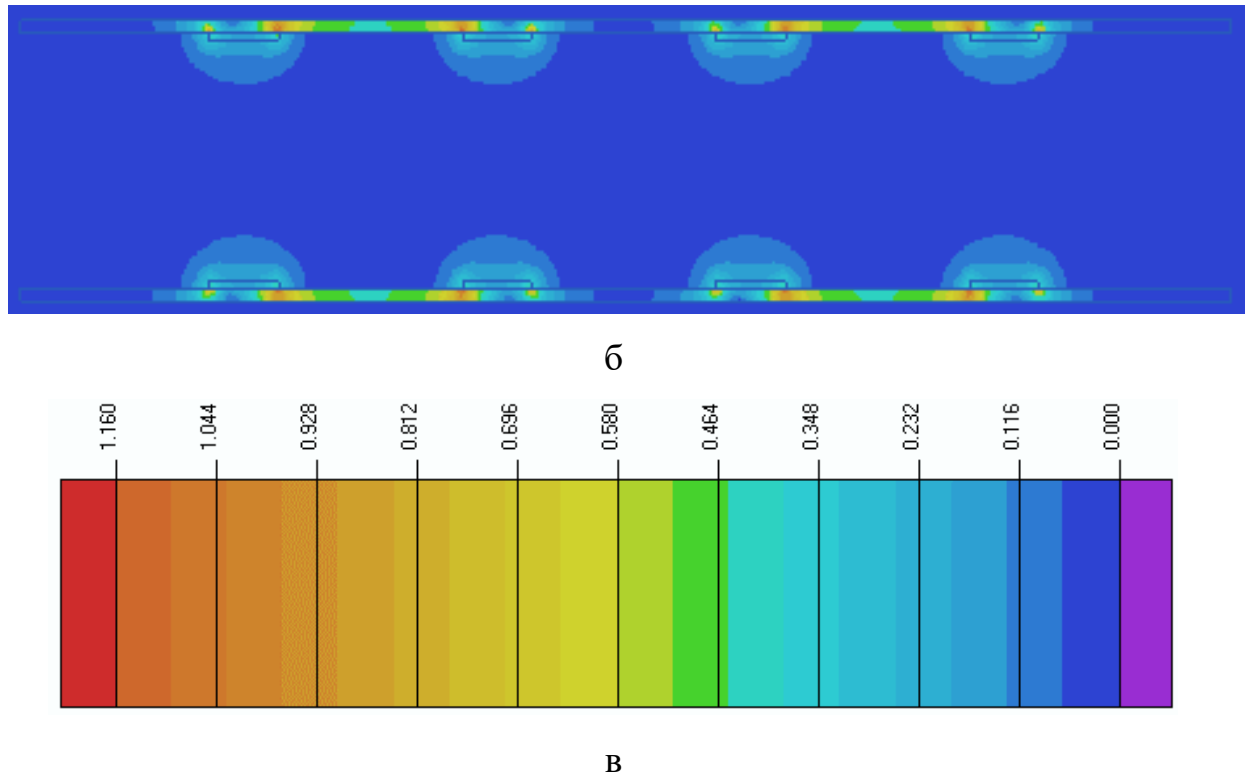


Рис. 3.7.1. Розподіл модуля магнітної індукції (б) та величина модуля магнітної індукції (в)

На рис. 3.8 показано, як змінюється магнітна індукція в центрі повітряного зазору вздовж транспортерної стрічки.

З графіка видно, що магнітна індукція змінюється в процесі руху оброблюваного матеріалу вздовж стрічки. Максимальні значення індукція досягає в площині, де розташовані постійні магніти. При переміщенні матеріалу вздовж стрічки, від одного магніту до іншого, індукція поступово зменшується, майже досягаючи нуля в середині між магнітами. Після цього індукція змінює знак і починає знову зростати.

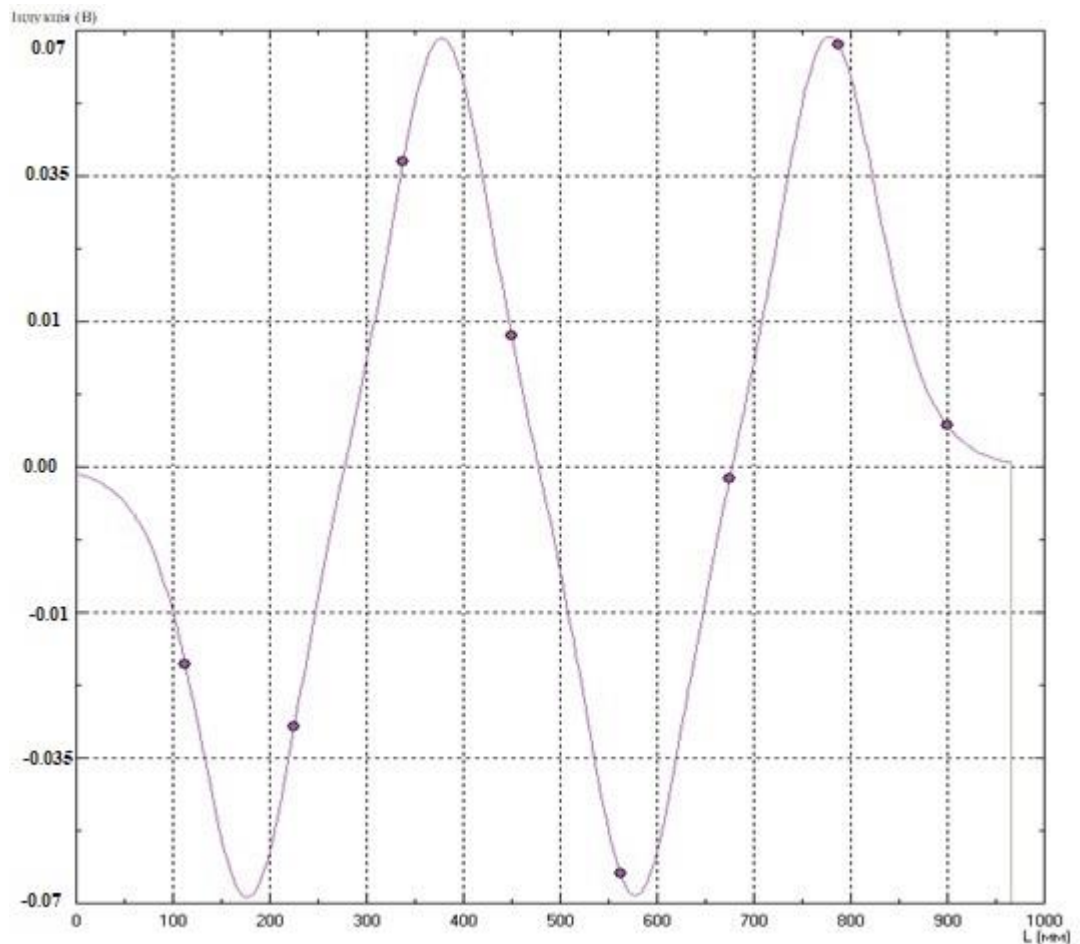


Рис. 3.8. Залежність зміни магнітної індукції у центрі повітряного зазору вздовж транспортерної стрічки

### 3.11. Експериментальні дослідження електротехнологічного комплексу для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур у магнітному полі

Експериментальні дослідження роботи пристрою для магнітної обробки картоплі виконувались шляхом вимірювання магнітної індукції за допомогою Тесламетра 43205/1 у різних точках повітряного зазору.

Для вивчення змін магнітної індукції між транспортерною стрічкою та центрами магнітів проводили вимірювання з кроком 1 см від центру нижнього магніту до центру верхнього. Досліди виконували в трикратній повторності, а їх відтворюваність оцінювали за критерієм Кохрена. Оскільки отримане значення критерію Кохрена (0,08) є меншим за критичне (0,27), то дослідження

відтворювані з 95% імовірністю. Графік залежності магнітної індукції від відстані між транспортерною стрічкою та центрами магнітів наведено на рис. 3.9.

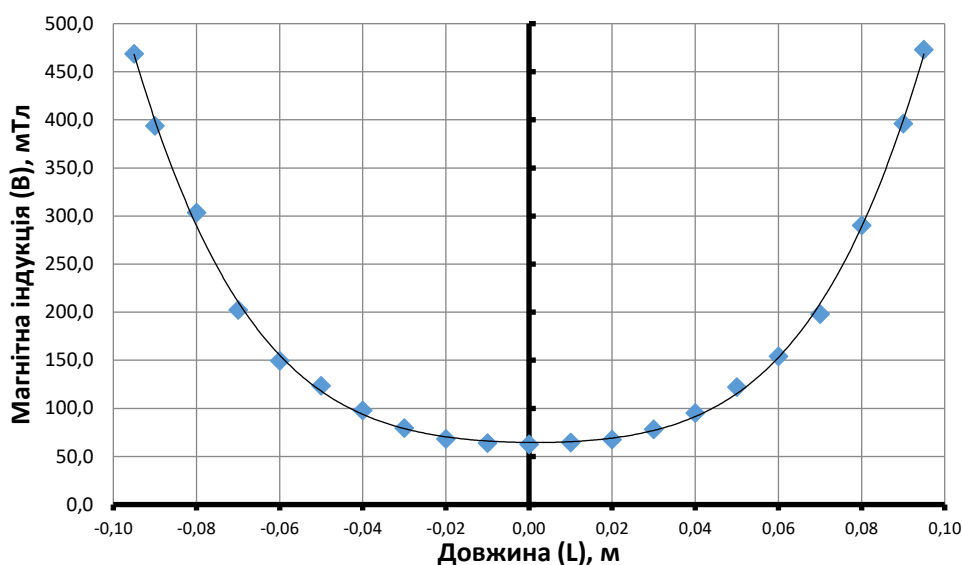
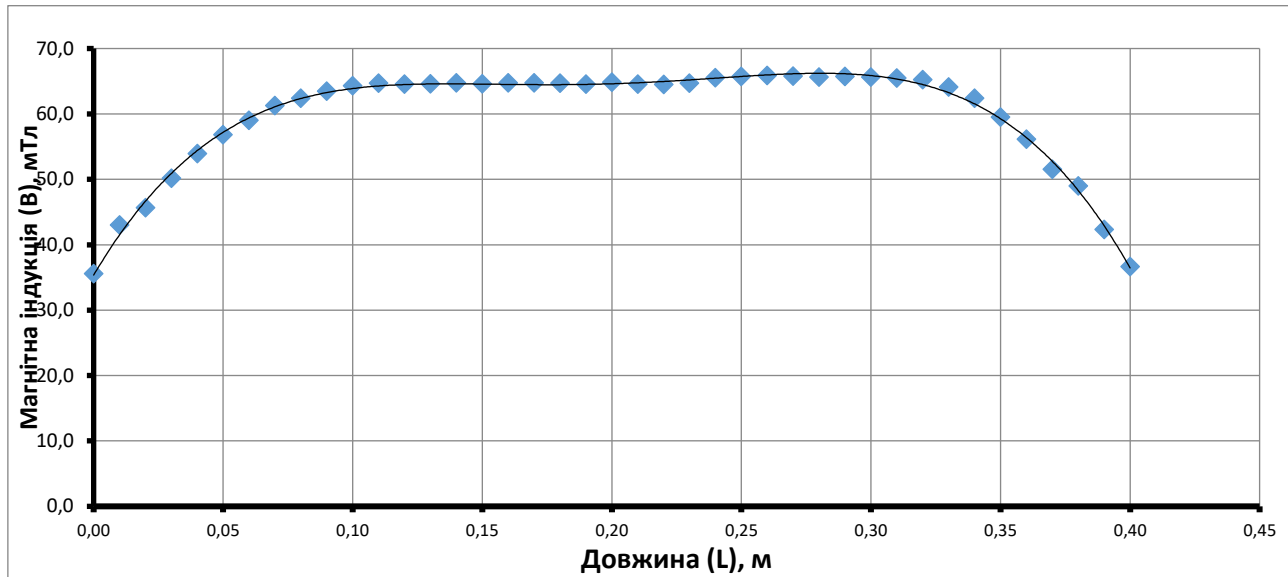


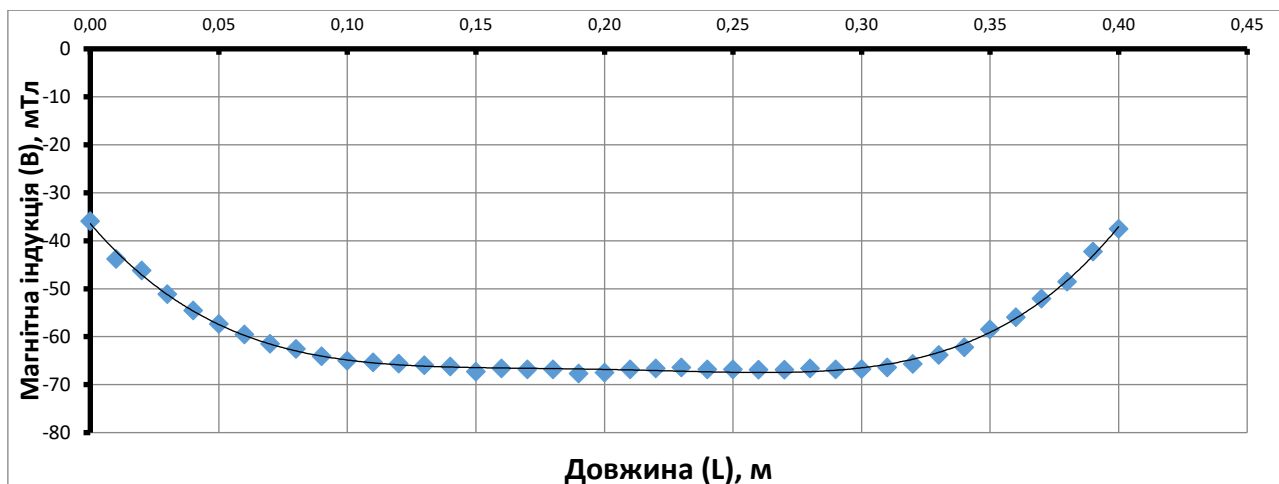
Рис.3.9. Залежність магнітної індукції від відстані між транспортерною стрічкою і центрами магнітів

Дослідження змін магнітної індукції в центрі повітряного зазору між магнітами поперек транспортної стрічки проводилося шляхом вимірювання індукції за допомогою тесламетра з кроком 1 см. Досліди повторювали тричі, а відтворюваність результатів оцінювали за критерієм Кохрена. Оскільки розрахункове значення критерію Кохрена (0,07) менше за критичне значення (0,16), експерименти можна вважати відтворюваними з 95% імовірністю. Графік зміни магнітної індукції в центрі повітряного зазору між магнітами за різних полярностей наведено на рис. 3.9, 3.10, а експериментальні дані представлено в таблиці.

За результатами досліджень змін магнітної індукції в повітряному зазорі (рис. 3.9, 3.10) встановлено, що відхилення індукції в робочій зоні від оптимального значення 0,065 Тл не перевищує 5%. При вивченні змін магнітної індукції вздовж осі транспортера вимірювання також проводили через кожен 1 см у трикратній повторності.



а



б

Рис. 3.10. Залежність магнітної індукції в центрі повітряного зазору між магнітами, розташованими поперек транспортної стрічки, при різних полярностях магнітів:  
а – N-S; б – S-N

Відтворюваність експериментів оцінювали за критерієм Кохрена, а відповідність математичної моделі — за критерієм Фішера. Оскільки обчислене значення критерію Фішера (0,29) менше за критичне (1,19), математична модель вважається адекватною експериментальним даним. Відхилення між експериментальними та розрахунковими значеннями не перевищує 5%. На рис.

3.11 наведено графік залежності зміни магнітної індукції в центрі повітряного зазору вздовж осі транспортера.

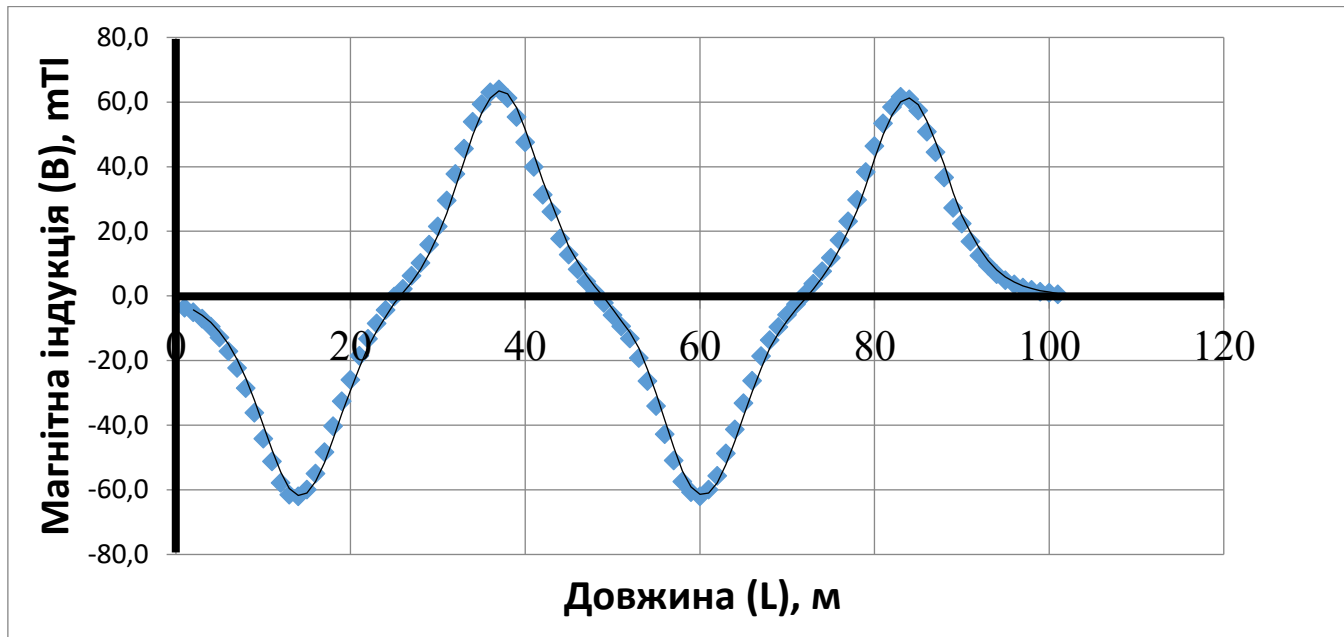


Рис. 3.11. Експериментальна залежність зміни магнітної індукції в центрі повітряного зазору вздовж осі транспортера

### 3.12 Лабораторне тестування результатів досліджень

Виробниче тестування електротехнологічного комплексу для магнітної обробки картоплі було проведено у СТОВ "Відродження" Фастівського району Київської області. Метою цього тестування було оцінити ефективність роботи створеного електротехнологічного комплексу, перевірити його надійність в експлуатації та провести техніко-економічне порівняння технологій вирощування картоплі із застосуванням запропонованого методу передпосадкової обробки з існуючою технологією.

Тестування здійснювали на ділянці площею 10 га. Картопля зі сховища подавалась транспортером-завантажувачем ТЗК-30 з приставкою ТПК-30, після чого проходила обробку в електротехнологічному комплексі з магнітним полем.

За базову технологію взяли існуючий метод вирощування картоплі. Паралельно висаджували картоплю, яку обробили перед посадкою в

знакозмінному магнітному полі. Обробка здійснювалася в магнітному полі з індукцією 30 мТл при чотирикратному перемагнічуванні та швидкості руху стрічки транспортера 1 м/с. Зміни окислювально-відновного потенціалу (ОВП) та рН картоплі контролювали за допомогою лабораторного іономіра ЭВ-74.

Результати виробничого тестування показали, що запропонований електротехнологічний метод порівняно з традиційною технологією вирощування картоплі дозволяє підвищити врожайність на 17% та збільшити частку великої фракції на 15%.

Питомі енерговитрати на процес магнітної обробки картоплі обчислювали за формулою:

$$a = \frac{P_{cp}}{Q}, \quad (3.26)$$

де  $P_{cp}$  – середня споживана потужність,  $P_{cp}=0,29$  кВт;  $Q$  – продуктивність установки,  $Q=30$  т/год.

Встановлено, що питома енергоємність процесу магнітної обробки зерна становить 0,0097 кВт·год/т.

Агрохімічна лабораторія контролювала продукцію на вміст нітратів, визначаючи їх за стандартною методикою за допомогою іоноселективного нітратного електрода. Дані щодо вмісту нітратів у зерні, вирощеному за традиційною технологією та з використанням передпосівної магнітної обробки, наведено в табл. 3.2.

Як видно з наведених даних, вміст нітратів у зерні після передпосівної обробки в магнітному полі знизився на 13% у порівнянні з традиційною технологією.

**Вміст нітратів у зерні**

Дата	Вміст нітратів, мг/кг	
	При існуючій технології вирощування	Із застосуванням магнітної обробки зерна
Липень 2024р.	103,0	89,8
Серпень 2024р.	78,2	68,1

У 2024 році було проведено виробниче тестування електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна. Зображення комплексу для магнітної обробки зерна представлено на рис. 3.12.



Рис. 3.12. Електротехнологічний комплекс для магнітної обробки зерна

Під час експлуатації електротехнологічний комплекс для магнітної обробки зерна продемонстрував високу надійність у роботі. Зафіксованих відмов чи несправностей не було.

### **3.13 Розробка системи керування потоковою лінією для передпосівної обробки зерна**

Проведені дослідження та виробничі випробування підтвердили доцільність використання електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна разом із транспортером-завантажувачем ТЗС-30. Це зумовило необхідність створення системи керування потоковою лінією, яка забезпечує технологічний процес обробки зерна перед посівом.

Було розроблено принципову електричну схему керування електротехнологічним комплексом для магнітної обробки зерна за допомогою транспортера ТЗС-30 для завантаження зерна (рис. 5.2).

Після ввімкнення автоматичного вимикача  $QF1$  коло керування отримує напругу, і загоряється лампа  $HL1$  "МЕРЕЖА". Для запуску лінії натискають кнопку  $SB5$  "ПУСК", активуючи електромагнітний пускач  $KM1$ , який подає напругу в силове коло та інші частини керування.

Напрямок руху вибирається перемикачем  $SA1$  "ХІД". Електродвигун запускається кнопкою  $SB9.2$  "ПУСК" на завантажувачі ТЗС-30, що активує пускач  $KM2$ , який вмикає електродвигун транспортерного переміщення  $M1$ .

Зміна напрямку або зупинка здійснюється положенням рукоятки перемикача  $SA1$  "ХІД", а також відпусканням кнопки  $SB9.2$  "ПУСК".

Пуск електродвигуна  $M2$  гідропривода здійснюється кнопкою  $SB10.2$  "ПУСК", активуючи пускач  $KM5$ . Для зупинки цього двигуна натискають кнопку  $SB10.1$  "СТОП".

Кнопка  $SB14.2$  "ПУСК" запускає електродвигун  $M8$  транспортера комплексу для магнітної обробки зерна. Кнопка активує пускач  $KM9$ , який замикає допоміжний контакт у колі котушки пускача  $KM6$  привода стріли.

Щоб запустити електродвигун  $M3$  стріли, натискають кнопку  $SB11.2$  "ПУСК", яка активує пускач  $KM6$  і замикає допоміжний контакт для котушки пускача  $KM7$  привода підйомного транспортера.

Для запуску підйомного транспортера

М4 використовують кнопку SB12.2 "ПУСК", яка активує пускач КМ7, що також замикає контакт для котушки пускача КМ8 привода бункера.

Запуск двигуна М5 бункера здійснюється кнопкою SB13.2 "ПУСК", що активує пускач КМ8.

Для повної зупинки лінії передпосівної обробки зерна натискають кнопку SB14.1 "СТОП". Кнопки SB11.1, SB12.1, і SB13.1 зупиняють відповідно двигуни М3, М4, і М5 під час налаштувальних робіт.

Керування висуванням телескопічного транспортера здійснюється кнопками SB6 "Назад" та SB7 "Вперед". У крайніх положеннях транспортера спрацьовують кінцеві вимикачі SQ1 та SQ2, вимикаючи двигун М7.

Для керування поворотом стріли в ручному режимі перемикач SA2 "РЕЖИМ" встановлюють на "РУЧНИЙ", і керують поворотом за допомогою кнопок SB2 "Вліво" та SB3 "Вправо". У крайніх положеннях спрацьовують кінцеві вимикачі SQ3 та SQ4, зупиняючи двигун М6. Автоматичний режим повороту стріли в цій потоковій лінії не використовується.

Вимкнення всіх двигунів здійснюється кнопками SB8 або SB9.1 "СТОП" на завантажувачі ТЗС-30.

При перевантаженні спрацьовують теплові реле КК1 – КК8, що вимикають пускачі КМ2 – КМ9 і зупиняють двигуни; при цьому загоряється лампа HL2 "ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ".



### 3.14 Технічне завдання на дослідний зразок електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна

Електротехнологічний комплекс для магнітної обробки зерна призначений для використання в агропромислових підприємствах та фермерських господарствах.

До складу електротехнологічного комплексу (рис. 3.14) входять: стрічковий транспортер напільного типу, привод транспортера, пристрій для магнітної обробки, де відбувається безпосередня обробка зерна, завантажувальний транспортер ТЗС-30 та пульт керування.

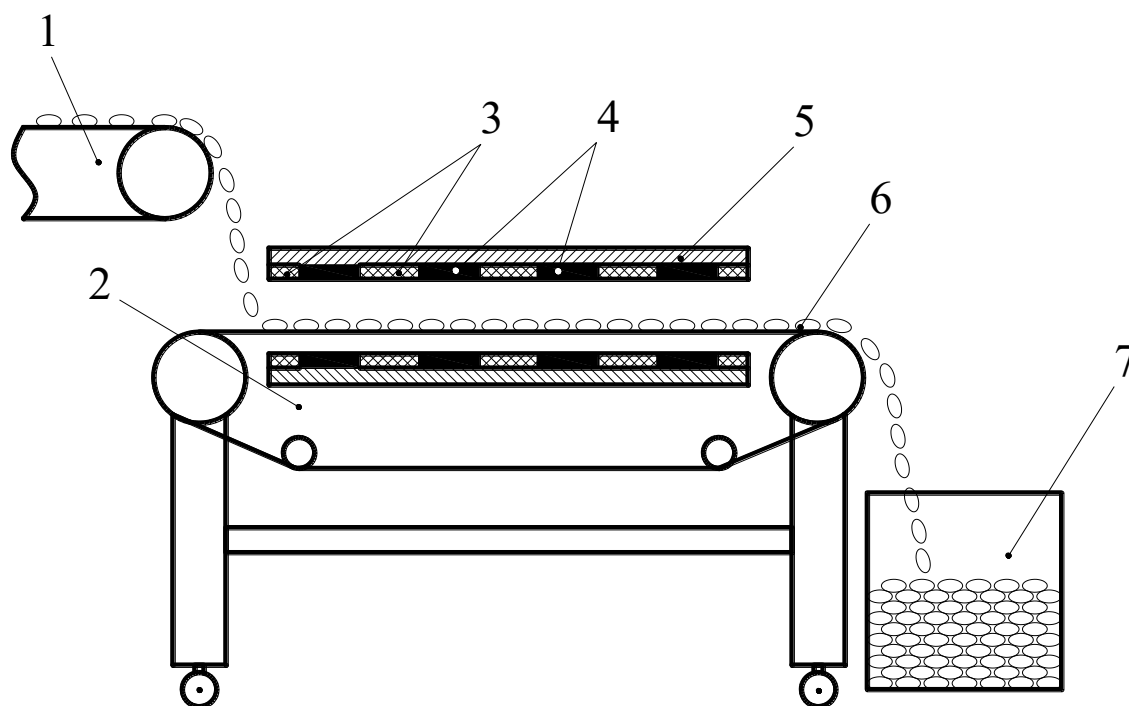


Рис. 3.14. Функціональна схема електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна:

1 – завантажувальний транспортер ТЗС-30; 2 – транспортер електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна; 3 – текстолітові вставки; 4 – постійні магніти; 5 – плита з електротехнічної сталі; 6 – об'єкт обробки; 7 – контейнер.

Параметри електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна:

- Продуктивність, т/год – 30
- Швидкість руху транспортерної стрічки, м/с – 1
- Магнітна індукція в центрі повітряного зазору, мТл – 30
- Число перемагнічувань – 4
- Потужність електродвигуна, кВт – 0,25
- Номінальна напруга, В – 380
- Номінальна частота струму, Гц – 50
- Габаритні розміри плити з електротехнічної сталі Ст2211, мм:
  - Довжина – 700
  - Ширина – 400
  - Висота – 10
- Габаритні розміри постійних магнітів N38SH, мм:
  - Довжина – 400
  - Ширина – 55
  - Висота – 6,3
- Відстань між магнітами, мм – 145
- Повітряний зазор між магнітами, мм – 190
- Ширина стрічки транспортера, мм – 400
- Габарити пульта керування, мм:
  - Довжина – 400
  - Ширина – 400
  - Глибина – 250
- Маса електротехнологічного комплексу, кг – 150
- Габарити електротехнологічного комплексу, мм:
  - Довжина – 1450
  - Ширина – 900
  - Висота – 1300
- Кількість обслуговуючого персоналу, чол. – 1

## РОЗДІЛ 4

### ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗЕРНА В МАГНІТНОМУ ПОЛІ

Заходи, що відносяться до раціонального використання електроенергії:

- Автоматизація керування виробничими процесами;
- Вдосконалення технологічних ліній;
- Компенсація реактивної потужності;
- Обмеження холостого ходу машин та електродвигунів;
- Організація функціональної технологічної експлуатації електроустановки;
- Технологічний контроль завантаження електродвигунів та їх заміна на меншу потужність при завантаженні двигуна менше 70 %.

Для електродвигунів змінного струму  $\cos\varphi$  є важливим енергетичним показником, який залежить від навантаження на валу двигуна і показує, яка частина повної електричної потужності, що надходить з мережі, перетворюється на активну потужність. Характер зміни цієї залежності показано на рис. 4.1, б. За відсутності навантаження ( $P_m = 0$ ) двигун споживає незначну активну потужність, яка практично дорівнює постійним втратам, і значну реактивну потужність, яка витрачається в основному на створення магнітного поля двигуна. В цьому випадку  $\cos\varphi$  має невелике значення.

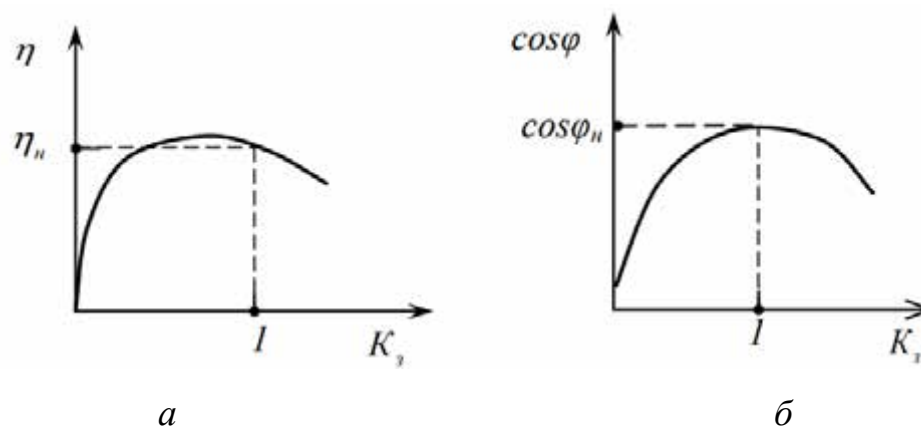


Рис. 4.1. Залежності ККД (а) і  $\cos\varphi$  (б) від завантаження двигуна

При збільшенні навантаження споживання реактивної потужності змінюється мало і тоді підвищується  $\cos\varphi$ . Подальше збільшення навантаження призводить до росту споживання реактивної потужності за рахунок магнітних потоків розсіювання, що призводить до зменшення  $\cos\varphi$ . З цього випливає, що для кращого використання електроенергії, зведення до мінімуму її втрат, досягнення максимального значення ККД двигуна в усталених режимах електроприводів, кутова швидкість яких не регулюється, необхідно забезпечити номінальне завантаження та обмежити тривалість холостого ходу двигуна.

За наявності малозавантажених двигунів доцільно провести їх заміну на двигуни менших габаритів, потужність яких відповідає реальній потужності навантаження. Розрахунки показують, що коли середнє навантаження двигуна складає менше 45 % його номінальної потужності, то заміна цього двигуна менш потужним завжди доцільна. При завантаженні двигунів більше 70 % номінальної потужності їх заміна недоцільна.

Коли двигуни завантажені в межах 45–70 % доцільність їх заміни повинна бути визначена додатковими розрахунками. Реактивна потужність, споживана асинхронним двигуном, пропорційна боковій поверхні ротора і величині повітряного зазору. Тому чим менший зазор і бокова поверхня ротора, тим вищий  $\cos\varphi$ . У потужних двигунах зазор відносно менший, ніж в малопотужних, тому вони мають вищий  $\cos\varphi$ . У високошвидкісних двигунах внаслідок

зменшення числа полюсів бокова поверхня менша, ніж у тихохідних, відповідно ці двигуни мають вищий  $\cos\varphi$ . На значення  $\cos\varphi$  впливають коливання напруги. При повному завантаженні двигуна зниження напруги викличе зниження  $\cos\varphi$ , а при неповному – його підвищення  $\cos\varphi$ . Для підвищення коефіцієнта потужності електропривода змінного струму вживають такі заходи: заміна малозавантажених електродвигунів двигунами меншої потужності; обмеження холостого ходу двигуна шляхом упорядкування технологічного процесу робочої машини; заміна асинхронних двигунів синхронними, коли це економічно виправдано; використання компенсуючих конденсаторів.

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### **5.1 Організація безпеки праці в промисловому комплексі: вимоги та заходи**

Основним фактором запобігання травматизму працівників в агропромисловому секторі є забезпечення належних умов безпеки, оснащення робочих приміщень відповідним обладнанням, а також правильна організація робочого процесу. Навчання та регулярна перевірка знань з охорони праці є обов'язковими перед початком роботи і повинні проводитися раз на три роки, згідно з вимогами законодавства.

При виконанні робіт на зернових токах необхідно встановлювати знаки «Вхід стороннім особам заборонено», а зернові бункери мають бути зачинені та захищені решітками або кришками. Вмикання зерноочисного обладнання дозволяється лише відповідальній особі. Під час технічного обслуговування або ремонту необхідно зупиняти обладнання та від'єднувати його від електроживлення, з обов'язковим встановленням знаків «Не вмикати! Працюють люди!» на рубильниках та пускових пристроях.

Машини та обладнання мають експлуатуватися тільки з наявністю захисних огорожень. До роботи на зерноочисних агрегатах допускаються лише особи, які досягли 18-річного віку, пройшли навчання з охорони праці та інструктаж з безпеки. Вони мають бути ознайомлені з будовою обладнання, правилами користування захисними огорожами та пристроями, безпечними методами роботи, способами надання першої допомоги, правилами пожежної безпеки та користування засобами індивідуального захисту.

Керівник підприємства зобов'язаний забезпечити належну експлуатацію та обслуговування електроустановок відповідно до законодавчих вимог. З цією метою він має: призначити відповідальну особу за стан і безпеку експлуатації електричних систем, яка повинна мати електротехнічну освіту і пройти перевірку знань; забезпечити достатню кількість кваліфікованих електротехнічних

працівників; затвердити положення про енергетичну службу компанії, а також посадові інструкції та інструкції з охорони праці.

Для безпечного виконання робіт в електроустановках необхідні організаційні заходи, такі як оформлення наряду-допуску, розпорядження або переліку робіт, які дозволяється виконувати під час експлуатації. Роботи можуть проводитися за нарядом, розпорядженням або в режимі поточної експлуатації. Наряд — це офіційне завдання на спеціальному бланку, що визначає місце, час початку і завершення роботи, умови її виконання, склад бригади та відповідальних за безпеку осіб. Наряд застосовують для робіт, які можна виконувати без відключення напруги або з вимиканням напруги на певній відстані від частин, що знаходяться під напругою.

За техніку безпеки відповідають дві особи: особа, яка видає наряд, і допускаючий. Особа, що видає наряд або дає розпорядження, повинна мати кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче V для роботи в установках понад 1000 В і IV — для установок до 1000 В. Вона визначає обсяг робіт, необхідність заходів безпеки та відповідає за їхнє виконання.

Допускаючий, що належить до оперативного персоналу, контролює виконання заходів безпеки, перевіряє правильність допуску до роботи і має кваліфікаційну групу не нижче IV для установок понад 1000 В та III для установок до 1000 В.

## **5.2 Оцінка ризиків і негативних чинників**

### **Механічні травми.**

Під час передпосівної обробки насіння існує значний ризик механічних травм та обвалу насіння, особливо при роботі з різними транспортними і сортувальними системами, завантаженні і вивантаженні насіння у бункерах та сховищах. Робота на цих етапах обробки передбачає взаємодію з великогабаритним і рухомим обладнанням, а також високу мобільність насипного матеріалу, що підвищує ймовірність отримання травм працівниками.

Небезпеки та ризики

До основних механічних небезпек при обробці насіння належать:

Травми від рухомих частин обладнання, таких як транспортери, шнекові установки, сепаратори та інше обладнання, що використовується для очищення, сортування та протруювання насіння.

Ризик затягування або защемлення працівників частинами конвеєрів та іншими рухомими деталями обладнання.

Падіння насипів насіння у бункерах під час завантаження або вивантаження, що може призвести до травм, обмеження руху або навіть задушення, якщо працівник опиниться під насипом.

Обвал насіння зі стелажів або силосів при неправильному зберіганні або порушенні правил завантаження/вивантаження, що становить загрозу для здоров'я і життя працівників.

Заходи безпеки для зниження ризику механічних травм

Для забезпечення безпеки працівників на виробничих ділянках під час передпосівної обробки насіння необхідно впроваджувати комплекс заходів:

#### 1. Організаційні заходи

Обмеження доступу до зон роботи обладнання. Важливо, щоб доступ до обладнання мали тільки навчені та проінструктовані працівники, які знають правила роботи та заходи безпеки.

Регулярне навчання персоналу з правил безпечної експлуатації обладнання та дій при аварійних ситуаціях.

Чітке зонування ділянок для завантаження та зберігання насіння із визначеними безпечними маршрутами переміщення, що знижує ризик випадкових зіткнень та механічних травм.

#### 2. Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)

Захисні рукавички, щоб запобігти порізам і саднам під час роботи з насінням і обладнанням.

Захисне взуття з посиленими носками, яке захищає ноги від травм у разі падіння важких предметів або насіння.

Спеціальні костюми та шоломи для захисту від механічних травм у зоні завантаження і розвантаження насіння.

### 3. Технічні заходи

Встановлення захисних кожухів і огорож на рухомих частинах обладнання. Це знижує ймовірність травмування працівників, обмежуючи їхній прямий контакт з небезпечними зонами.

Система аварійного вимкнення. Усі виробничі лінії та обладнання повинні бути обладнані кнопками аварійного вимкнення, що дозволяють негайно зупинити обладнання у випадку аварійної ситуації.

Регулярний технічний огляд та обслуговування обладнання. Зношені або несправні деталі обладнання можуть спричинити аварії та травми, тому важливо вчасно проводити огляди і ремонти.

### 4. Інструктажі та контроль за дотриманням правил безпеки

Регулярні інструктажі з охорони праці з акцентом на запобігання механічним травмам та дотримання правил безпечної експлуатації обладнання.

Контроль з боку керівництва за дотриманням техніки безпеки. Керівники підрозділів повинні контролювати використання ЗІЗ та дотримання працівниками вимог безпеки.

### **Фізичні ризики.**

Фізичні чинники, що впливають на працівників зернотоків, включають шум, вібрацію, екстремальні температури та недостатнє освітлення. Високий рівень шуму, спричинений роботою транспортерів, двигунів чи вентиляторів, може поступово погіршувати слух, викликати головний біль та дратівливість. Постійна вібрація від обладнання, такого як сортувальні машини, призводить до розладів кровообігу чи опорно-рухового апарату.

Робота на відкритих ділянках або в умовах перегріву обладнання створює температурні ризики, що можуть викликати теплові удари чи переохолодження. Недостатнє освітлення робочих зон, у свою чергу, підвищує ризик травм через погану видимість та призводить до перевтоми очей.

Для запобігання цим ризикам необхідно обладнати робочі зони сучасними системами освітлення, забезпечувати працівників спеціальним одягом і засобами індивідуального захисту, такими як шумозахисні навушники чи костюми для роботи у несприятливих умовах. Регулярні перерви та контроль температури також є обов'язковими. Технічне обслуговування обладнання має включати встановлення амортизуючих матеріалів для зменшення вібрації.

### **Електричні ризики.**

Робота на зернотоках із використанням електрообладнання супроводжується низкою небезпек, які можуть становити загрозу для здоров'я і життя працівників. Однією з основних загроз є ураження електричним струмом через пошкодження проводів, недостатню ізоляцію або роботу в умовах підвищеної вологості та запиленості. Це може призвести до опіків, нервових розладів чи навіть летальних випадків.

Коротке замикання, спричинене зношеними кабелями або перевантаженням мережі, також є поширеною проблемою. У поєднанні з високою концентрацією пилу в повітрі це може стати причиною займання чи вибуху. Додатково, іскри або несправне обладнання можуть викликати загоряння, особливо в зоні використання легкозаймистих матеріалів. Постійне перебування біля працюючого електрообладнання може спричинити негативний вплив на здоров'я через електромагнітне випромінювання, викликаючи втому чи головний біль.

Для зниження ризиків потрібно регулярно перевіряти технічний стан обладнання, забезпечувати якісну ізоляцію та заземлення, а також оснащувати об'єкти аварійними вимикачами струму. Працівники мають бути забезпечені діелектричними рукавичками, взуттям та спеціальними інструментами з ізоляцією. Обов'язковим є проведення інструктажів з електробезпеки.

Лише комплексний підхід до усунення електричних і фізичних небезпек дозволить забезпечити безпечні умови праці на зернотоках.

### **5.3 Захисне заземлення**

Захисне заземлення – один з найпоширеніших методів безпеки в електромережах з ізолюваною нейтраллю напругою до 1000 В та в мережах

понад 1000 В, незалежно від режиму роботи нейтралі джерела живлення. Воно має значну популярність завдяки надійності, простоті конструкції та легкості обслуговування порівняно з іншими методами захисту. Суть цього заходу полягає у спеціально створеному електричному з'єднанні між металевими частинами обладнання, які можуть опинитися під напругою у випадку замикання, та землею.

Принцип роботи захисного заземлення полягає в тому, що з'єднання з землею забезпечує низький опір порівняно з опором тіла людини. Це зменшує силу струму, що проходить через людину, до безпечного рівня.

Відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), захисне заземлення є обов'язковим для всіх електроустановок з напругою 380 В змінного струму; для приміщень з підвищеною небезпекою та зовнішніх установок – при напрузі 42 В змінного струму.

Заземленню підлягають корпуси електрообладнання (електричних машин, трансформаторів, вимикачів, апаратів, світильників), вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів, каркаси розподільних щитів, металеві конструкції підстанцій, корпуси кабельних муфт, оболонки кабелів, огороження, сталеві труби електропроводок, а також розрядники, блискавковідводи, троси та корпуси переносних електроприймачів.

Система заземлення включає заземлювач та заземлюючі провідники, які з'єднують елементи обладнання з заземлювачем. Заземлювачі можуть бути штучними (встановленими виключно для заземлення) та природними (металеві предмети, що перебувають у ґрунті та виконують інші функції). Для штучних заземлювачів зазвичай використовують сталь або електропровідний бетон.

Для природного заземлення використовують металеві трубопроводи, прокладені в ґрунті (за винятком труб, що транспортують легкозаймісті рідини та газу), обсадні труби свердловин, металеві або залізобетонні конструкції будівель, а також свинцеві оболонки кабелів, що лежать у землі. Найбільш поширені штучні заземлювачі виконуються у вигляді вертикальних електродів, з'єднаних між собою горизонтальним провідником. Для встановлення таких

заземлювачів спочатку риють траншею глибиною 0,7–0,8 м і спеціальними пристроями забивають вертикальні стержні діаметром 12–20 мм. До їхніх верхніх кінців приварюють шини. Траншею засипають ґрунтом, який ретельно утрамбовують для зменшення опору розтікання струму. Заземлюючі провідники виготовляються зі сталі, міді або алюмінію. У сухих приміщеннях заземлюючі провідники можна прокладати вздовж стін, а у вологих або хімічно агресивних середовищах – на відстані не менше 10 мм від стін. Відкриті заземлюючі провідники фарбуються у чорний колір. Кожен елемент, що потребує заземлення, підключають до заземлювача окремим відгалуженням, уникаючи послідовного з'єднання кількох частин установок в одному контурі. Переносні електроприймачі заземлюються окремою жилою переносного проводу, яка не виконує функцій провідника робочого струму. Проводи та кабелі для цих цілей мають бути мідними, гнучкими, з мінімальним перерізом 1,5 мм<sup>2</sup>.

Параметри заземлюючих пристроїв електроустановок повинні відповідати встановленим нормам у будь-яку пору року. Розрахунок заземлюючих пристроїв включає визначення кількості та розмірів заземлювачів, а також складання плану їх розміщення. Сила струму замикання на землю  $I_3$  обчислюється як емнісна складова струму однофазного замикання на землю:

$$I_3 = \frac{U_{\text{л}}(35L_{\text{к}} + L_{\text{в}})}{350} \quad (5.1)$$

де  $U_{\text{л}}$  – лінійна напруга мережі, кВ,

$L_{\text{в}}$ ,  $L_{\text{к}}$  – загальна довжина електрично зв'язаних відповідно повітряних та кабельних ліній, км.

Заземлюючий пристрій для нейтралі трансформатора повинен відповідати вимогам опору для мереж понад 1000 В з ізолюваною нейтраллю та мереж до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю.

Допустимий опір заземлюючого пристрою  $R_{\text{д}}$  для мережі напругою до 1000 В залежить від номінальної напруги і питомого опору ґрунту. Він складається з

опору штучних  $R_{ш}$  та природних заземлювачів  $R_{п}$ , а також загального опору заземлень повітряних ліній  $R_{заг}$ , які відходять від підстанції, тобто :

$$\frac{1}{R_{ш}} = \frac{1}{R_{д}} - \left( \frac{1}{R_{п}} + \frac{1}{R_{з}} \right) \quad (5.2)$$

Для визначення загального опору заземлені, повітряних ліній  $R_{з}$  на розрахунковій схемі повітряних ліній мережі напругою до 1000 В розміщують заземлення за умовами блискавкозахисту та повторні заземлення нульового провода.

Оскільки заземлюючий пристрій на підстанції використовують і для заземлення електрообладнання напругою понад 1000 В, то його опір повинен задовольняти і цим вимогам, тобто:

$$R_{д} = \frac{125}{I_{з}} \leq 10 \text{ Ом.} \quad (5.3)$$

Враховуючи, що  $R_{д}$  складається з опору штучних  $R_{ш}$  та природних заземлювачів  $R'_{п}$  ( $R'_{п} = R_{д}$ ), можна визначити опір штучного заземлювача:

$$\frac{1}{R'_{ш}} = \frac{1}{R'_{д}} - \frac{1}{R_{д}} \quad (5.4)$$

Порівнюючи  $R'_{ш}$  та  $R_{ш}$ , для розрахунків приймають менший опір.

При розрахунку опору штучного заземлювача знаходять опір одиночного заземлювача залежно від його типу за формулами. Потім визначають його конфігурацію з врахуванням можливості розміщення на відведеній території.

## РОЗДІЛ 6

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСУ ДЛЯ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА

Економічна ефективність застосування електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна та технології передпосівної обробки зерна в магнітному полі визначалась за стандартними методиками. Для порівняння взяли існуючу технологію вирощування зерна та відповідне обладнання. Вихідні дані для аналізу були отримані в процесі виробничого тестування, а ціни для оцінки економічного ефекту використовувалися з другого півріччя 2024 року в Україні.

Для порівняння інвестиційних проектів і визначення найкращого з них рекомендується використовувати такі показники:

- чистий дисконтований дохід (ЧДД) або інтегральний ефект;
- індекс прибутковості (ІП);
- внутрішня норма прибутковості (ВНП);
- термін окупності;
- Величина ЧДД при постійній нормі дисконту  $E$ ;

$E$  обчислюється за формулою:

$$\text{ЧДП} = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t} - K, \quad (6.1)$$

де:

- $R_t$  – результати, які досягаються на кроці  $t$ ;
- $Z_t$  – витрати, які здійснюються на кроці  $t$  (без капітальних вкладень);
- $T$  – тривалість розрахункового періоду;
- $E$  – постійна норма дисконту;
- $K$  – капітальні вкладення.

Результати, отримані в будь-який період  $R_t$ , визначаються вартістю додатково отриманого зерна  $R_n$ . Капітальні вкладення здійснюються на першому етапі експлуатації:

$$K = B_{ек}, \quad (6.2)$$

де  $B_{ек}$  — вартість електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна. Норма дисконту прийнята постійною і дорівнює  $E = 0,17$ .

Індекс прибутковості (ІП), який є відношенням суми приведених ефектів до розміру капітальних вкладень, розраховується за формулою:

$$ІП = \frac{1}{K} \cdot \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t}. \quad (6.3)$$

ІП тісно пов'язаний з ЧДД: якщо ЧДД є позитивним, то ІП перевищує одиницю, і навпаки. Якщо ІП більше одиниці, проект вважається ефективним, якщо ж менше одиниці — неефективним.

Внутрішня норма прибутковості (ВНП) або  $E_{ВН}$  (ВНП) є нормою дисконту, при якій дисконтована сума ефектів дорівнює приведеним капітальним вкладенням. ВНП знаходять розв'язанням рівняння:

$$\sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t}{(1 + E_{ВН})^t} = \sum_{t=0}^T \frac{K}{(1 + E_{ВН})^t}. \quad (6.4)$$

Інвестиції доцільні, якщо ВНП дорівнює або перевищує потрібну інвестору норму прибутковості. Якщо ні — інвестиції у проект вважаються невиправданими.

Термін окупності — це мінімальний часовий інтервал від початку проекту, після якого інтегральний ефект стає невід'ємним і залишатиметься таким у майбутньому.

На рис. 6.1 і 6.2 представлені зміни чистого дисконтованого доходу та індексу прибутковості протягом розрахункового періоду експлуатації електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна, що тривала п'ять років.

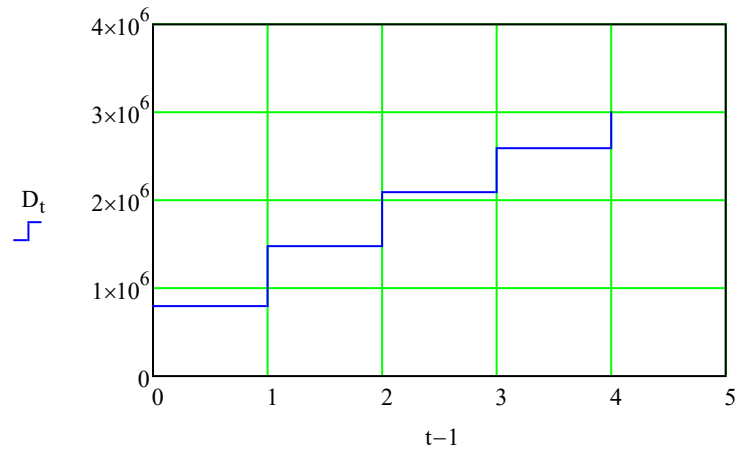


Рис 6.1. Взаємозв'язок між чистим дисконтованим прибутком та тривалістю розрахункового періоду

З рис. 6.1 видно, що вже в перший рік роботи електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна ЧДП є позитивним, що свідчить про ефективність проекту.

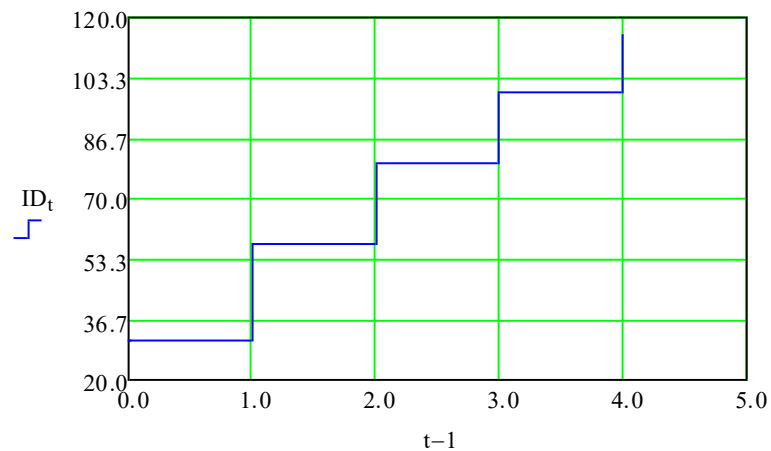


Рис. 6.2. Взаємозв'язок між індексом прибутковості та тривалістю розрахункового періоду

Протягом першого та подальших років експлуатації індекс прибутковості залишається позитивним і перевищує одиницю, що підтверджує доцільність реалізації проекту. Внутрішня норма прибутковості (ВНП) становить 35,71, а

термін окупності електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна — один рік.

Методика проектного аналізу включає оцінку інвестиційних ризиків. Щоб врахувати фактори невизначеності й ризики під час оцінки ефективності проекту, використовується вся доступна інформація про умови реалізації проекту, зокрема та, яка не представлена у вигляді ймовірнісних розподілів. Динамічні ризики пов'язані з непередбаченими змінами вартості проекту, управлінськими рішеннями та впливом ринкових і політичних умов. Статичні ризики включають можливу втрату майна через збитки або неякісну організацію виконання проекту.

Для аналізу обрано основні фактори, які впливають на реалізацію проекту, якщо фінансування відбувається за рахунок кредиту:

- зміни рівня інфляції та ставки дисконту,
- зміна вартості електроенергії й одиниці продукції,
- можливі відхилення в початкових даних та режимах роботи комплексу для магнітної обробки зерна.

Для оцінки впливу цих факторів на ЧДП проводиться аналіз чутливості доходу до змін зазначених факторів у межах  $\pm 10\%$  за один рік реалізації проекту. Результати зміни факторів у визначених межах наведено у табл. 4.1.

Таблиця 6.1.

### Вплив факторів на чистий дисконтовий прибуток

	Фактори	Величина ЧДП при зміні фактора		
		- 10 %	База	+ 10 %
1.	Норма дисконту	800800	788800	777100
2.	Вартість електричної енергії	788800	788800	788800
3.	Вартість продукції	707300	788800	870400
4.	Поточні витрати	788800	788800	788800

Для оцінки ризиків, пов'язаних із використанням електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна та розробленої технології передпосівної обробки зерна в магнітному полі, було застосовано метод Монте-Карло. Цей метод використовує імітаційні моделі, що дозволяють створити множину сценаріїв, які відповідають заданим обмеженням на початкові змінні. В цьому випадку ймовірні значення показників ефективності проекту, таких як чистий дисконтований дохід (ЧДД), розглядаються як очікуваний інтегральний ефект інвестиційного проекту. З урахуванням формул (5.3) та (5.4) прогнозована модель набуває вигляду:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (G_n \cdot B_n - Z_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t} - K, \quad (6.5)$$

де  $G_n$  – маса додатково отриманого товарного зерна;  $B_n$  – вартість 1 кг зерна.

Припускаючи рівноймовірні зміни факторів у межах  $\pm 20\%$  від базових значень і згенерувавши множину випадкових сценаріїв, отримано гістограму розподілу чистого дисконтованого доходу на основі 500 прогонів, наведена на рис. 5.6.

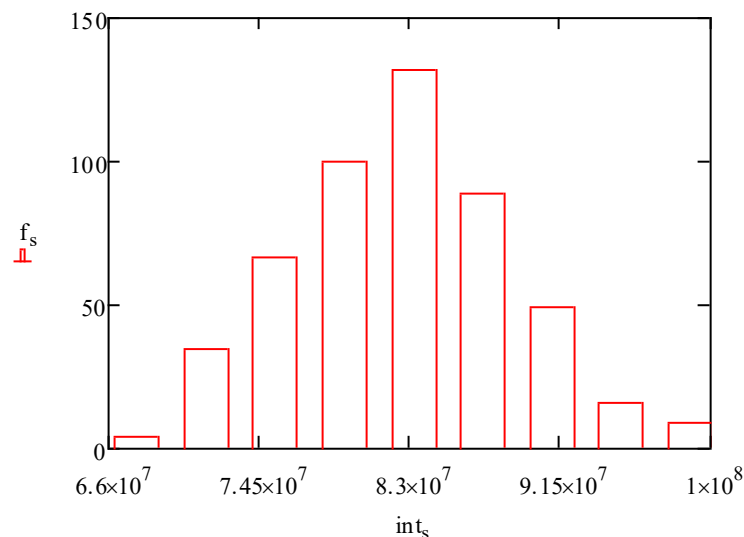


Рис. 6.3. Гістограма розподілу випадкових значень чистого дисконтованого доходу;

де  $N$  — кількість прогонів

За прийнятих параметрів моделі коефіцієнт очікуваних втрат обчислюється за формулою:

$$K_B = \frac{B}{B + \Pi}, \quad (6.6)$$

де:

- В — очікувані втрати (сума всіх негативних результатів, помножених на ймовірність їх виникнення),
- П — очікувані прибутки (сума всіх позитивних результатів, помножених на ймовірність їх виникнення).

При ймовірності 0,95 очікувані втрати дорівнюють нулю, що означає, що коефіцієнт очікуваних втрат  $K_B$  також дорівнює нулю. Це свідчить про відсутність ризику, пов'язаного із застосуванням електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна.

В результаті виробничої перевірки електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна, проведеної у СТОВ "Відродження" Фастівського району Київської області, було встановлено, що врожайність зерна після передпосівної обробки в магнітному полі зросла на 17 %, а кількість товарного зерна збільшилася на 15 %. Питома енергоємність процесу магнітної обробки склала 0,0097 кВт·год/т.

Розроблена систему керування потоковою лінією для передпосівної обробки зерна, яка використовує електротехнологічний комплекс магнітної обробки разом із транспортером-завантажувачем ТЗС-30, що відповідає вимогам технологічного процесу підготовки до посіву.

За результатами досліджень складено технічне завдання на дослідний зразок електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна, погоджене з Інститутом зернових культур НААН України.

Використання електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна на площі 100 га забезпечує чистий дисконтований дохід у розмірі 788 800 грн. Термін окупності комплексу становить 1 рік, а індекс прибутковості в

перший рік експлуатації перевищує одиницю, що підтверджує високу ефективність цієї технології.

## ВИСНОВОК

В магістерській кваліфікаційній роботі на тему «Електротехнологічний комплекс передпосівної обробки зерна в магнітному полі» було розроблено та випробувано електротехнологічний комплекс для магнітної обробки зерна, спрямований на підвищення врожайності та поліпшення якості посівного матеріалу. Дослідження показали, що магнітне поле має позитивний вплив на посівні якості зерна, зокрема на енергію проростання та схожість. Встановлено, що обробка в магнітному полі сприяє активації біохімічних процесів у насінні, що підвищує водопоглинання, активізує ферментативну активність та прискорює початковий ріст рослин.

Оптимальні параметри обробки зерна, такі як значення магнітної індукції, швидкість руху зерна в магнітному полі та полюсна поділлка, були визначені експериментально. Зокрема, встановлено, що магнітна індукція в межах 0,065 Тл та швидкість руху насіння 0,4 м/с забезпечують найбільший позитивний ефект на схожість та енергію проростання. Вибрані параметри сприяють збільшенню врожайності сільськогосподарських культур, підвищенню стійкості рослин до стресових умов та покращенню загальної економічної ефективності вирощування зернових культур.

Впровадження електротехнологічного комплексу для магнітної обробки зерна в аграрне виробництво дозволяє не лише покращити якість посівного матеріалу, а й скоротити використання хімічних препаратів, що позитивно впливає на екологічність продукції. Економічний аналіз показав, що застосування комплексу на площі 100 га забезпечує чистий дисконтований прибуток, який окупається вже протягом першого року експлуатації, що підтверджує високу ефективність запропонованої технології.

Отже, електротехнологічний комплекс для магнітної обробки зерна є перспективним рішенням, що сприяє розвитку екологічно чистих та економічно вигідних технологій у сільському господарстві.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Г.Б. Іноземцев, В.В. Козирський, М.Т. Лут, І.П. Радько, О.Ю. Синявський Дипломне проектування енергетичних та електротехнічних систем в агропромисловому комплексі. – К.: ТОВ Аграр Медіа Груп, 2013 – 534 с.
2. Закон України «Про енергетику». В редакції від 1 липня 2010 року N 2388–VI
3. Закон України «Про енергозбереження». ( Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2006, N 15, ст.126 )
4. Гонтар В. М. Ефективність застосування хімічних засобів дезінсекції зернових запасів: Посібник – К., Видавництво НТУ «КП», 2012 - 120 с.
5. Петрук, І. М., Горобець, О. В. Дезінсекція зерна на елеваторах та зерносховищах. Техніка та технології сільського господарства: Посібник – К., 2015 – 96 с.
6. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ – 2021).
7. ДНАОП 0.00. – 1.32 – 01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних електроустановок. – К.: ПП „Фірма Гранмна”, 2001. – 117 с.
8. ДБН В.2.5. – 23 – 2003. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Державний комітет України з будівництва та архітектури. – К.: 2004. – 128 с.
9. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено Наказом Міністерства палива та енергетики України за № 258 від 25.07.2006. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України за № 1143/13017 від 25.10.2006
10. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів: Затв. Наказом Міністерства палива та енергетики України за № 258 від 25.07.2006. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України за № 1143/13017 від 25.10.2006. – К.: Головдерженергонагляд Мінпаливенерго України, 2007. – 287 с.

11. ДНАОП 0.00.1.21. – 98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. / Держнаглядохоронпраці України.: – К.: Основа, 1998. – 380с.
12. "Методи та технології сушки та зберігання зерна". М.М. Кравченко, В.І. Радул, О.С. Савенок та ін. - Київ: Видавництво Університету "Україна", 2017.
13. Електропривод: Підручник / Ю. М. Лавріненко, О. С. Марченко, П. І. Савченко, О. Ю. Синявський, Д. Г. Войтюк, В. П. Лисенко; Заред.. Ю. М. Лавріненка, Видавництво «Ліра–К». –К., 2009. – 504 с.
14. "Електротехнології зернового виробництва". Г. В. Колесник, І. В. Ляшенко, В. Г. Степаненко. - Київ: Аграр Медіа Груп, 2014.
15. Червінський Л. С. Результати пошукових досліджень комбінованого опромінювання насіння / Л. С. Червінський, О. І. Романенко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. - 2012. - Вип. 174(2). - С. 206-209.
16. Савченко В. В., Синявський О. Ю. Вплив магнітного поля на енергію проростання та здатність проростання насіння сільськогосподарських культур // Праці ТДАТУ. – 2015. – Вип. 15, Т. 2. – С. 310-315.
17. Савченко В. В., Синявський О. Ю., Порохонко А. Вплив магнітного поля на посівні якості насіння жита // Енергетика і автоматика. – 2018. – № 5.
18. Савченко В. В., Синявський О. Ю., Бунько В. В., Макаров О. В., Ковальчук Н. Вплив магнітного поля на посівні якості насіння зернових культур // Енергетика і автоматика. – 2020. – № 2.
19. Шовкова О. В., Шевніков М. Я., Міленко О. Г. Вплив магнітного поля на посівні якості насіння сої // Агрономія. – 2011. – Вип. 1. – С. 163-167.
20. Савченко В. В., Синявський О. Ю. Вплив магнітного поля на розчинність солей // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – Вип. 2. – С. 31-32.
21. Кутис С. Д., Кутис Т. Л., Гак Е. З. Електромагнітна установка для передпосівної обробки насіння // Механізація і автоматизація технологічних процесів в агропромисловому комплексі. – 1989. – Ч. 2. – С. 35-36.

22. Григор'єва О. Способи підготовки насіння до посіву // Ліс Пром. – 2014. – № 6 (104). – С. 176-177.
23. Жолобова М. В. Аналіз установок для передпосівної обробки насіння // Науковий журнал КубГАУ. – 2012. – Вип. 83 (09). – С. 1-10.

## ДОДАТКИ

Вихідні дані для побудови залежності магнітної індукції від відстані між транспортерною стрічкою і центрами магнітів.

L,м	-0,095	-0,09	-0,08	-0,07	-0,06	-0,05	-0,04	-0,03	-0,02	-0,01
B, мТл	468,6	393,8	303,6	202,4	149,6	123,6	97,9	79,4	68,2	63,8

## Продовження виміряних значень

L,м	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,095
B, мТл	62,5	64,5	67,5	78,1	95,3	122,3	154,0	198,0	290,4	396,0	473,0

## Додаток Б

Вихідні дані для побудови Залежність магнітної індукції в центрі повітряного зазору між магнітами, розташованими поперек транспортної стрічки, при різних полярностях магнітів: N-S; S-N.

## 1 магніт

L,м	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
B, мТл	36,6	43,7	46,7	51,3	55,0	58,0	60,0	61,9	63,3	64,6	65,8
B, мТл	35,9	43,5	46,0	50,8	54,7	57,3	59,8	62,3	63,5	64,4	65,3
B, мТл	34,3	41,8	44,2	48,4	52,1	55,2	57,2	59,6	60,5	61,4	61,8
Серед. Значення	35,6	43,0	45,6	50,2	54,0	56,8	59,0	61,3	62,4	63,5	64,3
Дисперсія	1,33	1,08	1,62	2,41	2,47	2,03	2,47	2,10	2,75	3,29	4,69
L,м	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21
B, мТл	65,8	65,6	65,3	65,8	65,6	65,8	66,0	66,0	65,8	65,3	65,1
B, мТл	65,3	65,6	65,8	65,3	65,8	65,3	65,6	65,3	65,3	65,8	65,8
B, мТл	62,9	62,5	62,7	63,1	62,5	63,1	62,7	62,7	62,5	63,4	62,7
Серед. Значення	64,7	64,5	64,6	64,7	64,6	64,7	64,8	64,7	64,5	64,8	64,5
Дисперсія	2,36	3,14	2,76	1,99	3,39	1,99	3,22	3,05	3,19	1,65	2,61
L,м	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32
B, мТл	65,1	65,3	65,3	65,3	65,3	65,8	65,3	65,8	65,8	65,1	65,6
B, мТл	65,6	66,0	65,8	66,2	66,0	66,0	66,0	65,6	65,3	65,8	65,3
B, мТл	62,9	62,7	65,6	65,6	66,2	65,6	65,6	65,8	65,8	65,6	64,9
Серед. Значення	64,5	64,7	65,6	65,7	65,9	65,8	65,6	65,7	65,6	65,5	65,2
Дисперсія	1,97	3,05	0,05	0,23	0,23	0,05	0,12	0,02	0,07	0,12	0,12
L,м	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32		
B, мТл	65,3	65,3	65,3	65,8	65,3	65,8	65,8	65,1	65,6		
B, мТл	65,8	66,2	66,0	66,0	66,0	65,6	65,3	65,8	65,3		
B, мТл	65,6	65,6	66,2	65,6	65,6	65,8	65,8	65,6	64,9		
Серед. Значення	65,6	65,7	65,9	65,8	65,6	65,7	65,6	65,5	65,2		
Дисперсія	0,05	0,23	0,23	0,05	0,12	0,02	0,07	0,12	0,12		

## Додаток В

Вихідні дані для побудови залежності магнітної індукції в центрі повітряного зазору між магнітами, розташованими поперек транспортної стрічки, при різних полярностях магнітів: N-S; S-N.

## 2 магніт

L,м	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
B, мТл	-35,7	-44,4	-46,7	-51,5	-55,2	-58,2	-60,0	-62,1	-63,3	-64,6	-64,9
B, мТл	-36,3	-43,7	-46,0	-51,1	-54,3	-56,8	-59,3	-61,0	-62,1	-63,7	-64,6
B, мТл	-35,9	-43,5	-46,0	-50,8	-54,3	-57,0	-59,3	-61,4	-62,3	-63,9	-65,6
Серед. Значення	-36,0	-43,9	-46,2	-51,1	-54,6	-57,3	-59,6	-61,5	-62,6	-64,1	-65,0
Дисперсія	0,12	0,23	0,16	0,12	0,28	0,55	0,16	0,34	0,37	0,23	0,23
L,м	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21
B, мТл	-66,0	-66,5	-66,9	-67,4	-67,6	-67,6	-67,6	-67,6	-67,9	-67,9	-67,9
B, мТл	-65,1	-65,3	-65,3	-65,3	-67,6	-65,6	-66,0	-65,8	-68,1	-68,1	-65,8
B, мТл	-65,1	-65,1	-65,8	-66,0	-66,7	-66,7	-66,9	-67,2	-67,2	-66,7	-66,9
Серед. Значення	-65,4	-65,6	-66,0	-66,2	-67,3	-66,6	-66,9	-66,9	-67,7	-67,5	-66,9
Дисперсія	0,28	0,55	0,69	1,11	0,28	1,08	0,65	0,92	0,23	0,55	1,08
L,м	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32
B, мТл	-67,2	-66,7	-67,4	-66,7	-66,9	-66,7	-66,0	-66,9	-66,5	-66,5	-65,3
B, мТл	-65,8	-65,8	-66,5	-66,9	-67,2	-67,6	-67,6	-67,6	-67,6	-66,2	-66,0
B, мТл	-66,9	-66,9	-66,7	-66,9	-66,7	-66,5	-66,2	-66,0	-66,2	-66,7	-65,8
Серед. Значення	-66,6	-66,5	-66,9	-66,9	-66,9	-66,9	-66,6	-66,9	-66,8	-66,5	-65,7
Дисперсія	0,55	0,37	0,23	0,02	0,05	0,37	0,76	0,65	0,55	0,05	0,12
L,м	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40			
B, мТл	64,2	62,1	59,8	56,1	51,3	48,8	42,1	36,3			
B, мТл	63,9	62,3	59,1	56,1	51,3	48,8	42,3	36,8			
B, мТл	64,2	62,8	59,6	56,1	52,0	49,5	42,6	36,8			
Серед. Значення	64,1	62,4	59,5	56,1	51,5	49,0	42,3	36,6			
Дисперсія	0,02	0,12	0,12	0,00	0,16	0,16	0,05	0,07			

## Додаток Г

Вихідні дані для побудови експериментальної залежності зміни магнітної індукції в центрі повітряного зазору вздовж осі транспортера

L,м	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
B, мТл	-3,6	-4,8	-6,9	-9,5	-12,9	-17,0	-22,4	-28,5	-35,7	-44,4
B, мТл	-3,6	-5,2	-7,1	-9,4	-12,7	-17,3	-22,2	-28,9	-37,0	-44,7
B, мТл	-3,7	-5,0	-7,0	-9,4	-12,8	-16,9	-22,3	-28,0	-35,7	-43,2
Серед. Значення	-3,6	-5,0	-7,0	-9,4	-12,8	-17,1	-22,3	-28,5	-36,1	-44,1
Дисперсія	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	0,6
L,м	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
B, мТл	-50,1	-57,3	-60,0	-61,0	-58,7	-54,4	-47,2	-39,7	-32,2	-24,8
B, мТл	-52,5	-58,3	-62,0	-62,5	-60,2	-55,3	-49,4	-40,7	-33,2	-27,9
B, мТл	-51,0	-57,8	-62,4	-62,5	-60,9	-55,0	-48,3	-40,4	-32,4	-25,0
Серед. Значення	-51,2	-57,8	-61,5	-62,0	-59,9	-54,9	-48,3	-40,3	-32,6	-25,9
Дисперсія	1,5	0,3	1,7	0,8	1,3	0,2	1,2	0,3	0,3	3,0
L,м	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29
B, мТл	-18,0	-12,9	-8,5	-4,1	-1,0	2,2	6,3	10,7	16,2	21,5
B, мТл	-18,4	-13,0	-8,1	-4,5	1,7	2,1	6,1	10,4	15,8	22,0
B, мТл	-19,0	-13,7	-8,9	-4,5	-1,3	2,2	6,3	9,7	15,6	21,2
Серед. Значення	-18,5	-13,2	-8,5	-4,4	-0,2	2,2	6,2	10,3	15,9	21,6
Дисперсія	0,3	0,2	0,2	0,1	2,73	0	0,01	0,26	0,09	0,16
L,м	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39
B, мТл	29,9	39,1	45,9	54,5	60,3	64,2	63,8	60,2	55,8	47,4
B, мТл	29,6	37,9	46,4	53,7	59,0	63,2	63,7	60,8	54,6	47,5
B, мТл	29,1	36,4	44,4	53,5	58,9	61,7	64,2	62,7	55,9	48,0
Серед. Значення	29,5	37,8	45,6	53,9	59,4	63,0	63,9	61,2	55,4	47,6
Дисперсія	0,16	1,83	1,08	0,28	0,61	1,58	0,07	1,7	0,52	0,1
L,м	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49
B, мТл	39,4	31,6	29,8	17,8	12,2	8,4	4,5	1,0	-2,2	-6,0
B, мТл	40,4	31,4	24,0	17,9	13,0	8,3	4,6	1,3	-2,2	-5,8
B, мТл	40,1	31,0	24,6	17,5	13,1	8,2	4,5	1,2	-2,0	-5,9
Серед. Значення	40,0	31,3	26,1	17,7	12,8	8,3	4,5	1,2	-2,1	-5,9

Дисперсія	0,26	0,09	10,2	0,04	0,24	0,01	0	0,02	0,0	0,0	
L,м	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	
B, мГл	-9,8	-13,4	-19,6	-26,1	-33,4	-42,0	-51,0	-57,9	-61,6	-63,1	
B, мГл	-9,7	-12,6	-18,9	-26,1	-34,2	-43,2	-51,0	-56,8	-59,4	-61,5	
B, мГл	-8,7	-13,3	-19,1	-26,8	-34,5	-43,0	-50,7	-57,6	-61,1	-61,4	
Серед. Значення	-9,4	-13,1	-19,2	-26,3	-34,0	-42,7	-50,9	-57,4	-60,7	-62,0	
Дисперсія	0,4	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,0	0,3	1,3	0,9	
L,м	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	
B, мГл	-61,5	-56,0	-49,0	-41,5	-32,5	-25,7	-18,7	-13,6	-9,3	-5,6	
B, мГл	-59,4	-55,2	-48,0	-40,1	-32,9	-26,0	-18,2	-13,3	-9,5	-5,4	
B, мГл	-58,9	-55,8	-49,0	-42,3	-34,0	-27,0	-19,0	-14,0	-9,9	-6,3	
Серед. Значення	-59,9	-55,7	-48,7	-41,3	-33,1	-26,2	-18,6	-13,6	-9,6	-5,8	
Дисперсія	1,9	0,2	0,3	1,2	0,6	0,5	0,2	0,1	0,1	0,2	
L,м	0.70	0.71	0.72	0.73	0.74	0.75	0.76	0.77	0.78	0.79	
B, мГл	-2,4	0,6	4,1	7,9	12,2	17,5	23,5	29,5	38,2	46,4	
B, мГл	-2,3	0,5	4,0	7,5	12,2	17,2	22,7	30,0	38,4	46,1	
B, мГл	-2,9	0,3	3,4	7,6	11,2	17,1	23,2	29,9	38,6	46,6	
Серед. Значення	-2,5	0,5	3,8	7,7	11,9	17,3	23,1	29,8	38,4	46,4	
Дисперсія	0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,2	0,1	0,0	0,1	
L,м	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	
B, мГл	53,8	59,0	63,4	61,2	57,5	49,6	44,8	37,3	29,3	23,1	
B, мГл	53,0	57,8	60,2	59,7	56,0	50,4	43,8	36,6	23,5	21,7	
B, мГл	53,6	58,7	61,4	61,7	58,7	52,7	45,0	36,2	29,0	22,6	
Серед. Значення	53,5	58,5	61,7	60,9	57,4	50,9	44,5	36,7	27,3	22,5	
Дисперсія	0,2	0,4	2,6	1,1	1,8	2,6	0,4	0,3	10,7	0,5	
L,м	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.100
B, мГл	17,3	12,9	9,4	6,7	5,1	3,7	2,7	2,0	1,4	1,1	0,7
B, мГл	16,5	12,1	9,4	7,0	4,9	3,5	2,6	1,9	1,3	1,0	0,7
B, мГл	16,9	12,6	9,4	6,7	4,8	3,5	2,6	1,9	1,4	1,0	0,1
Серед. Значення	16,9	12,5	9,4	6,8	4,9	3,6	2,6	1,9	1,4	1,0	0,5
Дисперсія	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,13