

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра харчових технологій

**П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до кваліфікаційної роботи  
ступеня вищої освіти «Магістр»  
на тему:

**Ефективність заходів зниження механічних  
пошкоджень зерна гречки при первинній обробці**

**Виконав:** здобувач вищої освіти 2 курсу,  
групи МгХТ-3-22  
освітньо-професійної програми «Харчові технології»  
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

\_\_\_\_\_ Олександр ДОЛЖЕНКО

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Олександр ПІВОВАРОВ

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Олексій МАРЧЕНКО

Дніпро 2023

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Магістр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри  
харчових технологій,  
кандидат технічних наук, доцент  
Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«09» листопада 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Долженко Олександр Валентиновичу

1. Тема роботи: «Ефективність заходів зниження механічних пошкоджень зерна гречки при первинній обробці».

Керівник роботи: Півоваров Олександр Андрійович, доктор технічних наук, професор, затверджені наказом закладу вищої освіти від «09» листопада 2023 року № 3423.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 08 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія та обладнання для забезпечення процесу первинної очистки зерна круп'яних культур. 2. Наукова, нормативна, технологічна, технічна та патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Стан питання і завдання дослідження. 2 Методика експериментальних досліджень. 3 Результати експериментальних досліджень. 4 Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета роботи та її основні завдання. 2 Організація досліджень. 3 Результати проведення експериментальних досліджень. 4 Кошторис витрат на проведення досліджень. 5 Загальні висновки.

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Посада, прізвище та ім'я консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|---------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                       | завдання видав | завдання прийняв |
| 1 – 3  | професор ПІВОВАРОВ<br>Олександр       | 09.11.2023     | 08.12.2023       |
| 4      | професор ПІВОВАРОВ<br>Олександр       | 09.11.2023     | 08.12.2023       |
| 5      | професор ПІВОВАРОВ<br>Олександр       | 09.11.2023     | 08.12.2023       |

7. Дата видачі завдання 09 листопада 2023 року.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи               | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1     | Вступ   | 09.11-10.11.23                | виконано |
| 2     | Стан питання і завдання дослідження               | 13.11-15.11.23                | виконано |
| 3     | Методика експериментальних досліджень             | 16.11-17.11.23                | виконано |
| 4     | Результати експериментальних досліджень           | 20.11-28.11.23                | виконано |
| 5     | Охорона праці та захист навколишнього середовища  | 29.11-30.11.23                | виконано |
| 6     | Організаційно-економічна частина                  | 01.12-04.12.23                | виконано |
| 7     | Загальні висновки та бібліографія                 | 05.12-06.12.23                | виконано |
| 8     | Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу | 07.12.2023                    | виконано |

**Здобувач вищої освіти** \_\_\_\_\_ Олександр ДОЛЖЕНКО  
( підпис )

**Керівник роботи** \_\_\_\_\_ Олександр ПІВОВАРОВ  
( підпис )

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломної роботи містить 78 сторінок друкованого тексту, 14 рисунків та ілюстрацій, 14 таблиць та використано 55 літературне джерело посилань.

Метою роботи є підвищення ефективності післязбиральної обробки зерна гречки на основі зниження механічних ушкоджень.

Об'єкт досліджень – процес післязбиральної обробки зерна гречки з погляду можливого його механічного пошкодження.

Предмет дослідження – виявлення закономірностей виникнення і поширення механічних ушкоджень у зазначеному процесі обробки зерна гречки.

У розв'язку завдань збільшення ефективності виробництва гречки, які здійснюються на основі агротехнічних і організаційних заходів, істотне значення набуває підвищення якості посівного матеріалу. Для цієї мети особлива увага приділяється методам зниження механічних ушкоджень. Рівень цих ушкоджень за даними [35] досягає 60 і більше відсотків, що значно перевищує межі, визначені стандартами на якість зернового матеріалу.

Тому що повністю виключити травмування зерна при обробці не можливо, то пошуки шляхів зниження травмування гречки за рахунок удосконалення технологічної схеми обробки і технічних засобів її реалізації актуальні і мають важливе народногосподарське значення з погляду підвищення якості насіння. Тим більше, що такі дослідження відносно до гречки у вивченій нами літературі встановити не вдалося.

Ключові слова: СЕПАРУВАННЯ, МАШИНА, ГРЕЧКА, ВОЛОГІСТЬ, ТРАВМУВАННЯ, ОЧИЩЕННЯ, САМОСОРТУВАННЯ, ЗАСМІЧЕНІСТЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП  | 7  |
| 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ  | 9  |
| 1.1 Огляд методів оцінки машин по ступеню пошкодження зерна  | 9  |
| 1.2 Напруження в зерні при взаємодії з робочими органами сільськогосподарськими машинами                                       | 20 |
| Висновки до розділу і завдання досліджень  | 24 |
| 2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ  | 26 |
| 2.1 Визначення характеристик міцності зерна гречки   | 26 |
| 2.2 Визначення єдиного показника механічних ушкоджень зерна гречки   | 28 |
| 2.2.1 Недоліки відомих методів визначення механічних ушкоджень насіння   | 28 |
| 2.2.2 Методика визначення єдиного показника механічних ушкоджень зерна гречки  | 31 |
| 2.3 Методика досліджень залежностей ушкоджень зерна гречки від різних факторів при силовій взаємодії з робочими органами машин | 34 |
| 2.3.1 Обладнання і робота лабораторної установки для вивчення процесу травмування зерна  | 34 |
| 2.3.2 Підготовка насіння гречки до експерименту  | 35 |
| 2.3.3 Методика визначення схожості насіння гречки  | 38 |
| 2.4 Методика визначення механічних ушкоджень зерна при післязбиральній обробці   | 39 |
| Висновки до розділу  | 41 |
| 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ  | 42 |
| 3.1 Фізико-механічні властивості зерна і їх залежність від вологості   | 42 |
| 3.1.1 Перевірка адекватності прийнятої моделі зернівки гречки реальної   | 42 |
| 3.1.2 Показники механічної міцності гречки і їх залежність від вологості зерна   | 44 |
| 3.1.3 Механічні пошкодження зерна залежно від швидкості співударяння з   |    |

|   |    |
|---|----|
| поверхнею робочого органу при різній вологості  | 49 |
| 3.1.4 Вплив маси 1000 зернин на механічні пошкодження насіння   | 51 |
| 3.2 Механічні пошкодження зерна залежно від стану зернового матеріалу і їх вплив на схожість насіння гречки | 52 |
| 3.3 Залежності пошкодження зерна від вмісту бур'янистої домішки в зерновому матеріалі                       | 56 |
| 3.4 Вплив механічних ушкоджень на схожість насіння гречки   | 59 |
| Висновки до розділу   | 60 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА  | 62 |
| 4.1 Розробка організаційно-технологічної карти  | 62 |
| 4.2 Утилізація відходів виробництва   | 63 |
| Висновки до розділу   | 64 |
| 5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА  | 65 |
| 5.1 Організація проведення дослідження  | 65 |
| 5.2 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження  | 67 |
| 5.3 Розрахунок вартості дослідження   | 70 |
| Висновки до розділу   | 70 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ   | 71 |
| БІБЛІОГРАФІЯ  | 73 |

## ВСТУП

Гречка одна з найбільш важливих сільськогосподарських культур, що є незамінним продуктом харчування. Гречана крупа має високі смакові якості, поживна і добре перетравна. Її білки містять багато незамінних амінокислот, а зольні речовини крупи корисні для людини з'єднання фосфору, кальцію, міді, органічні кислоти, що поліпшують травлення. Тому гречану крупу відносять до числа кращих дієтичних продуктів. Крім того, гречка є гарним медоносом, а висока засвоювальна здатність її кореневої системи сприяє підвищенню родючості ґрунту.

У розв'язку завдань збільшення ефективності виробництва гречки, які здійснюються на основі агротехнічних і організаційних заходів, істотне значення набуває підвищення якості посівного матеріалу. Для цієї мети особлива увага приділяється методам зниження механічних ушкоджень. Рівень цих ушкоджень за даними [25] досягає 60 і більше відсотків, що значно перевищує межі, визначені стандартами на якість зернового матеріалу.

Праці [6, 7, 9] указують на те, що наявність ушкоджених насіння приводить до зниження, як польової схожості, так і до зниження врожаю.

Як відзначають в [23] зернова маса, що має у своєму складі ті або інші кількості механічно ушкоджені зерна, менш стійка в зберіганні. Так як ушкоджене зерно більшою мірою зазнає дії мікроорганізмів і шкідників, має більш інтенсивне дихання, виділяє підвищену кількість тепла і вологи. Усе це в остаточному підсумку приводить до виникнення вогнищ самозігрівання, що знижує якість посівного матеріалу.

В роботах [4, 36] також указують на те, що зернова партія, що пройшла якусь одну механізовану обробку і, що містить у своєму складі відсоток травмованого зерна має набагато меншу опірність ушкодженню при наступних обробках.

Тому що повністю виключити травмування зерна при обробці не можливо, то пошуки шляхів зниження травмування гречки за рахунок удосконалення

технологічної схеми обробки і технічних засобів її реалізації актуальні і мають важливе народногосподарське значення з погляду підвищення якості насіння. Тим більше, що такі дослідження відносно до гречки у вивченій нами літературі встановити не вдалося.

Метою роботи є підвищення ефективності післязбиральної обробки зерна гречки на основі зниження механічних ушкоджень.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачається розв'язок наступних завдань:

- установити залежності між напруженнями, що виникають у зернівках гречки при їхній одиничній взаємодії з різними робочими органами сільськогосподарських машин і фізико-механічними властивостями контактуючих тіл;

- виявити закономірності впливу стану зерна гречки на кількісні показники механічних ушкоджень;

- розробити метод оцінки технічних засобів по ступеню пошкодження ними гречки і визначити рівень травмування зерна різними машинами і механізмами при його післязбиральній обробці;

- виконати розрахунок кошторису витрат на проведення досліджень.

Об'єкт досліджень – процес післязбиральної обробки зерна гречки з погляду можливого його механічного пошкодження.

Предмет дослідження – виявлення закономірностей виникнення і поширення механічних ушкоджень у зазначеному процесі обробки зерна гречки.



## 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1 Огляд методів оцінки машин по ступеню пошкодження зерна

У відповідності з [23] механічні пошкодження зерна ділять на два види макропошкодження і мікропошкодження.

Макропошкодження включають дроблення, плющення або роздавлювання, обрушення зерна. Дроблення і плющення властиві всім культурам (зерновим, зернобобовим, технічним), обрушення – тільки тим групам культур, плоди яких віднесені до плівчастих зернівок (ячмінь, овес, рис), сім'янок (соняшник, сафлор), горішків (гречка, коноплі) і суплідь (буряк).

Мікропошкодження – це пошкодження зародка (повністю вибитий або частково ушкоджений), оболонки зародка, ендосперму, а також сховані внутрішні пошкодження (вм'ятини, забиті місця, внутрішні тріщини). Для зерна плівчастих культур – тріщини в області плодових (круп'яні культури) і насінних оболонки (зернобобові культури).

Перераховані види ушкоджень наносять втрату зерновому господарству. Найбільшу небезпеку представляють мікротравмування і обрушення. Такі види ушкоджень практично неможливо виділити на серійних очисних і сортувальних машинах потокових ліній, а вони можуть досягати, як відзначалося, вище більше 60 % посівного матеріалу.

Однак кількісний показник травмування не завжди дає об'єктивну оцінку посівного матеріалу. Як відзначають Whytock Gillian P., Powell Alison A. [7, 47] тут велике значення відіграє стан зернового матеріалу (вологість, температура), при якому були нанесені травми. Крім того, не всі види травм однаково впливають на польову схожість і врожайність. Дані розглянуті в [7] указують, що найнебезпечнішими є травми в області зародка (для зернових), тріщини плодових оболонки для гречки, проса. Чим більше частка насіння із такими видами травм у посівному матеріалі, тим нижче його польова схожість.

З вищевикладеного робимо висновок, що якість посівного матеріалу, тільки по одному виду ушкоджень охарактеризувати не можна. Потрібний показник, що більш повно характеризує зернову масу.

Вчені [25] характеризують посівний матеріал за видами механічних ушкоджень єдиним показником, обумовленим по формулі

$$\delta_{\text{травм}} = \delta_{\text{подріб}} + \delta_{\text{нз}} + 0,4\delta_{\text{ноз}}, \quad (1.1)$$

де  $\delta_{\text{травм}}$  – сумарне механічне травмування, %;

$\delta_{\text{подріб}}$  – вміст дробленого зерна, %;

$\delta_{\text{нз}}$  – вміст зерна, що має пошкодження зародка, що приводить до втрати схожості, %;

$\delta_{\text{ноз}}$  – вміст зерна, що має пошкодження оболонки в області зародка, %;

$$\delta_{\text{нз}} = B_{\kappa} - B, \quad (1.2)$$

де  $B_{\kappa}$  – лабораторна схожість контрольного зразка зерна ручного обмолоту, %;

$B$  – лабораторна схожість аналізованого зразка, %.

Пізніше в [26] запропонували проводити оцінку якості насінного матеріалу за показником зниження польової схожості  $\Delta B_n$

$$\Delta B_n = D + (K_{\text{Ц}} + K_1 T_1 + K_2 T_2 + K_3 T_3 + K_4 T_4 + T_5) \frac{100 - D}{100}, \quad (1.3)$$

де  $D$  – вміст дробленого насіння, %;

$\text{Ц}$  – неушкоджені насіння, %;

$T_1$  – з пошкодженнями зародка, %;

$T_2$  – із тріщинами оболонок зародка, %;

$T_3$  – зі зривами оболонки зародка, %;

$T_4$  – з пошкодженнями зародка, %;

$T_5$  – з вибитим зародком, %.

Коефіцієнти  $K_1, K_2, K_3, K_4$  показують зниження схожості кожного виду травмованого насіння у порівнянні з контролем і визначається по формулі

$$K_{ui} = \frac{B_k - B_{ui}}{B_{ui}}, \quad (1.4)$$

де  $K_{ui}$  – значення коефіцієнтів у частках одиниці;

$B_k$  – схожість насіння контролю, %;

$B_{ui}$  – схожість насіння шуканого зразка, %.

На жаль формули (1.1) і (1.3) не дають повного уявлення про якість насіння, оскільки для реалізації (1.1) у практичних умовах потрібно визначати лабораторну схожість для кожної конкретної партії насіння окремо. Коефіцієнт 0,4 при  $\delta_{noz}$  відбиває втрату схожості на 60 % тільки для певного стану зернової маси, при якій був отриманий цей вид травм. Коефіцієнти в (1.3)  $K_i$  визначаються тільки для пшениці. Очевидно, що для інших культур цей показник буде іншим. Значення коефіцієнтів  $K_i$  слушні для насіння, яке одержало травми при вологості від 13 до 23 %. Але вологість зерна при збиранні може змінюватися в більш широких межах.

Метод Б.І. Зюзькова і І.А. Чудіна [26] представлений рівнянням

$$\Delta = \delta_{подріб} + \gamma\delta_{тр}, \quad (1.5)$$

де  $\Delta$  – сумарне пошкодження зерна, %;

$\delta_{подріб}$  – кількість дробленого зерна, %;

$\delta_{mp}$  – відсоток травмованого зерна (вибитий і ушкоджений зародок, ушкоджена оболонка зародка, ушкоджена оболонка близько зародка);

$\gamma$  – коефіцієнт перерахунку, обумовлений для кожного методу визначення травмування і для кожного спостерігача індивідуально, пророщенням зерна в ґрунті (глибина закладення насіння 5 – 6 см) по формулі

$$\gamma = \frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_3}, \quad (1.6)$$

де  $x_1$  – число сходів з 1г нетравмованого насіння;

$x_2$  – число сходів з 1 г. травмованого насіння;

$x_3$  – число сходів з 1 г. дробленого насіння.

Цей метод не відрізняється від звичайного способу оцінки якості насіння (визначення польової схожості насіння), а також трудомісткий і тривалий за часом. Крім того, через незначний вміст у посівному матеріалі дробленого зерна вводити в рівняння (1.5) і (1.6) показник дроблення не обов'язково.

В [7] запропоновано характеризувати посівні якості насіння показником «наведена кількість мікроушкодженого зерна», який визначається по формулі

$$M_{ми} = M_{вз} + M_{чпз} \left( \frac{100 - B_{чпз}}{100} \right) + M_{поз} \left( \frac{100 - B_{поз}}{100} \right) + M_{обз} \left( \frac{100 - B_{обз}}{100} \right) + M_{не} \left( \frac{100 - B_{не}}{100} \right), \quad (1.7)$$

де  $M_{ми}$  – наведена кількість мікроушкодженого зерна, %;

$M_{вз}$  – кількість зерна з повністю вибитим зародком, %;

$M_{чпз}$  – кількість зерна із частково ушкодженим зародком, %;

$M_{поз}$  – кількість зерна з пошкодженням оболонок зародка, %;

$M_{обз}$  – кількість зерна з пошкодженням оболонок близько зародка, %;

$M_{ne}$  – кількість зерна з пошкодженням ендосперму, %;

$V_{чнз}$  – схожість зерна із частково ушкодженим зародком, %;

$V_{ноз}$  – схожість зерна з пошкодженням оболонок зародка, %;

$V_{обз}$  – схожість зерна з пошкодженням оболонок близько зародка, %;

$V_{не}$  – схожість зерна з ушкодженням ендоспермом, %.

Формула (1.7) використовується для окремих випадків. У ній не врахований стан зернової маси (вологість, вміст бур'янистої домішки). Для використання (1.7) необхідно визначити польову схожість для кожної партії насіння, що характеризується окремо і по всіх видах травм. Як відзначалося вище, подібна процедура досить трудомістка.

Із проведеного аналізу випливає, що для об'єктивної характеристики посівного матеріалу необхідно розробити такий показник, який урахував би не тільки дії різних видів травм на зниження польової схожості, але й вид культури, і стан зернового матеріалу. Це дозволить точніше розраховувати норму висіву насіння у різних регіонах країни, робити налаштування збиральної техніки, оцінювати готовність зернового матеріалу до наступної обробки.

Одним зі шляхів зниження кількості механічних ушкоджень насіння під час збирання і післязбиральної обробки зернового матеріалу є вишукування можливостей удосконалення машин і механізмів, їх раціонального компонування в лінії. Однак, успішне проведення цих робіт, як відзначають в роботі [24], багато в чому ускладняється тим, що в цей час немає зробленого методу оцінки ступені пошкодження зерна машинами. Оцінка машин по кількісному прирості механічних ушкоджень, вираженому у відсотках, не завжди відбиває істину. Це пояснюється тим, що кількісний показник механічних ушкоджень залежить від здатності оброблюваного зернового матеріалу пручатися механічним пошкодженням і здатності машин, механізмів або їх вузлів наносити йому ці пошкодження.

Як стверджують P.C. Arnold, A.W. Roberts, G.P. Mac-Rostie, F.S. Mitchel, F.Y. Caldwell, M.R. Paulsen, L.A. Tatun, M. S. Zuber [3, 22, 26] здатність зернового

матеріалу пручатися механічним пошкодженням визначається його станом у момент контакту з робочими органами машин (вологістю, величиною вихідного пошкодження, вмістом бур'янистої домішки), а також фізико-механічними властивостями зерна (геометричні параметри, характеристики міцності, масу зерна) [3].

Запропонована в [11] схема (рис. 1.1) показує, що ушкоджувальна здатність збиральних і машин післязбиральної обробки залежить від довжини технологічної лінії (кількість машин у лінії, кількість фаз обробки насінного матеріалу) [32], режиму роботи машин і їх робочих органів [9], матеріалу і типу конструкції робочих органів [3], технічного стану машин і їх робочих органів [36].

Із проведеного аналізу літературних джерел видно, що кількісний показник механічних ушкоджень повинен відбивати наслідок функціонування складної системи і це накладає певні труднощі у визначенні ушкоджувальної здатності машин і їх окремих робочих органів. Особливо ці труднощі проявляються при визначенні ушкоджувальної здатності машин і механізмів, що входять у лінії післязбиральної обробки зерна, де зерновий матеріал у процесі обробки послідовно проходить сушильні, очисні, сортувальні машини і транспортуючі засоби різного типу. У процесі проходження ремінного матеріалу по тій або іншій технологічній схемі обробки стан його і опірність зерна до механічних ушкоджень постійно змінюються. Тому визначити яка з машин потокової лінії більш інтенсивно ушкоджує зерно, якщо використовувати для цих цілей показник приросту механічних ушкоджень, виражений у відсотках, практично неможливо. Приведемо приклад. Випробовуються дві зерноочисні машини на очищенні зерна пшениці. На першу машину (машина А) подали зерно з вологістю 14 % і вихідним пошкодженням 20 %, на другу (машина Б) зерно з вологістю 16 % і вихідним пошкодженням 40 %. Машина А збільшила кількість ушкодженого зерна з 20 до 30 %, машина Б – з 40 до 44 %. Яка із цих машин інтенсивніше ушкоджує зерно? На це питання відповісти важко, тому що машина А дала збільшення ушкоджень на 10 %, а машина Б тільки на 4 %, але на машину А і надходила більша кількість неушкодженого зерна. Крім того, схильність зерна до пошкодження була різною.

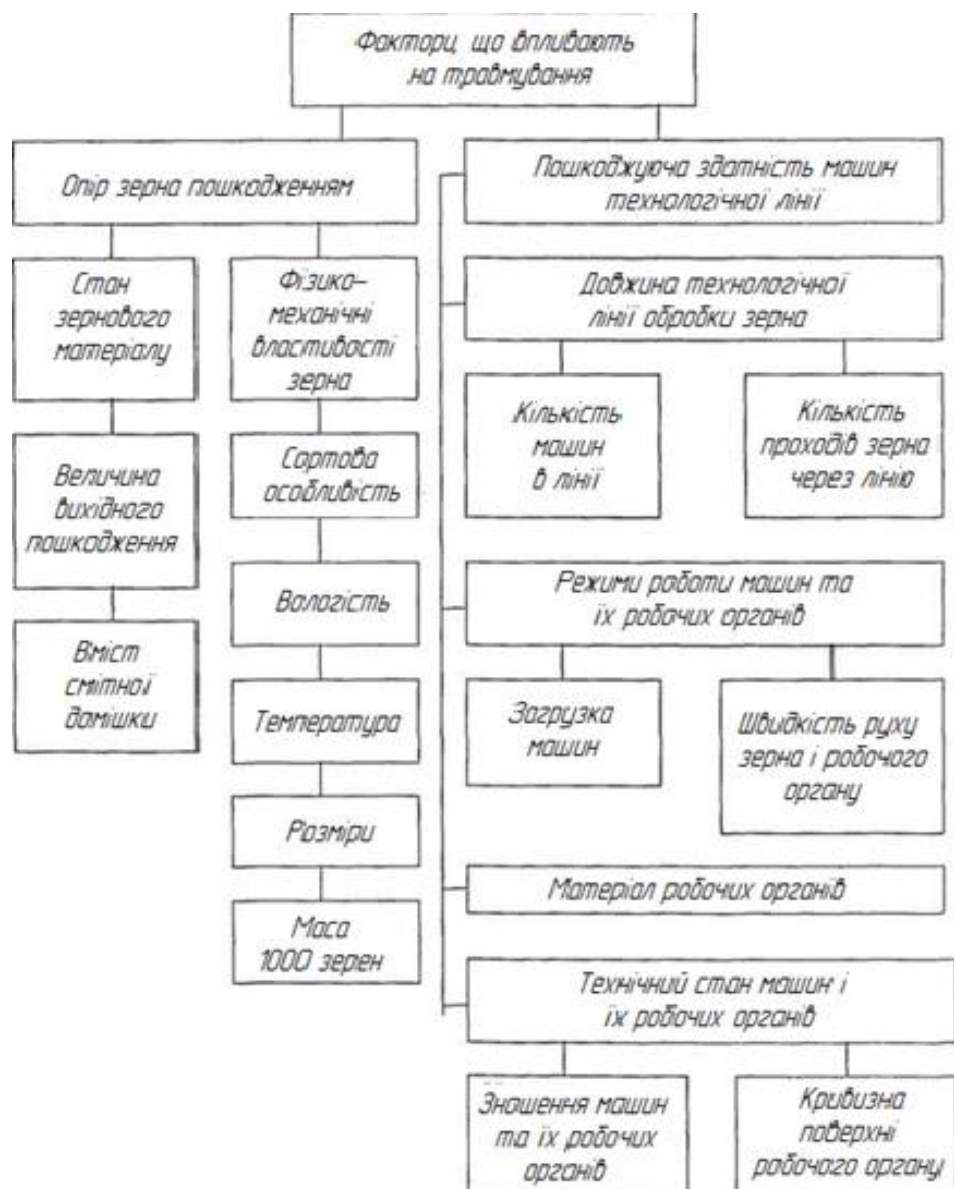


Рисунок 1.1 – Структурна схема впливу факторів на механічні пошкодження зерна

З наведеного прикладу видно, що в цих випадках необхідна особлива система оцінки ушкоджень зерна машинами, яка характеризувала тільки ушкоджувальну здатність машини або її робочих органів і не залежала від стану зернового матеріалу.

Для розв'язку поставленого завдання в [22, 26] сходяться на тому, що спочатку слід визначити залежність наростання пошкодження зерна від числа пропусків через ту саму машину. Ця машина буде в якійсь мірі еталоном «ушкоджувальної здатності». Потім, не міняючи режимів роботи і параметрів

еталонної машини, вивчити наростання ушкоджень зерна при мінливих параметрах стану зернової маси. Після цього повинен бути знайденим в графічній або аналітичній формі зв'язок у першу чергу між числом пропусків зерна, його вологістю, вмістом бур'янистої домішки в зерновому матеріалі і кількісним показником механічних ушкоджень. Наростання ушкоджень зерна від числа пропусків його через норію, досліджуване в [20], представлене залежністю

$$n_i = n_{i-1} + p_i(100 - n_{i-1}), \quad (1.8)$$

де  $n_i$  – вміст травмованого зерна після  $i$  – го пропуску, %;

$n_{i-1}$  – вихідне травмування, тобто травмування після попереднього пропуску, %;

$P_i$  – коефіцієнт травмування при даному пропуску.

Увівши позначення з (1.8)  $n_i - n_{i-1} = \Delta n_i$  та  $100 - n_{i-1} = m_{i-1}$ , одержують формулу для визначення пошкодження зерна машинами.

$$p_i = \frac{\Delta n_i}{m_{i-1}}, \quad (1.9)$$

Тут слід зазначити, що оцінка машин по показнику  $p_i$  ускладнена через, що не враховує стан зернового матеріалу, крім вихідного пошкодження. З метою виключення впливу цих факторів на величину приросту механічних ушкоджень автори [20] рекомендують проводити випробування на ідентичному по технологічних властивостях зерновому матеріалі. Це вимагає значних витрат часу і, крім того, спостерігається складність у приготуванні ідентичної купи.

Вчені [7] пропонують проводити оцінку машин при їхніх випробуваннях на якість роботи з формул відповідно (1.3) і (1.7). Можливість використання (1.3) при випробуваннях машин обмежена через те, що тут не враховується вихідне пошкодження зерна і фактори, що визначають стан зернового матеріалу. Показник (1.7) придатний для випадку, коли машини випробовуються на



ідентичній зерновій купі, оскільки параметри, що входять в (1.7), визначаються без обліку стану зернового матеріалу.

Аналізуючи результати досліджень травмування насіння при будь-якому числі операцій у потоковій технології вчені [5] запропонували формулу

$$\beta_i = 1 - \frac{1 - \beta_{0,1,2\dots i}}{(1 - \beta_0)(1 - \beta_1)(1 - \beta_2)\dots(1 - \beta_{i-1})}, \quad (1.10)$$

де  $\beta_i$  – частка травмованого зерна після  $i$  – ой операції;

$\beta_0$  – частка початкового травмування зерна.

Приріст механічних ушкоджень після  $i$ –го пропуску зерна протікає з урахуванням вихідного пошкодження. Недоліки пропонованого методу оцінки машин по (1.10), в основному ті ж, що й в (1.3), (1.7), (1.8), тобто в (1.10) не врахований вплив на приріст механічних ушкоджень стан зернового матеріалу, що обмежує використання пропонованого методу.

У роботі [26] оцінку машин по показнику механічних ушкоджень зерна пропонується проводити по формулі

$$Q_n = 100 \left( 1 - e^{-\alpha \sqrt{n+n_0}} \right), \quad (1.11)$$

де  $Q_n$  – пошкодження зерна після  $n$ -го пропуску, %;

$\alpha$  – коефіцієнт, що визначає швидкість наростання пошкодження зерна, що залежить від ушкоджувальної здатності машин і фізико-механічних властивостей зерна;

$n$  – число пропусків зерна через машину;

$n_0$  – число пропусків, яке заподіяло б неушкодженому зерну пошкодження, рівне вихідному;

$e$  – підстава натурального логарифма.

Застосування формули (1.11) також обмежене через те, що показник  $\alpha$  залежить як від ушкоджувальної здатності машини, так і здатності зерна пручатися механічним пошкодженням.

В роботі [12] коефіцієнт  $\alpha$  був розділений на дві самостійні функціональні залежності і запропонований наступний варіант

$$\delta_{II} = 100 \left( 1 - e^{-\alpha\beta\sqrt{n}} \right), \quad (1.12)$$

де  $\delta_{II}$  – показник пошкодження зерна, %;

$\alpha, \beta$  – коефіцієнти, що залежать від ушкоджувальної здатності відповідно машини і зерна;

$n$  – число пропусків зерна через машину.

Показник пошкодження зерна  $\delta_{II}$  визначався по формулі

$$\delta_{II} = \delta_{\text{нодріб}} + \delta_{\text{єз}} + \left( 100 - \delta_{\text{нодріб}} + \delta_{\text{єз}} \right) \frac{\delta_{\text{нз}}}{100}, \quad (1.13)$$

де  $\delta_{\text{нодріб}}, \delta_{\text{єз}}$  – кількість зерна відповідно дробленого і з вибитим зародком, %;

$\delta_{\text{нз}}$  – кількість зерна з пошкодженнями зародка, шт.

Оцінювати машини по їхній здатності ушкоджувати зерно автор [24] пропонує параметром  $\beta$  який можна знайти з формули (1.12)

$$\beta = \frac{2 - \lg(100 - \delta_{II})}{\alpha\sqrt{n} \lg e} \quad (1.14)$$

Використання формули (1.14), як і (1.11), також обмежене, тому що не враховані показники стану зернової маси (вміст бур'янистої домішки). У кінцевому варіанті були враховані відсутні фактори, і оцінку машин пропонується проводити по формулі

$$\delta_{II} = 100 \left( 1 - e^{-[(1-0,0184p)\alpha + 0,0058T] \beta^{0,796} n^{0,796}} \right), \quad (1.15)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт, що залежить від вологості зерна і виду пшениці;

$\beta$  – коефіцієнт, що визначає ушкоджувальну здатність машини;

$n$  – число пропусків зерна через машину ;

$p$  – вміст бур'янистої домішки в зерновому матеріалі, %;

$T$  – негативна температура зерна, °С.

Прийнявши  $n = 1$  і вирішуючи (1.15) відносно  $\beta$  було одержано

$$\lg \beta = \frac{\lg [1 - \lg(100 - \delta_{II})] - \lg [(1 - 0,0184p)\alpha + 0,0058T] - \lg \lg e}{0,796} \quad (1.16)$$

При випробуванні машин на зерновому матеріалі, що містить у собі якусь кількість ушкодженого зерна, величина  $\beta$  визначається як різниця

$$\beta = \beta_2 - \beta_1, \quad (1.17)$$

де  $\beta_1$  – ушкоджувальна здатність, обумовлена по величині вихідного пошкодження

$\beta_2$  – ушкоджувальна здатність, обумовлена по величині ушкоджень, отриманих після одного пропуску зерна через машину.

Проведений аналіз способів оцінки машин по ступеню пошкодження зерна показує, що цим питанням займаються багато дослідників. Це підтверджує значимість і актуальність досліджень, спрямованих на розв'язок даної проблеми. Отримано багато залежностей і методик, але їх застосування обмежене використанням на насіннях пшениці і не відбиває стан справ у даному питанні із гречкою.

## 1.2 Напруження в зерні при взаємодії з робочими органами сільськогосподарськими машинами

Дослідженнями [26] встановлено, що при післязбиральній обробці зернового матеріалу зіткнення насіння із твердими поверхнями відбувається в основному при вільному падінні з великої висоти і контакті його з робочими органами транспортуючих обладнань. Швидкість удару зерна може досягати 6 м/с і більше. Напруги в зерні можуть досягати граничних величин, що приводить до його руйнування або травмування.

В роботі [17] встановлено, що сила удару зерна при контакті з робочими органами машин визначається не тільки швидкістю співударяння, але й іншими факторами, а саме

$$P_y = \varepsilon \left[ \frac{E_1 E_2}{E_1 (1 - \mu_2^2) E_2 (1 - \mu_1^2)} \right]^{0.4} (\sum K)^{-0.2} (mv^2)^{0.6}, \quad (1.18)$$

де  $\varepsilon$  – числовий безрозмірний коефіцієнт;

$E_1$  – модуль пружності зерна, Па;

$E_2$  – модуль пружності матеріалу робочого органу, Па;

$\mu_1$  і  $\mu_2$  – коефіцієнти поперечної деформації зерна і матеріалу робочого органу відповідно;

$m$  – маса одиничного зерна, кг;

$\sum K$  – сума головної кривизни зерна і робочого органу в місцях контакту,

За даними досліджень [17] коефіцієнт  $\varepsilon$  приблизно дорівнює одиниці й у формулі (1.18) він не враховується.

Максимальний контактний тиск можна визначити по формулі В.П. Глотова і Б.П. Кутепова [12].

$$q_0 = 0,42 \left( \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} \right)^{0,2} \left( 2 \frac{\gamma^2 + 1}{\gamma^2 B} + \frac{1}{\rho_{21}} + \frac{1}{\rho_{22}} \right)^{0,6} (mv^2)^{0,2}, \quad (1.19)$$

де  $\gamma$  – відношення довжини зерна до його ширини;

$B$  – поперечний розмір зерна;

$\rho_{21}, \rho_{22}$  – головні радіуси кривизни поверхні робочого органу в зоні контакту із зерном.

Або по формулі, запропонованій в [17]

$$P_0 = 0,5784 \sqrt[3]{\frac{P_\gamma}{\eta^2} (\sum K)^2}, \quad (1.20)$$

де  $\eta$  – пружна постійна матеріалів дотичних тіл, яка визначається по наступній формулі

$$\eta = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2}, \quad (1.21)$$

Величину еквівалентної напруги визначають по формулі [12]

$$\sigma_e = k f_1 q_0, \quad (1.22)$$

де  $k$  – числовий безрозмірний коефіцієнт;

$f_1$  – коефіцієнт тертя ковзання зерна об поверхню робочого органу.

З аналізу (1.18, 1.19, 1.20, 1.22) випливає, що істотний вплив на навантаженість зерна при силовому контакті, крім швидкості співударяння, виявляють механічні характеристики робочого органу. Найбільша сила удару  $P_y$  і контактний тиск  $q_0$  спостерігаються при взаємодії зерна зі сталевими робочими

органами, модуль пружності яких  $E_2 = 1,6 \cdot 10^5$  МПа. Звідки випливає, що знизити створювану напругу в зерні при його контакті з робочими органами машин, можливо шляхом заміни металевих деталей на деталі, виготовлені з матеріалу, модуль пружності  $E_2$  якого перебуває в межах від  $0,66 \cdot 10^3$  до  $1,7 \cdot 10^3$  МПа.

При вивченні залежності напружень, створюваних у зерні при дії на нього динамічних навантажень, від модуля пружності покриття підстави і його товщини в [3] підійшли до наступної формули

$$\sigma = \sqrt[3]{\frac{2m_3 v_3^2 E_{II}^2 c}{l_{II}^2 \pi ab}}, \quad (1.23)$$

де  $m_3$  – маса зерна, кг;

$v_3$  – швидкість зерна перед зіткненням, м/с;

$E_{II}$  – модуль пружності покриття, МПа;

$l_{II}$  – товщина покриття, м;

$a, b, c$  – відповідно більша, середня і мала півосі еліпсоїда, м.

З формули (1.23) випливає, що з ростом модуля пружності  $E_{II}$  покриття підстави напруга в зерні при зіткненні зростає, а зі збільшенням товщини покриття  $l_{II}$  зменшується. Напруга значно знижується навіть при невеликій товщині покриття  $l_{II}$ , що суттєво впливає на зниження механічних ушкоджень зерна.

Максимальна напруга  $q_0$ , що створюється в зерні при ударах об нерухому поверхню робочого органу, представлена рівнянням [17]

$$q_0 = \frac{0,5m_3^{0,2} v^{0,4} (\sum K)^{0,6} (E_1 E_2)^{0,8}}{E_2 (1 - \mu_1^2) E_1 (1 - \mu_2^2)} \leq [q_0], \quad (1.24)$$

де  $\mu_1$  і  $\mu_2$  – коефіцієнти Пуассона відповідно зерна і матеріалу робочого органу;

$[q_0]$  – допустиме напруження, з перевищенням якого можливе травмування зерна, Па;

$\nu, \sum K, E_1, E_2$  – те ж, що й в (1.18).

Для визначення  $[q_0]$  досліджений вплив параметрів рівняння (1.24) на показник механічних ушкоджень.

Отримані в результаті досліджень залежності описуються рівняннями:

$$\delta'_\Pi = 14,25 - 0,763W + 0,00591 \sum K, \quad (1.25)$$

$$\delta_\Pi = 2,185 - 576e^{-1,6031g E_2} 0,763W + 0,00591 \sum K, \quad (1.26)$$

$$\delta_\Pi = 61,5 + 182m_T, \quad (1.27)$$

$$\nu_{кр} = 1532e^{-1,4363g E_2} \quad (1.28)$$

де  $\delta'_\Pi$  – пошкодження зерна на одиницю довжини зернового потоку, що потрапляє

під удари робочого органу;

$W$  – вологість зерна, %;

$m_T$  – маса 1000 зерен, кг;

$\delta_\Pi$  – сумарний показник механічних ушкоджень, %;

$\nu_{кр}$  – критична швидкість удару зерна об поверхню робочого органу, з перевищенням якої починає ушкоджуватися зерно.

Підставляючи в рівняння (1.24) значення  $m_T, E_1(W), E_2, \sum K, \nu_{кр}$  при яких був відзначений мінімум ушкоджень зерна, в [17] одержано рівняння, що визначає величину допустимого напруження, створюваного в зерні пшениці при його ударах об нерухливу поверхню робочого органу

$$q_0 = \frac{0,5m_3^{0,2}v^{0,4}(\sum K)^{0,6}(E_1E_2)^{0,8}}{E_2(1-\mu_1^2)E_1(1-\mu_2^2)} \leq 9365e^{-0,512\lg E_2}. \quad (1.29)$$

З (1.29) випливає, що, змінюючи параметри лівої частини нерівності, можна одержати таку їхню комбінацію, при якій напруги, створювані в зерні, не будуть перевищувати припустимі, обчислені по правій частині нерівності. Це дозволить працівникам, що займаються удосконаленням і конструюванням машин, вибрати для їхніх робочих органів оптимальні технологічні і конструктивні параметри, що, у свою чергу, також дозволить, знизити пошкодження зерна при післязбиральній обробці.

#### Висновки до розділу і завдання досліджень

Із проведеного аналізу літературних джерел випливає:

1. Кількісний вміст ушкоджень у насіннях залежить як від конструктивних і режимних параметрів робочих органів машин, так і від стану зернового матеріалу і його фізико-механічних властивостей, які в процесі проходження зерна через машини післязбиральної обробки постійно змінюються. І весь цей складний процес із багаторазовими впливами на оброблюваний матеріал у цей час вивчений недостатньо.

2. При однаковій силовій взаємодії з робочими органами сільськогосподарських машин напруги в зерні гречки будуть свідомо відрізнятися від напружень, що виникають у зерні пшениці, гороху, сої і інших культур, так як гречка має відмінну від них форму зернівки. І наведені вище формули не придатні для визначення напружень у зерні гречки.

3. У літературі відсутні показники, що характеризують міцність зерна гречки, і не встановлена залежність цих показників від вологості. Без знання цих характеристик неможливо робити оцінку міцності зерна при силовій взаємодії.



4. Не виявлений зв'язок показників пошкодження гречки при механізованій обробці з багаторазово повторюваними навантаженнями при різній вологості і засміченості зерна гречки.

5. Відсутня математична модель показників якості роботи машин для післязбиральної обробки зерна гречки, що дозволяє виявляти найбільш напружені ділянки поточкових зерноочисних ліній і намітити шляхи зниження травмування насінного матеріалу.

6. Не встановлені закономірності переходу від одного виду травм менш небезпечного до іншого більш небезпечного при багаторазовому пропуску зернового матеріалу через машини.

Метою досліджень є пошук шляхів зниження механічних ушкоджень насіння гречки при післязбиральній обробці.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачається розв'язок наступних завдань:

- установити залежності між напруженнями, що виникають у зернівках гречки при їхній одиничній взаємодії з різними робочими органами сільськогосподарських машин і фізико-механічними властивостями контактуючих тіл;

- виявити закономірності впливу стану зерна гречки на кількісні показники механічних ушкоджень;

- розробити метод оцінки технічних засобів по ступеню пошкодження ними гречки і визначити рівень травмування зерна різними машинами і механізмами при його післязбиральній обробці;

- виконати розрахунок кошторису витрат на проведення досліджень.

## 2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відповідно до поставлених завдань програма досліджень включає:

- визначення характеристик міцності зерна гречки: модуля пружності, припустимих середніх контактних напружень, середніх дотичних напружень;
- аналіз методів визначення механічних ушкоджень зерна і вибір раціонального;
- визначення єдиного показника механічних ушкоджень зерна гречки;
- дослідження механічних ушкоджень зерна залежно від його фізико-механічних властивостей і стану зернового матеріалу;
- визначення механічних ушкоджень зерна машинами при післязбиральній обробці.

### 2.1 Визначення характеристик міцності зерна гречки

Для виміру показників міцності зерна нами була використана експериментальна установка (рис. 2.1). Конструкція установки включає закріплений на штативі 9 мікромметр 1 зі шкалою виміру від 0 до 25 мм, до нижньої частини скоби якого приварена втулка із гвинтом 7. У втулці 7 за допомогою гвинта закріплений індикатор годинникового типу 8, у вимірювальний стержень якого вкручено наконечник 11, підпружинений пружиною 6. Привід мікрометричного гвинта мікрометра здійснюється від закріпленого на кронштейні 4 електродвигуна постійного струму 3 з редуктором 2. Живлення електродвигуна - від регульованого джерела струму 10.

При визначенні модуля пружності гречки за основу була взята методика, запропонована в [10], суть якої полягала в стиску попередньо підготовленого зерна різної вологості між наконечником 11 індикатору і мікрометричним гвинтом мікрометра. За допомогою регульованого джерела струму завантаження і розвантаження велося при постійній швидкості 4 Н/с до значення сили  $P$ .

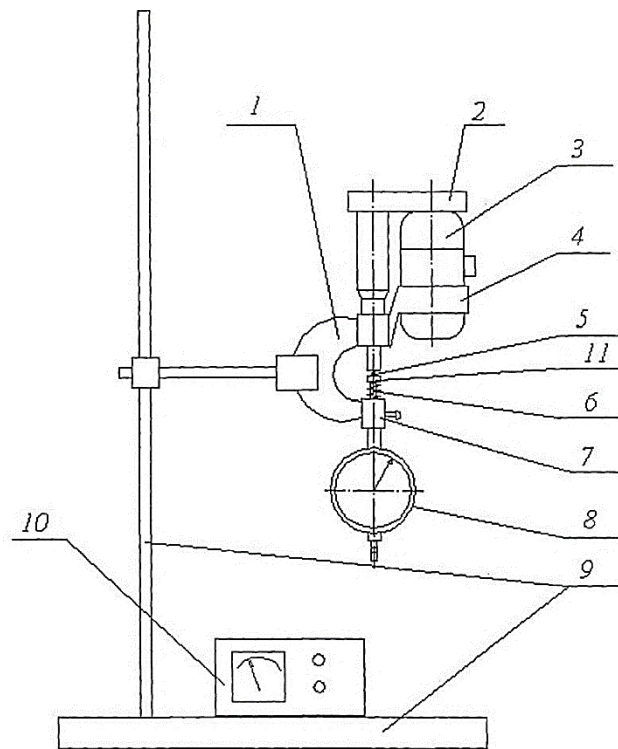


Рисунок 2.1 – Принципова схема установки для визначення характеристик міцності зерна:

1 – мікрометр МК-25; 2 – редуктор; 3 – електродвигун; 4 – кронштейн кріплення електродвигуна; 5 – зернівка гречки; 6 – тарована пружина; 7 – втулка з гвинтом; 8 – індикатор годинникового типу ГЧ-10; 9 – джерело постійної напруги, що регулюється; 11 – наконечник.

У результаті контактної статичної взаємодії визначалися значення ширини майданчика контакту  $2t$  по грані зернівки. Тому що модуль пружності наконечника 11 індикатору набагато більше модуля пружності зерна

$$E_1 = \frac{4PR_1(1-\mu_1^2)}{\pi \cdot b \cdot t^2} \quad (2.1)$$

У цій формулі значення стискаючої сили

$$P = \lambda x, \quad (2.2)$$

де  $x$  – усадка пружини, мм;

$\lambda$  – твердість пружини, обумовлена при попередньому таруванні, Н/мм.

Значення середньої напруги на площині контакту визначалося по формулі

$$\sigma_{cp} = \frac{P}{S}, \quad (2.3)$$

де  $S$  – площа контакту, мм<sup>2</sup>.

Площина контакту по ребру апроксимувалася еліпсом з півосями  $c$  і  $t$ , по грані – прямокутником зі сторонами  $2t$  і  $b$ . Відповідно значення площ контакту

$$S = \pi \cdot c \cdot t \quad S = 2t \cdot b \quad (2.4)$$

Значення середнього дотичного напруження визначалося по формулі

$$\tau_{cp} = \frac{2P_{\tau}}{b \cdot h}, \quad (2.5)$$

де  $P_{\tau}$  – гранична рушійна сила, Н;

$b$  – ширина зернівки, мм;

$h$  – товщина зернівки, мм.

Під максимально припустимими розумілися напруження, при яких відбувалося руйнування зерна.

## 2.2 Визначення єдиного показника механічних ушкоджень зерна гречки

### 2.2.1 Недоліки відомих методів визначення механічних ушкоджень насіння

У теперішній час використовується кілька методів визначення кількості макро- і мікроушкоджень, які згідно з [7] розділяють в основному на дві групи: прямі і непрямі.

Прямі або органолептичні методи включають:

1. Візуальний контроль насіння без попередньої їхньої обробки. Гарні результати виходять при перегляді насіння через лупу 10 – 15 – кратного збільшення.

2. Перед переглядом насіння під лупою їх попередньо поміщають у фарбувальні розчини, ретельно перемішують, зливають розчин, кілька раз промивають водою, потім висипають зерна на фільтрувальний папір, підсушують. У якості барвників використовують 0,5 %-й розчин йодистого калію, анілінові, гістологічні та інші розчини. Метод фарбування насіння у йодному розчині нами перевірявся. Цим методом добре виявляються травми ендосперму, тому що цей вид травм спричиняє вихід на поверхню зернівки крохмалю, травми зародка в цьому випадку не зафарбовуються. З метою усунення цього недоліку в [32] пропоновано вторинне фарбування цього насіння в 0,5 %-му розчині конгорита, усі ушкоджені місця зафарбовуються в червоний колір. Після цього всі зерна проглядаються під лупою.

3. Кип'ятіння насіння у розчині гіпохлорида натрію полягає в кип'ятінні їх протягом 10 – 12 хвилин в 2 %-му розчині такого, або в 2 – 3 %-му розчині їдкового калію протягом трьох хвилин. Після кип'ятіння зерно промивається водою і проглядається під лупою. Ушкоджені ділянки знебарвлюються.

Методи, засновані на попередньому фарбуванні або знебарвленні перед переглядом через лупу [11, 15] підвищують точність при визначенні кількості мікроушкоджень і полегшують установлення найбільш дрібних травм. Недоліком цих методів є більші витрати часу, наявність спеціального устаткування, барвників і інших хімічних матеріалів, що приводить до більших ускладнень у проведенні масових досліджень.

4. Рентгенографічний метод, запропонований S.K. Камра та ін. [16], дозволяє виявити внутрішні пошкодження зернівок як в області ендосперму, так і в області зародка.

5. Люмінесцируючий метод, полягає в обробці зерна 0.1%-м розчином люмінесцируючих речовин флюоросцеїна або піроніна з витримкою в розчині

протягом 2-х годин і наступним переглядом зерна в ультрафіолетових променях. Автори цього методу заключають, що цей метод дає можливість визначити найдрібніші пошкодження.

6. Тетразольний метод, розроблений G. Lakon та ін. [37], полягає в замочуванні насіння зернових культур у воді при температурі 30 °С протягом приблизно 16 годин. Потім з насіння витягають зародок з тонким шаром ендосперму і занурюють у хлористий тетразол на 24 години температурою 30 °С. Далі промивають у воді і звільняють зародок від ендосперму. Життєздатність насіння визначається по інтенсивності фарбування тих частин зародка, які необхідні для його розвитку. Крім позитивних сторін цього методу автори відзначають і недоліки, а саме:

- складність і тривалість процесу;
- цим методом не можна виявити фітотоксичність, пов'язану з обробкою насіння хімікатами (ушкоджені зразки, негідні для посіву, можуть виявитися віднесеними до насіння високої схожості). Непоміченими залишаються теплові пошкодження, отримані при сушінні насіння у сушарках.

7. Непрямий або біологічний метод цінний при визначенні схованих травм, вплив їх на посівні якості і урожайність посівного матеріалу. Найбільш точні результати при використанні цього методу при пророщенні насіння у ґрунті на глибині закладення 5 – 6 см, або пророщенням насіння в умовах наближених до таких.

Методи визначення схожості насіння в умовах, наближених до польових, розроблені і перевірені в [6, 25]. Полягають вони у визначенні лабораторної схожості насіння за ГОСТ 12036-66 з тою лише різницею, що насіння перед посівом обробляють одним зі способів.

Обробка насіння 50 %-м розчином сірчаної кислоти з наступним промиванням у дистильованій воді і перевіркою на схожість. Оптимальний час замочування для насіння ячменя 15 хв., для жита – 10 хв., пшениці 1 – 2 хв. По різниці сходів між контрольним зразком (насіння ручного обмолоту) і досліджуваним визначають вміст ушкодженого зерна. Зволоження ложа

(фільтрувальний папір або кварцовий пісок) слабким розчином сірчаної кислоти (для пшениці концентрація розчину – 0,05 – 0,07 %).

Аналіз перерахованих методів визначення механічних ушкоджень зерна показав, що більшість із них не відрізняється підвищеною точністю, вимагають спеціального устаткування, місця, особливих умов проведення досліду і значних витрат часу.

Найбільш простим і не менш точним є метод, запропонований в [8]. При визначенні ушкоджень зерна гречки цей метод був узятий нами за основу. Від партії насіння, відповідно до ГОСТ 12036-85 [14], відбирають середній зразок (2,5 – 3 кг), з якого відбирають дві наважки масою 50 г кожна. При визначенні механічних ушкоджень зерна гречки машинами, на відміну від ДСТ [14], до макроушкоджених відносили всі дроблені насіння незалежно від ступеня пошкодження, а також плющені і завалені. До мікроушкоджень – усі замічені тріщини плодових оболонок. При розборі наважок на чистоту дроблені, плющені і обрушені зерна відокремлювали від цілого, зважували на вагах з точністю до 0,01 г і вміст кожної фракції обчислювали у відсотках до загальної ваги наважок. Із частини наважок, що залишились відбирали підряд без вибору дві проби по 100 зернин кожна й окремо переглядали кожне зерно через лупу 4 – 5-кратного збільшення, розташували його при цьому на розбірній дошці із дзеркальним склом (дзеркало було необхідно для всебічного перегляду зерна без його огортання). Таким чином, для визначення мікроушкоджень із двох наважок виділяли роздільно чотири сотні зернин.

### 2.2.2 Методика визначення єдиного показника механічних ушкоджень зерна гречки

Проводити оцінку зернового матеріалу по декільком видам механічних ушкоджень (дроблення, обрушення, тріщини в області плодових оболонок) важко і вона вимагає більших витрат часу. Тому роботи дослідників, спрямовані на розробку єдиного показника механічних ушкоджень, що визначає якість посівного матеріалу, заслуговують на увагу.

Найбільш зручним методом визначення механічних ушкоджень зерна є підсумовування кількості макро- і мікроушкоджень. Однак, метод простого підсумовування всіх видів ушкоджень по обраній нами методиці визначення макро- і мікроушкоджень буде не об'єктивний. Через те, що по цьому методу макропошкодження обчислюють у відсотковому відношенні до всієї маси наважки, а мікропошкодження – у відсотковому відношенні до частини наважки, що залишилася (після виділення домішки, дроблених, плющених і обрушених зерен). Тому просте підсумовування всіх видів ушкоджень дає заздалегідь завищені результати на величину, рівну кількості мікроушкоджень, що доводиться на частку макроушкоджень виділених з наважки. При визначенні мікроушкоджень їх кількість слід обчислювати у відсотковому відношенні до всієї маси наважки. Для реалізації цього положення приймемо позначення:

- $m_n$  – маса наважки, г;
- $m_{обр}, m_{подріб}$  – маса відповідно обрушеного, дробленого насіння, г.

Згідно із цими позначеннями відсоток обрушеного насіння у масі наважки

$$m_n = \frac{m_{обр}}{m_n} \cdot 100, \quad (2.6)$$

дробленого насіння

$$m_n = \frac{m_{подріб}}{m_n} \cdot 100. \quad (2.7)$$

Прийнявши масу наважки за 100 % і віднімаючи з нього кількість обрушеного і дробленого зерна, одержимо відсоток нетравмованого насіння і насіння із тріснутою оболонкою в загальній масі наважки

$$\delta_{нетр} + \delta_{трісн} = 100 - \delta_{обр} - \delta_{подріб}, \quad (2.8)$$



Щоб розчленувати ліву частину рівняння із суми нетравмованих зернин і зернин із тріснутою оболонкою вибираються чотири сотні зернин, проводиться перегляд їх під лупою і визначається кількість мікроушкодженого зерна у штуках з кожної сотні  $\delta_{трісн}^m$ . Якщо різниця між отриманими  $i$ -ми значеннями  $\delta_{трісн}^m$  не перевищує 10 %, то знаходиться середнє значення шуканого параметра

$$\delta_{трісн} = \left(100 - \delta_{обр} - \delta_{подріб}\right) \frac{\delta_{трісн}^m}{100}. \quad (2.9)$$

Сумуючи окремі види травм, отримаємо

$$\delta_{II} = \delta_{обр} + \delta_{подріб} + \left(100 - \delta_{обр} - \delta_{подріб}\right) \frac{\delta_{трісн}^m}{100}, \quad (2.10)$$

де  $\delta_{II}$  – сумарний показник механічних ушкоджень.

Формула (2.10) застосовна тільки для штучно створеної купи зерна. Реальна ж зернова купа містить бур'янисті домішки, які необхідно враховувати.

З урахуванням вмісту бур'янистої домішки вираз (2.10) прийме вигляд

$$\delta_{II} = \left[ \delta_{обр} + \delta_{подріб} + \left(100 - \delta_{обр} - \delta_{подріб}\right) \frac{\delta_{трісн}^m}{100} \right] \cdot \frac{100}{100 - p}, \quad (2.11)$$

де  $m_{np}$  – маса бур'янистої домішки, г.

У дослідах зі змінним значенням  $p$  при розборі наважки виділення бур'янистої домішки часток дробленого зерна досить важко. Тому наважка зерна гречки ділиться на дві фракції: нетравмоване зерно і домішка. Сумарний показник механічних ушкоджень визначається по формулі [10]

$$\delta_{II} = \frac{m_n - m_{нетр} - m_{пр}}{m_n - m_{нетр}} \cdot 100, \quad (2.13)$$

де  $\delta_{II}$  – сумарний показник механічних ушкоджень, %;

$m_{нетр}$  – маса нетравмованого насіння, г;

$m_n$  – маса наважки, г.

### 2.3 Методика досліджень залежностей ушкоджень зерна гречки від різних факторів при силовій взаємодії з робочими органами машин

#### 2.3.1 Обладнання і робота лабораторної установки для вивчення процесу травмування зерна

Залежність впливу стану зернового матеріалу при багаторазово повторюваних навантаженнях на кількісні показники механічних ушкоджень вивчали на спеціально виготовленій установці, названою ударною машиною [24] ушкоджувальна здатність, якої була прийнята за одиницю і «еталон» порівняння з іншими машинами.

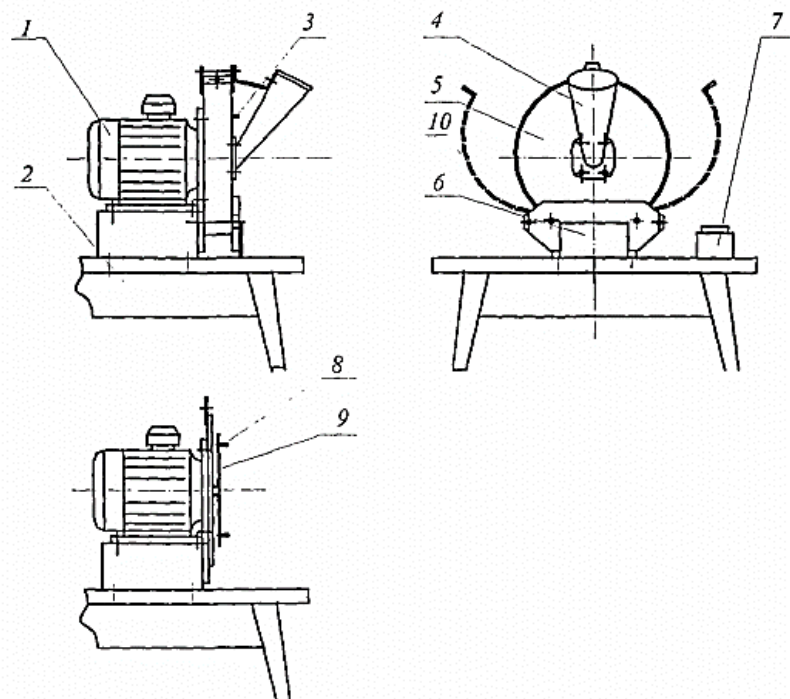


Рисунок 2.2 – Принципова схема ударної машини

Ударна машина працювала в постійному режимі і не мінливої конструкції. Отримані на такій машині закономірності повністю відповідають закономірностям реальних машин при багаторазових пропусках зерна через них.

Ударна машина (рис. 2.2) містить у собі циліндричну камеру 5, що складається з передньої і задньої стінок, і двох боковин 10, із внутрішньої сторони покритих м'яким матеріалом. Камера закріплена на фланці електродвигуна 1 потужністю 0,125 кВт і кутовою швидкістю обертання  $47,3 \text{ c}^{-1}$ , змонтованому на нерухливій підставі 2. До передньої стінки камери прикріплені завантажувальний бункер 4 з регульованим за допомогою заслінки 3 перетином вивантажувального вікна. На вал електродвигуна насаджений рухливий диск 9 зі штифтами 8, що розташовується усередині камери. У нижній частині циліндричної камери перебуває бункер для приймання зерна після обробки 6, також покритий м'яким матеріалом та має можливість висуватися. Включення електродвигуна в роботу проводиться кнопкою «пуск/стоп» 7.

Робота на ударній машині – це сукупність декількох основних операцій. Заздалегідь заготовлені наважки зерна ручного обмолоту масою в 50 г завантажують у бункер, включають електродвигун і відкривають заслінку завантажувального бункера. Зерно через відкрите вікно надходить у прийомний бункер, при цьому потік зерна перетинається під кутом близьким до  $90^\circ$  з напрямком руху штифтів обертового диска. Із прийомного бункера зерно вивантажують і переглядають на механічні пошкодження по прийнятій вище методиці.

### 2.3.2 Підготовка насіння гречки до експерименту

Експерименти по дослідженню впливу стану зернового матеріалу на механічні пошкодження проводили з насінням гречки сорту «Українка» ручного обмолоту.

Аналіз літературних джерел [35, 37] показав, що на кількісний показник механічних ушкоджень найбільший вплив виявляють геометричні властивості зерна, швидкість співударяння і стан зернового матеріалу (вологість, вміст

бур'янистої домішки і кількість вихідного пошкодження). Однак ці дослідження були проведені із зерном пшениці, жита і насіннями бобових культур. Впливу ж аналогічних факторів на механічні пошкодження гречки вимагають уточнень. До того ж у дослідників немає єдиної думки у визначенні зони оптимальної вологості зерна, при якій спостерігається мінімум ушкоджень, а також відсутні дані по впливу кількісного вмісту домішки на показник механічних ушкоджень. Тому ми включили в дослідження вплив на механічні пошкодження гречки наступні фактори: кривизну співударних поверхонь, швидкість співударяння, вологість, масу 1000 зернин, кількісний вміст бур'янистої домішки, кількість пропусків зерна через машину.

У підготовку зернового матеріалу входило: зволоження зерна, сортування його по розмірах, визначення маси 1000 зернин, складання купи з різним вмістом бур'янистої домішки.

Зволоження зерна проводили шляхом додавання необхідної кількості води. Після ретельного перемішування зерно поміщали в скляні банки із кришками, що щільно закриваються (рис. 3.3) і витримували при температурі від 0 до +1 °С у холодильнику протягом трьох діб.

Кількість води, необхідну для зволоження зерна, визначали по формулі

$$G_в = G_з \frac{W_к - W_н}{100 - W_к}, \quad (2.14)$$

де  $G_в$  – кількість води, необхідна для зволоження зерна, кг;

$G_з$  – маса зерна в наважці, кг;

$W_н$  – початкова вологість зерна, %;

$W_к$  – необхідна кінцева вологість зерна, %.

Вологість зерна після закінчення третьої доби визначали стандартним методом по різниці до і після висушування наважки розмеленого зерна в електричній сушильній шафі СЕШ-3М [16]. При вихідній вологості більше 17 % сітчасті бюкси з наважками початковою масою 20 г зерна поміщали в шафу при

температурі 110 °С, потім температура знижувалася до 105 °С, при якій проводилося сушіння залежно від початкової вологості протягом 15 – 25 хв. Після попереднього просушування бюкси із зерном охолоджували за допомогою охолоджувача АУО. Далі зерно розмелювалося на млині ЛЗМ протягом 30 с. Здрібнене зерно переносилося у дві металеві бюкси і маса кожної наважки доводила до 5,00 г, після чого зважені бюкси із зерном поміщали в сушильну шафу з температурою 130 °С і сушили протягом 40 хв. По закінченню бюкси проохолоджувалися й зважувалися на вагах з точністю до другого десяткового знака.



Рисунок 2.3 – Доведення насіння до певної вологості

При вихідній вологості до 17 % процедура проводилася без попереднього просушування. Із зерна, підготовленого для визначення вологості, виділялася наважка масою 20 г і подрібнювалася аналогічно описаному вище. Здрібнене зерно переносилося у дві металеві бюкси і маса кожної наважки доводили до 5,00 г, після чого зважені бюкси із зерном поміщали в сушильну шафу з температурою 130 °С і сушили протягом 40 хв. По закінченню бюкси охолоджувалися і зважувалися на вагах з точністю до другого десяткового знака.

Вологість зерна без попереднього підсушування визначали по формулі

$$W = 20(G_n - G_c), \quad (2.15)$$

де  $G_n$  – маса наважки зерна до висушування, г;

$G_c$  – маса зерна після сушіння, г.

Вологість зерна при визначенні з попереднім просушуванням обчислювалася по формулі

$$W_1 = 100 - G_1 \cdot G_2 \quad (2.16)$$

де  $G_1$  – маса проби цілого зерна після попереднього підсушування, г;

$G_2$  – маса наважки розмеленого зерна після висушування, г.

Зернова купа з різним вмістом бур'янистої домішки складали шляхом додавання в чисте зерно гречаної зернової домішки, насіння щиріці, а також насіння вівсюга. Кількість домішки в наважках змінювали від 0 до 50 %.

Сортування насіння по розмірах проводили на решетах з довгастими отворами шириною 3; 3,2; 3,4; 3,6; 3,8; 4; 4,2 мм. У кожній розмірній фракції визначали масу 1000 насінин. Наважки зважували на вагах ВЛР-200 з точністю до 0,01 г.

### 2.3.3 Методика визначення схожості насіння гречки

Перевірка посівних якостей насіння проводилася для насіння пропущених  $\nu$  раз (5, 15, 25) через ударну машину при вологості  $W$  від 8,20 до 34,17 %. Для посіву з наважок у відсотковому відношенні були обрані зерна: нетравмовані, із тріснутою оболонкою, обрушені, дроблені (уламки об'ємом більше 2/3 від об'єму цілого зерна).

Перевірка насіння на лабораторно-польову схожість проводилася за методикою [19]. Посів проводився в залізних банках на глибину 4 – 5 см при нормі висіву 450 зернин на квадратний метр (120 кг/га). Насіння перед посівом протягом 20 хв витримувалися в 50 %-му розчині сірчаної кислоти. Для забезпечення рівномірності площі живлення рослин (точності розташування зерна в поздовжньому, поперечному напрямках) використовували шаблон.

На 7-й день після посіву проводили реєстрацію сходів, визначали схожість.

## 2.4 Методика визначення механічних ушкоджень зерна при післязбиральній обробці

Розроблені в [36] методики, призначені для визначення ушкоджень зерна при обмолоті комбайнами. Методика визначення травмованого насіння при післязбиральній обробці, розроблена в [16] найбільш близька до наших досліджень, вона містить у собі:

- узяття середнього зразка;
- виділення наважок;
- розбір наважок;
- визначення ушкоджувальної здатності машин.

Враховуючи, що через машини потокової зерноочисної лінії проходить зерновий матеріал, що постійно змінюється як за складом, так і станом, відбір вибірок проводили через рівні проміжки часу (10 секунд). Загальна маса вибірок становила 0,5 – 0,6 кг на кожен тону зерна, що проходить через машину, що відповідає ГОСТ 12036-85.

Проби зерна брали в наступному порядку: спочатку на вході зернового матеріалу в машину потім через певний час  $t$  на виході з машини. Час  $t$  – це тривалість перебування зернового матеріалу в досліджуваній машині (визначали за допомогою порції пофарбованого зерна і секундоміра).

За ГОСТ 70.10.2-83 механічні пошкодження машиною визначають по різниці вмісту механічних ушкоджень в очищеному і вихідному зерновому матеріалі в порядку технологічного процесу, тобто по цьому стандарту проби зерна на виході зерноочисних машин відбирають тільки з потоку очищеного насіння, без обліку ушкоджень зерна, виділеного у відходи. Така методика визначення пошкодження зерна машинами поточкових зерноочисних ліній, на наш погляд, придатна тільки для обладнань, що транспортують зерно (ковшових елеваторів, шнеків, стрічкових і скребкових транспортерів, зернопроводів тощо). Вона не придатна для зерноочисних машин, тому що при очищенні насіння на цих машинах більша частина механічних ушкоджень виділяється у відходи (особливо

на першій машині в технологічній лінії). В остаточному підсумку вміст механічних ушкоджень в очищеному матеріалі може стати менше, ніж у вихідному [15]. Тому для визначення ушкоджень зерна зерноочисними машинами відбирали проби зерна одночасно із усіх виходів зернового матеріалу за певний час  $t$

З відібраних проб зерна становили середні зразки з очищеного зерна і зерна що пройшло відходи, і кожний зразок зважували. Із середніх зразків зерна, узятих на вході і виході машини (для зерноочисних машин на вході основного потоку зерна і виході потоку відходів), виділяли по дві наважки масою в 50 г кожна. Кожну наважку аналізували на засміченість за ГОСТ 10247-85, ГОСТ 12037-81, вологість за ДСТУ 50189-92 і пошкодження за вищевикладеною методикою.

Механічні пошкодження зерна зерноочисними і транспортуючими машинами визначалися по виразах

$$\delta_{трисч_i} = \delta_{трисч_i}^{вих} - \delta_{трисч_i}^{вх}, \quad (2.17)$$

$$\delta_{обр_i} = \delta_{обр_i}^{вих} - \delta_{обр_i}^{вх}, \quad (2.18)$$

$$\delta_{ор_i} = \delta_{ор_i}^{вих} - \delta_{ор_i}^{вх}, \quad (2.19)$$

$$\delta_{П_i} = \delta_{П_i}^{вих} - \delta_{П_i}^{вх}, \quad (2.20)$$

де  $\delta_{трисч_i}, \delta_{обр_i}, \delta_{ор_i}$  – пошкодження зерна  $i$ -ю машиною за видами травм, %;

$\delta_{трисч_i}^{вих}, \delta_{обр_i}^{вих}, \delta_{ор_i}^{вих}$  – пошкодження зерна на виході з  $i$ -ї машини за видами травм, %;

$\delta_{трисч_i}^{вх}, \delta_{обр_i}^{вх}, \delta_{ор_i}^{вх}$  – пошкодження зерна на вході в  $i$ -у машину за видами травм, %.

$$\delta_{трисч_i}^{вих} = \frac{\delta_{трисч_i}^{осч.n} \cdot G + \sum \delta_{трисч_i}^j \cdot g_j}{G + \sum \delta_{трисч_i}^j}, \quad (2.21)$$



$$\delta_{\partial p_i}^{вих} = \frac{\delta_{\partial p_i}^{осн.п} \cdot G + \sum \delta_{\partial p_i}^j \cdot g_j}{G + \sum g_j}, \quad (2.22)$$

$$\delta_{\Pi_i}^{вих} = \frac{\delta_{\Pi_i}^{осн.п} \cdot G + \sum \delta_{\Pi_i}^j \cdot g_j}{G + \sum g_j}, \quad (2.23)$$

де  $G$  – продуктивність основного потоку зерна, т/год;

$\sum g_j$  – сумарна продуктивність виходів відходів, т/год;

$\delta_{трисн_i}^j, \delta_{обр_i}^j, \delta_{\partial p_i}^j, \delta_{\Pi_i}^j$  – вміст механічних ушкоджень відповідно по видах травм і

сумарний  $j$ -му потоці відходів, %;

$\delta_{трисн_i}^{осн.п}, \delta_{обр_i}^{осн.п}, \delta_{\partial p_i}^{осн.п}, \delta_{\Pi_i}^{осн.п}$  – вміст механічних ушкоджень відповідно по видах

травм і сумарний в основному потоці зерна, %.

### Висновки до розділу

В даному розділі дипломної роботи запропоновано методику проведення експериментальних досліджень, а саме визначення характеристик міцності зерна гречки: модуля пружності, припустимих середніх контактних напружень, середніх дотичних напружень; аналіз методів визначення механічних ушкоджень зерна і вибір раціонального; визначення єдиного показника механічних ушкоджень зерна гречки; дослідження механічних ушкоджень зерна залежно від його фізико-механічних властивостей і стану зернового матеріалу; визначення механічних ушкоджень зерна машинами при післязбиральній обробці.

### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Фізико-механічні властивості зерна і їх залежність від вологості

##### 3.1.1 Перевірка адекватності прийнятої моделі зернівки гречки реальної

Зернові партії гречки у своєму складі містять три види зернин за формою: по-перше, це зерна із впалими гранями, по-друге, зерна із прямими гранями і, по-третє, зерна з опуклими гранями. Кількісні співвідношення між окремими видами зерна залежить від строку їх дозрівання, який у гречки, як відомо має тривалий період 25 – 30 днів. Збирання такої культури проводиться роздільним способом і починається при побурінні 65 – 75 % плодів.

Таблиця 3.1 – Форма і параметри зерна гречки

| Сорт          | Маса 1000 зернин, г | Вміст зернин різної форми, % |                    |                    | Габаритні розміри, мм |             |              | Розрахункові параметри циліндричного триєдра, мм |      |
|---------------|---------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-------------|--------------|--|------|
|               |                     | із впалими гранями           | із прямими гранями | з опуклими гранями | довжина, $l$          | ширина, $b$ | товщина, $h$ | радіус кривизни грані $R_l$                      | $a$  |
| Українська    | 27,64               | 3,26                         | 87,50              | 9,24               | 6,34                  | 4,2         | 3,55         | 4,84   | 3,65 |
| Шатилівська 5 | 28,16               | 6,28                         | 85,31              | 8,41               | 6,64                  | 4,58        | 3,71         | 5,08   | 3,84 |
| Ідель         | 31,16               | 8,14                         | 86,22              | 5,64               | 7,30                  | 5,02        | 3,95         | 5,72   | 4,40 |

Нами були проведені візуальний контроль форми і вимір габаритних розмірів зерна, зібраного з дотриманням відповідної технології. Причому середні зразки були взяті із трьох партій різного сорту і по 500 штук з кожного середнього зразка. Результати зведені в табл. 3.1.

На підставі цієї таблиці можна сказати, що основну частку в зернових партіях гречки становлять зерна, що мають прямі грані. Вираз фактично складе:

- для зерна сорту «Українська»  $\frac{b}{h} = \frac{4,2}{3,55} = 1,1831$ , відхилення від розрахункового 2,46 %;

- для зерна сорту «Шатилівська»  $\frac{b}{h} = \frac{4,48}{3,71} = 1,2075$ , відхилення від розрахункового 4,57 %;

- для зерна сорту «Ідель»  $\frac{b}{h} = \frac{5,02}{3,95} = 1,2709$ , відхилення від розрахункового 9,53 %;

Подібні розрахунки вказують, що запропонована модель зернівки у вигляді циліндричного триєдра, цілком придатна для опису різних процесів при механізованій обробці зерна.

На підставі проведених розрахунків геометричних параметрів обчислені об'єми прийнятих форм зернівок у вигляді циліндричних триєдрів (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Об'єм зернівки гречки

| Сорт          | Об'єм зернівки, мм <sup>3</sup> |          | Відхилення, % |
|---------------|---------------------------------|----------|---------------|
|               | розрахунковий                   | вимірний |               |
| Українська    | 25,56                           | 27,81    | 10,09         |
| Шатилівська 5 | 29,23                           | 24,95    | 14,64         |
| Ідель         | 36,35                           | 31,71    | 12,52         |

Вимір об'єму зернівки проводився в п'ятикратній повторності шляхом занурення п'ятиста зернин у мірну посудину з водою. Згідно табл. 3.2 відхилення фактичного об'єму зернівки від розрахункового залежно від сорту становить приблизно 10 – 15 %.

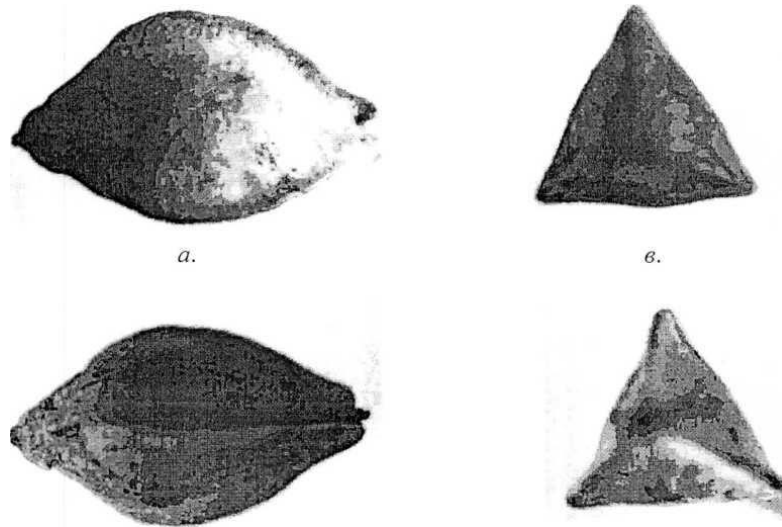


Рисунок 3.1 – Зерно гречки:

а – фронтальний вигляд; б – вигляд зверху; в – вигляд збоку; г – аксонометрична проекція.

На рисунку 3.1 зображена зернівка гречки сорту «Українська» у трьох проекціях і аксонометрії.

3.1.2 Показники механічної міцності гречки і їх залежність від вологості зерна

Виходячи з вище викладеного показниками міцності зерна є коефіцієнт поперечної деформації або коефіцієнт Пуассона, модуль пружності першого роду або модуль Юнга  $E_1$ , межі міцності зерна на стиск  $\sigma_{sc}$  і на зрушення  $\tau_s$ .

Значення  $\mu_1$  коливається в межах від 0,1 до 0,5 і можна погодитися з [10], прийнявши його рівним середньому  $\mu_1 = 0,3$ . Значення ж інших показників вимагають визначення.

Використовуючи запропоновану методику і спеціальну установку експериментально по формулі (2.1) був визначений модуль пружності  $E_1$ , зерна гречки залежно від вологості зерна (рис. 3.2).

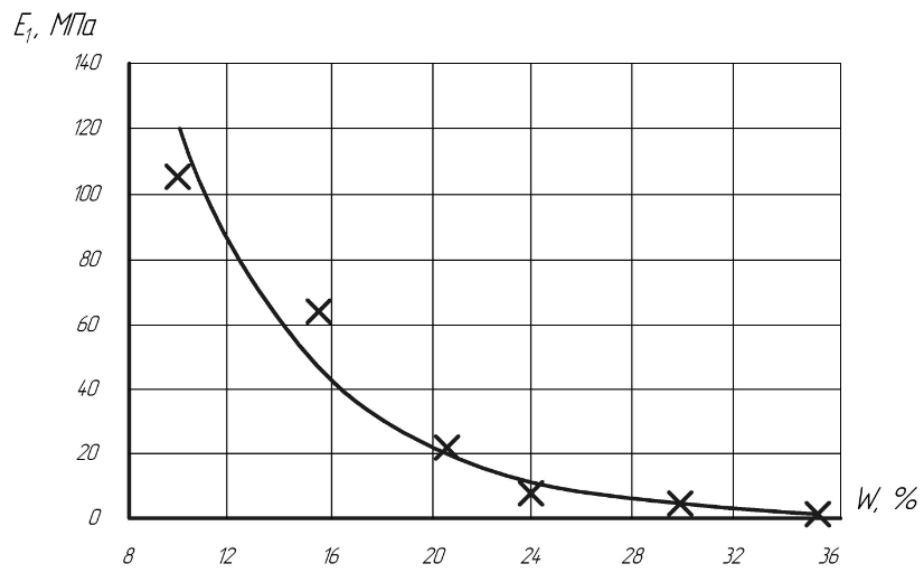


Рисунок 3.2 – Залежність модуля пружності  $E_1$ , від вологості зерна  $W$

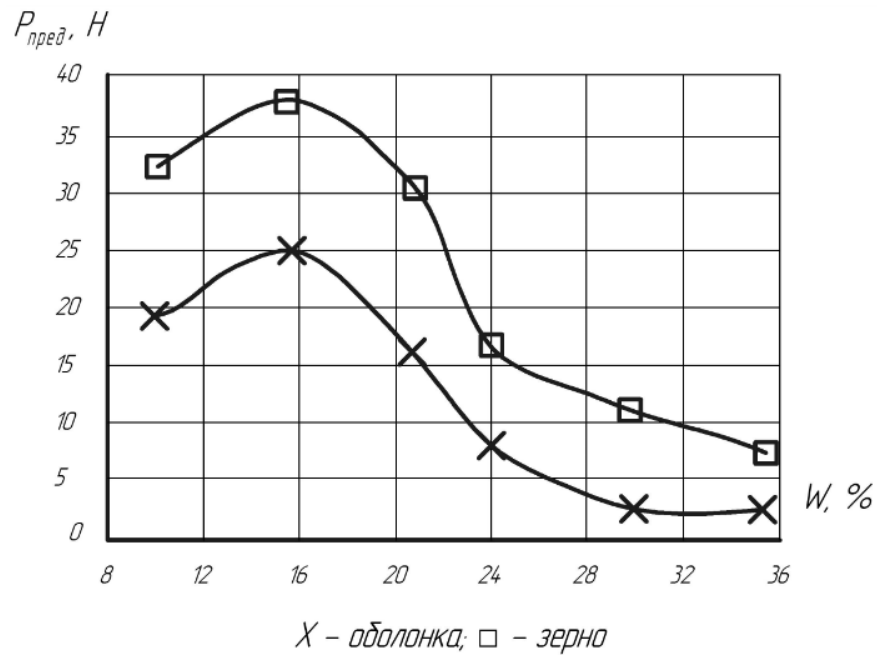


Рисунок 3.3 – Залежність граничної стискаючої сили  $P_{гран}$  від вологості зерна  $W$ .

Застосовуючи метод найменших квадратів, отримана експериментальна крива апроксимується експонентною залежністю ( $\eta^2 = 0,969$ ) при  $10 < W < 35\%$

$$E_1 = 671,45e^{-0,1722W} \quad (3.1)$$

Визначити межі міцності зерна гречки на стиск  $\sigma_{ec}$  і на зрушення  $\tau_e$  виявилось неможливо. Причиною тому є те, що зерно при стиску двома твердими штампами (між мікрометричним гвинтом і наконечником індикатору), як і передбачалося, по ребру руйнується раніше, ніж по грані.

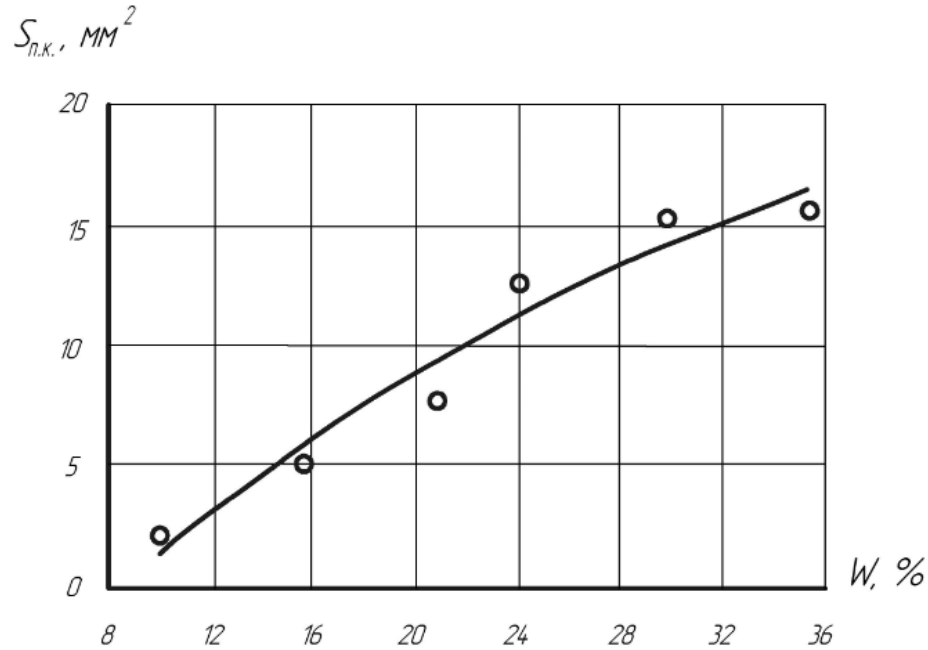


Рисунок 3.4 – Залежність граничної площі  $S_{п.к.}$  контакту зерна з робочим органом по ребру від вологості гречки  $W$ .

У той же час в експерименті вдалося визначити значення стискаючої сили, при якій спочатку втрачає стійкість оболонка, а потім відбувається руйнування самого зерна. Крім того були визначені розміри еліпса контакту  $2c$  і  $2t$ . Значення цих параметрів також перебувають у тісній залежності від вологості зерна (рис. 3.3 – 3.4)

Якщо скористатися формулами (2.3), (2.4), (2.5), то можна визначити значення припустимої середньої напруги на площині контакту по ребру і припустимого середнього відносно напружень, також залежно від вологості (рис. 3.5).

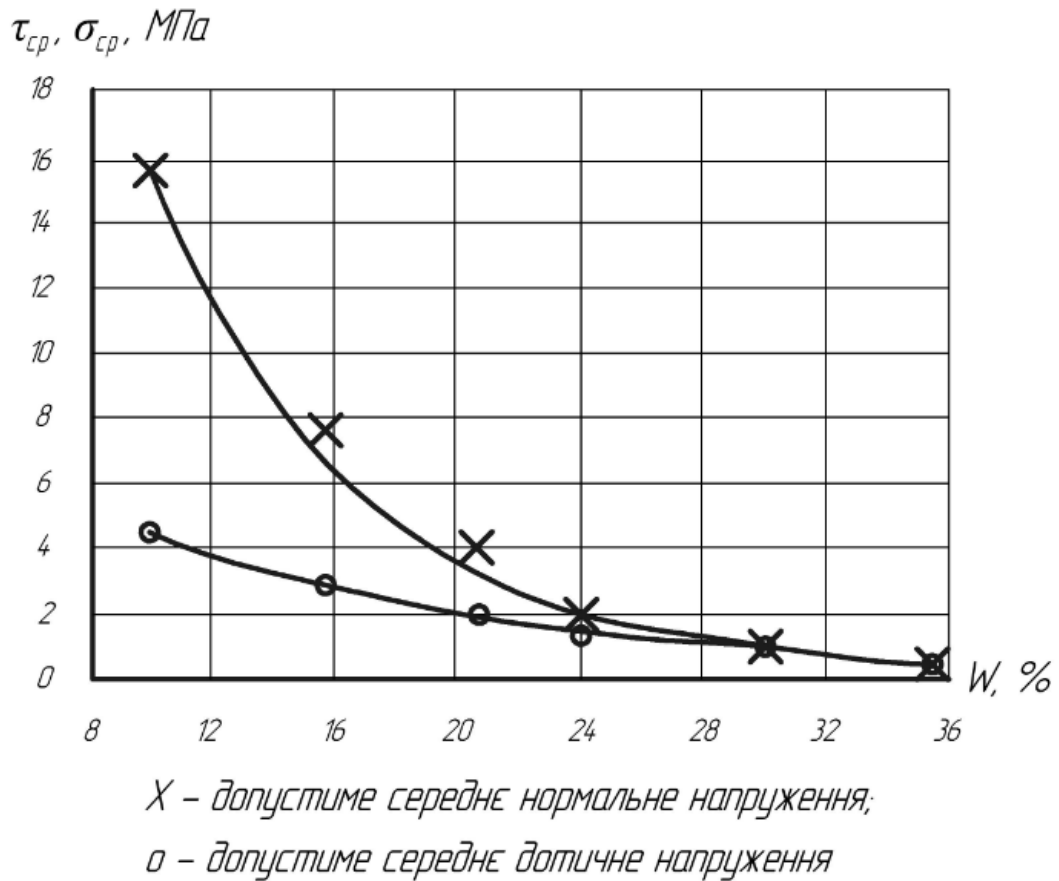


Рисунок 3.5 – Залежність припустимих середніх напружень на стиск  $\sigma_{ср}$  на зрушення  $\tau_{ср}$  від вологості зерна  $W$

Експериментальні дані показують, що міцність оболонки зерна нижче міцності зерна в цілому. Різниця в міцності оболонки і зерна при середній вологості зерна від 14 до 18 % становить приблизно 40 %.

Факт, що при одиничному силовому навантаженні оболонка руйнується раніше зерна, служить додатковим свідченням на користь прийнятої імовірнісної моделі: зерно спочатку тріскається, потім обрушується і, нарешті, дробиться.

Необхідно також відзначити, що знання модуля пружності  $E_1 = f(W)$  дозволить конструкторам сільськогосподарських машин користуватися формулами, наведеними в другому розділі. По цих формулах можна розрахувати максимальні напруги виникаючі в зернівках гречки при ударі об різні поверхні, тому що удар найбільш імовірний по грані зернівки.

Крім того слід додати, що так як зерна гречки по своїх розмірах відрізняються незначно, то для перевірки статичної і динамічної міцності в першому наближенні замість меж міцності на стискання  $\sigma_{cp}$  і  $\tau_{cp}$  на зрушення можна використовувати значення граничних стискаючої  $P_{гран.ст.}$  і зсуваючої сил  $P_{гран.зсув.}$

В експерименті змінювався діаметр штифтів при сталості інших параметрів. Однак, збільшення діаметра приводить не тільки зменшенню кривизни робочого органу, але й до збільшення чисельника вираження (3.11). Щоб виключити цей вплив, отримані показники травмування необхідно розділити на діаметр штифта

$$\delta'_{трісн} = \frac{\delta_{трісн}}{d_{шт}}; \delta'_{обр} = \frac{\delta_{обр}}{d_{шт}}; \delta'_{ор} = \frac{\delta_{ор}}{d_{шт}}; \delta'_{П} = \frac{\delta_{П}}{d_{шт}}. \quad (3.2)$$

Сумарну кривизну зерна і робочого органу визначається по формулі

$$\sum K = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \quad (3.3)$$

де  $R_2$  – радіус кривизни штифта, м.;

$R_1$  – радіус кривизни зерна, у нашому випадку  $R_1 = 0,00484$  м.

Результати дослідження представлені на рисунку 3.6. По цих результатах видно, що при ударних навантаженнях зі збільшенням сумарної кривизни з 0,4 до 0,9  $\text{мм}^{-1}$  зерна і робочого органу в місцях контакту відбувається зростання як обрушених, дроблених, тріснутих зернин, так і збільшення сумарного показника механічних ушкоджень.



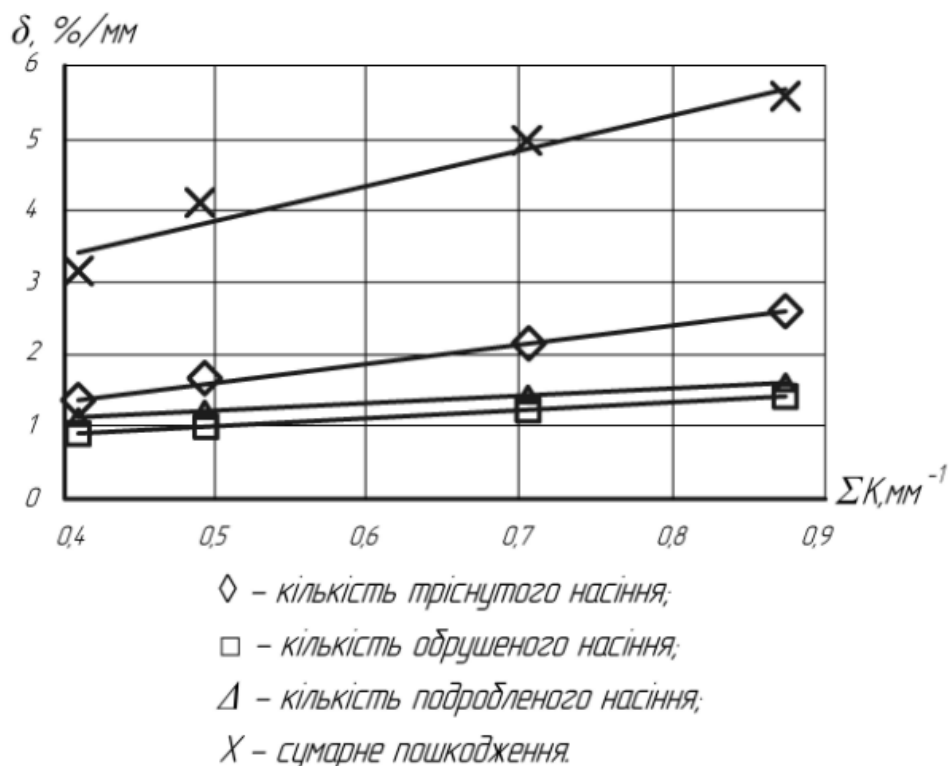


Рисунок 3.6 – Пошкодження гречки залежно від головної кривизни зерна і робочого органу при вологості  $W = 12,1 \pm 0,1\%$ , числі пропусків  $\nu = 3$ , швидкість співударяння  $\nu = 15,23$  м/с

### 3.1.3 Механічні пошкодження зерна залежно від швидкості співударяння з поверхнею робочого органу при різній вологості

Для проведення дослідів по встановленню залежності механічних ушкоджень зерна від швидкості співударяння з робочою поверхнею штифтів на диску ударної машини змінювалися їхні радіуси обертання. Швидкість співударяння варіювала в межах від 7,35 до 17,25 м/с. Вологість зерна змінювалася від 7,6 до 26,88 %. Для забезпечення сталості ймовірності влучення зерна під удари штифтів, змінювали положення вивантажувального вікна завантажувального бункера (значення параметра  $h_{\text{ш}}$ ).

Результати досліджень наведені на рис. 3.7, 3.8, 3.9, по яких можна зробити висновок, що, чим вище швидкість співударяння зерна з робочою поверхнею, тем вище показники всіх видів ушкоджень: дроблення, обрушення і розтріскування оболонки. Зі збільшенням вологості зерна, під час його контакту з робочою

поверхнею, ці показники знижуються, тому що знижується модуль пружності зерна. При вологості 7,62 % зміна швидкості співударяння з 7 до 9 м/с приведе до наростання сумарних ушкоджень менш, чим на 1 %, зі збільшенням швидкості з 9 до 13 м/с інтенсивне наростання ушкоджень (до 55 %) іде за рахунок збільшення кількості зернин із тріснутою оболонкою і обрушених, а понад 13 м/с це ж відбувається за рахунок збільшення кількості дроблених зернин. Зі збільшенням вологості має місце зниження всіх видів ушкоджень.

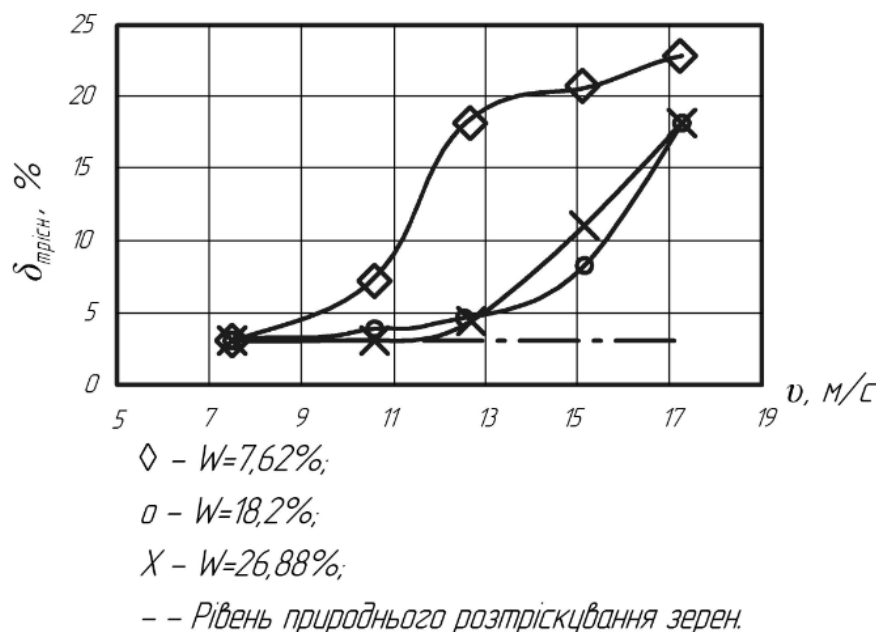


Рисунок 3.7 – Кількість насіння із тріснутою оболонкою залежно від швидкості співударяння  $v$  при різній вологості  $W$ .

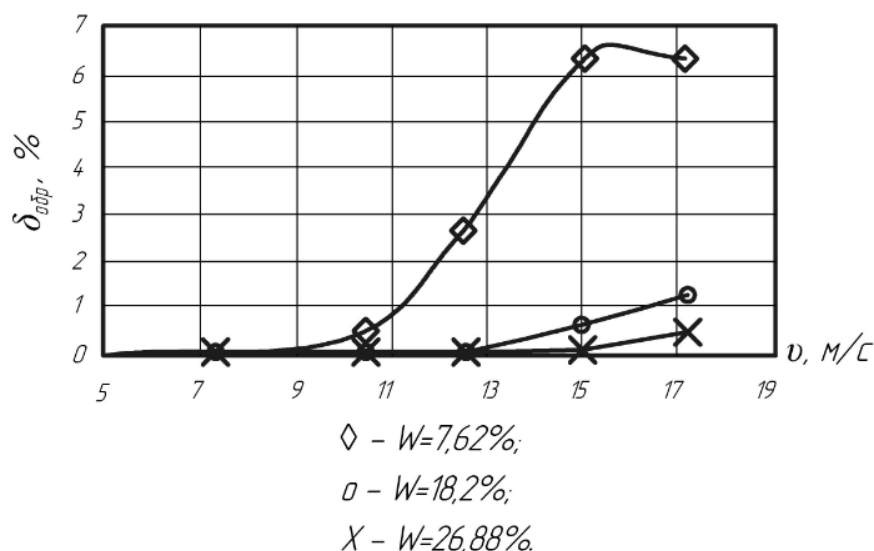


Рисунок 4.8 – Кількість обрушеного насіння залежно від швидкості співударяння  $v$  при різній вологості  $W$ .

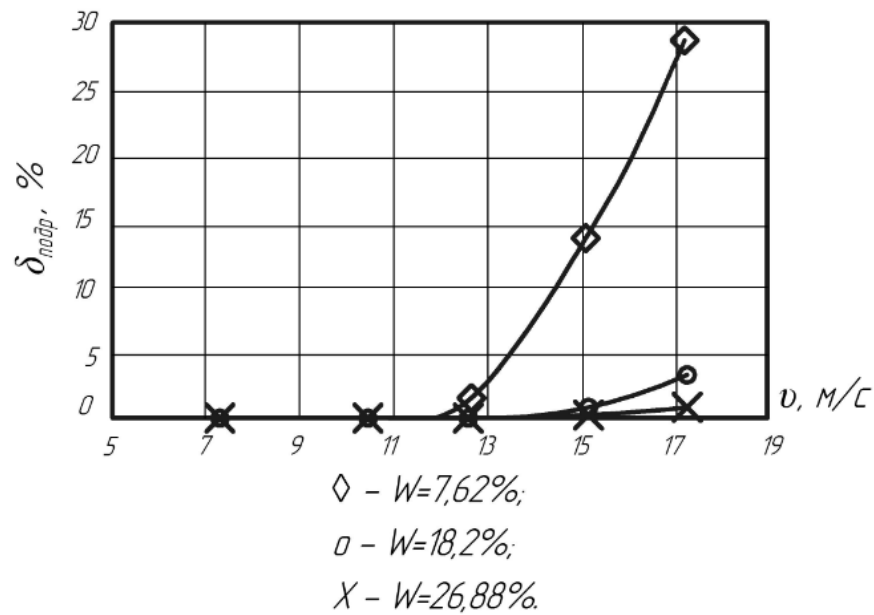


Рисунок 3.9 – Кількість дробленого насіння в залежності від швидкості співударення  $v$  при різній вологості  $W$ .

### 3.1.4 Вплив маси 1000 зернин на механічні пошкодження насіння

Дослідження залежності маси 1000 зернин на показник механічних ушкоджень зерна проводили на ударній машині із зерном гречки сорту «Чишминська» вологістю 9,01%. Для проведення дослідів зерновий матеріал вручну очищали від бур'янистої домішки, сортували по розмірах за допомогою решіт із прямокутними отворами 3,2, 3,4, 3,7, 4,0 і 4,2мм. По кожній розмірній групі відбирали наважки в 50 г і відповідно до ГОСТ 10842-76, визначали масу 1000 зернин по формулі

$$m_{1000} = m_{\phi} \frac{100 - W}{100}, \quad (3.4)$$

де  $m_{\phi}$  – фактична маса 1000 зернин;

$W$  – вологість зерна.

Ту саму наважку пропускали через ударну машину по п'ять разів, потім проводили аналіз механічних ушкоджень відповідно прийнятій вище методиці. Досліди проводили в п'ятикратній повторності

Залежність пошкодження зерна від маси 1000 зернин (рис. 3.10) представляється рівнянням лінійної регресії

$$\delta_{II} = 1,1634m_{1000} + 2,5033, \quad (3.5)$$

де  $m_{1000}$  – маса 1000 зернин, г.

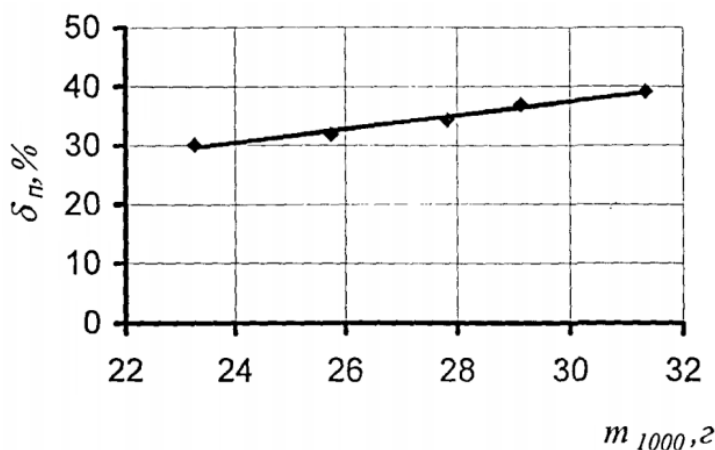


Рисунок 3.10 – Вплив маси 1000 зернин на показник механічних ушкоджень

З рівняння (3.5) випливає, що сумарна кількість механічних ушкоджень зростає пропорційно збільшенню маси 1000 зернин. Квадрат коефіцієнта кореляції  $r^2 = 0,9755$ .

3.2 Механічні пошкодження зерна залежно від стану зернового матеріалу і їх вплив на схожість насіння гречки

Закономірності зміни механічних ушкоджень зерна від його вологості і числа пропусків через ударну машину. При вивченні закономірностей зміни механічних ушкоджень зерна від його вологості при динамічних навантаженнях використовували розглянуту вище ударну машину. У процесі проведення експериментів конструкцію і режим роботи її не змінювали, а ушкоджувальна здатність, цієї машини була прийнята за одиницю і "еталон" порівняння з іншими машинами. Тріснуте насіння, як і в попередніх випадках з дослідних наважок не

виділялися, і кількісний показник механічних ушкоджень був підрахований з урахуванням рівня їх природнього розтріскування.

У результаті проведених експериментальних досліджень були отримані значення сумарного показника  $\delta_{\Pi}(\nu, W)$  механічних ушкоджень і показників  $\delta_i(\nu, W)$  по окремих видах травм при різній вологості  $W$ , % і деяких значеннях числа пропусків зерна через машину  $\nu$ . Згідно рис. 3.11 – 3.16 можна укласти, що при динамічних навантаженнях пошкодження зерна в значній мірі залежить від вищевказаних факторів.

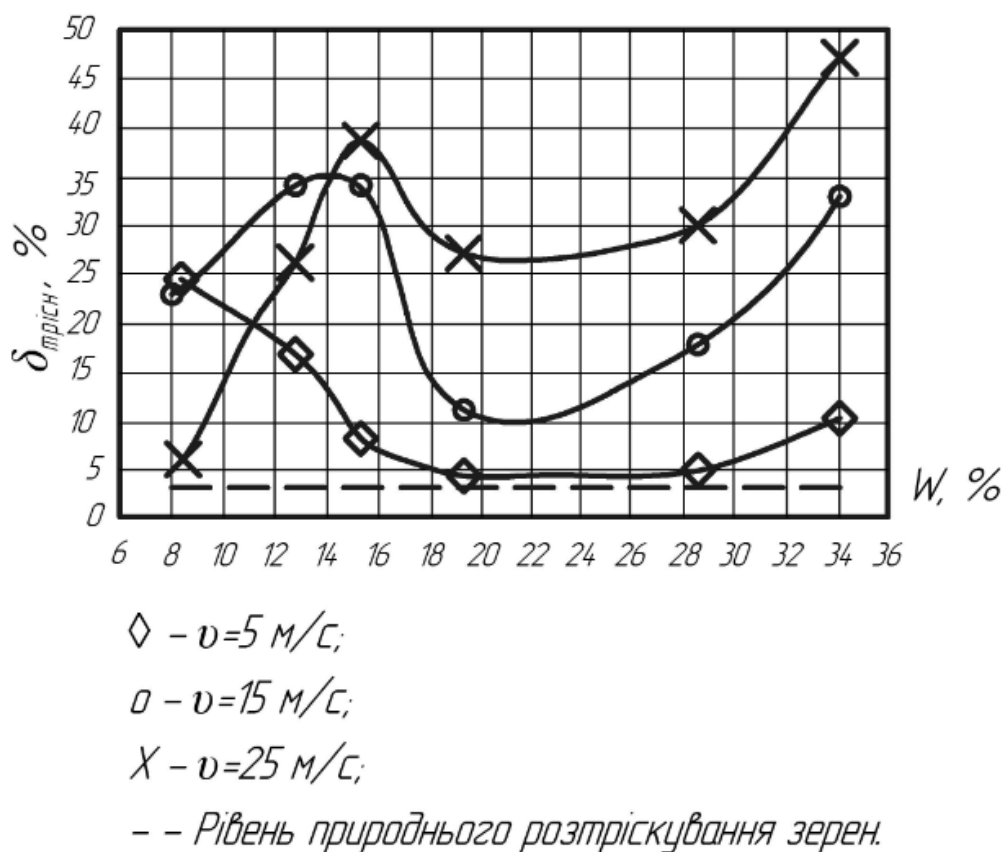


Рисунок 3.11 – Кількість насіння із тріснутою оболонкою залежно від вологості  $W$  при різному числі пропусків в  $\nu$

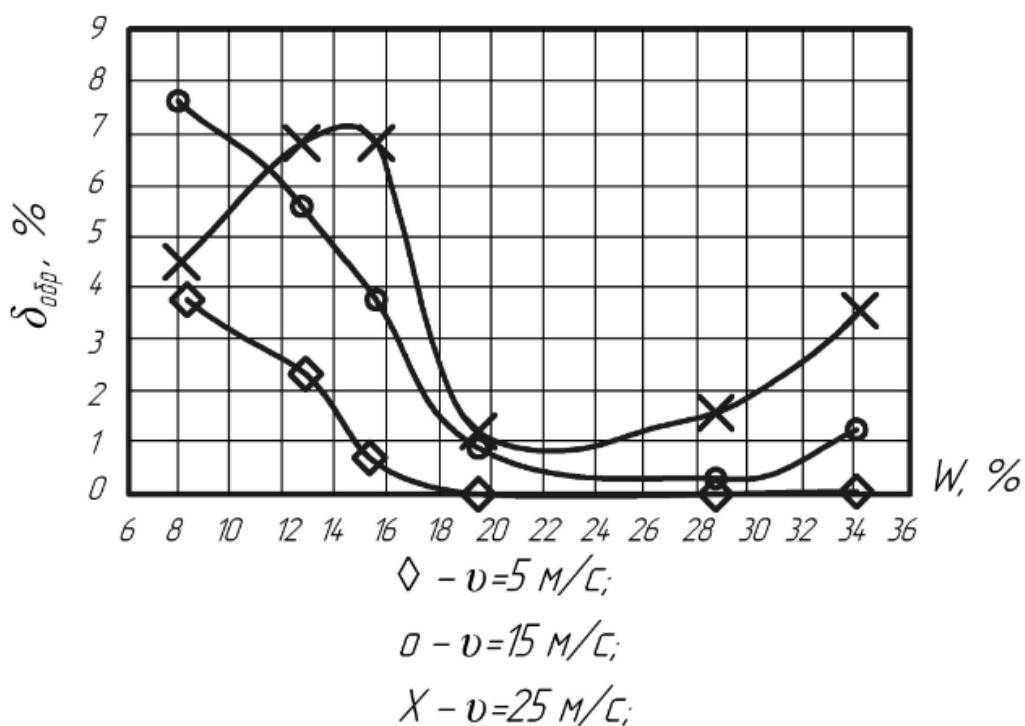


Рисунок 3.12 – Кількість обрушеного насіння в залежності від вологості  $W$  при різному числі пропусків  $v$

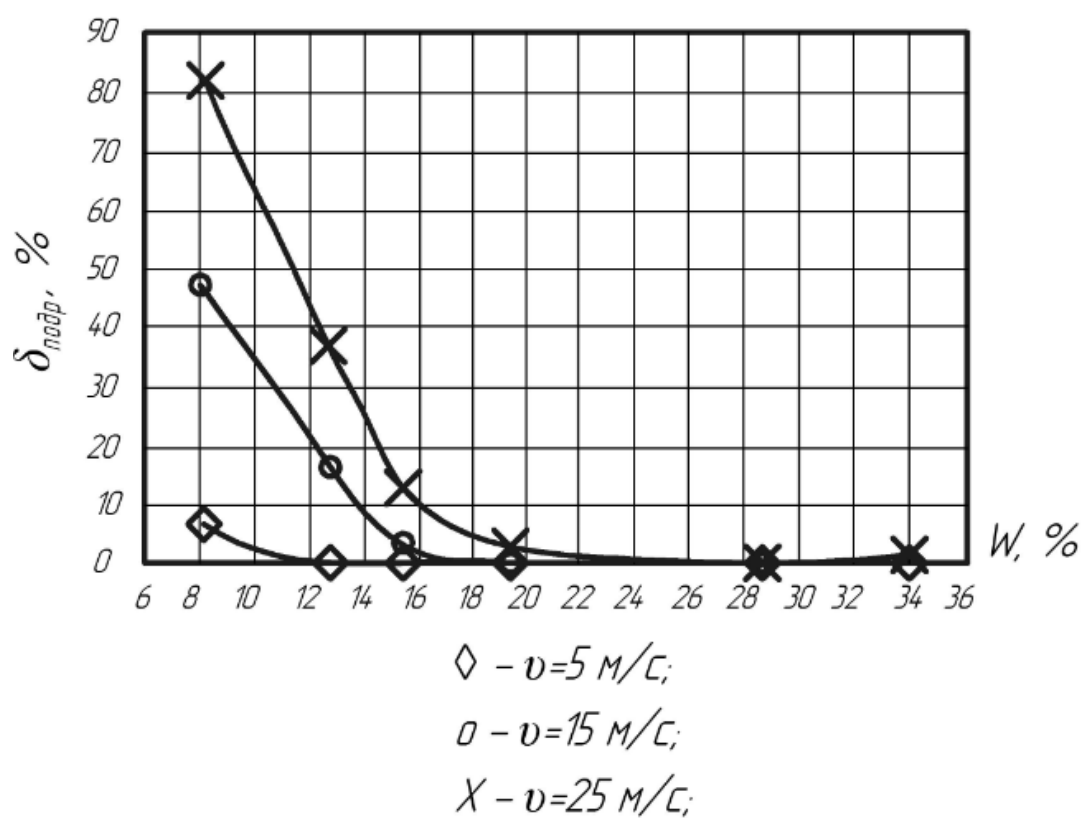


Рисунок 3.13 – Кількість дробленого насіння в залежності від вологості  $W$  при різному числі пропусків  $v$

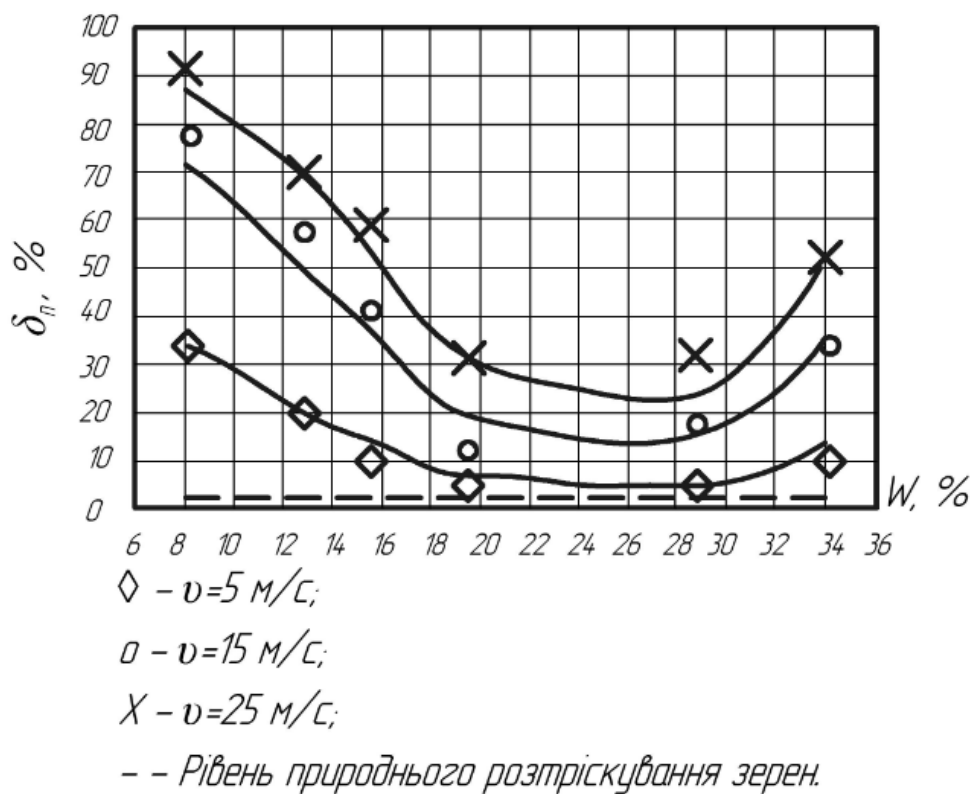


Рисунок 3.14 – Сумарний показник механічних ушкоджень в залежності від вологості  $W$  при різному числі пропусків  $v$

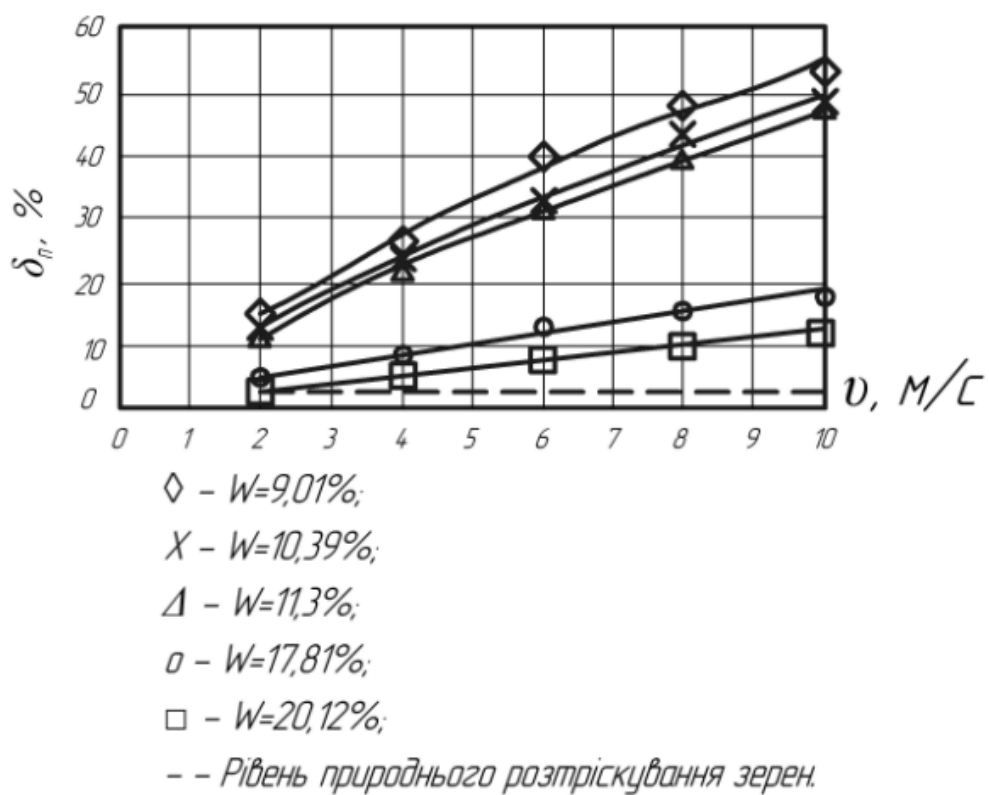


Рисунок 3.15 – Сумарний показник механічних ушкоджень в залежності від числа пропусків  $v$  при різній вологості  $W$

При вологості від 20 до 28 % спостерігається зона-оптимум, при якій має місце найменше пошкодження зерна. Зі зменшенням і збільшенням вологості від цієї оптимальної зони кількість механічних ушкоджень зростає.

По залежностях  $\delta_{трісн}(v, W)$ ,  $\delta_{обр}(v, W)$ ,  $\delta_{п}(v, W)$  можна відзначити наступне:

а) при вологості менше ніж 20 %, збільшення  $\delta_{п}(v, W)$  спочатку йде за рахунок наростання в зерновому матеріалі кількості тріснутого насіння  $\delta_{трісн}(v, W)$ , при досягненні ж вологості 15 % збільшення  $\delta_{п}(v, W)$  відбувається в основному за рахунок інтенсивного зростання кількості дроблених зернин  $\delta_{обр}(v, W)$

б) по графіках (рис. 3.11 – 3.14) видно, що обрушення є проміжною фазою між розтріскуванням і дробленням зерна;

в) у зоні вологості понад 28 % збільшення  $\delta_{п}(v, W)$  іде в основному за рахунок збільшення кількості мікротравм  $\delta_{трісн}(v, W)$ .

Таким чином, відповідно наведеним вище теоретичним міркуванням, руйнування насіння гречки – це процес послідовного переходу від одного виду травм до іншого: спочатку утворення тріщин в оболонці, потім обрушення зерна і, нарешті, його дроблення.

### 3.3 Залежності пошкодження зерна від вмісту бур'янистої домішки в зерновому матеріалі

При дослідженні залежності показника механічних ушкоджень зерна від кількісного вмісту бур'янистої домішки до складу зернового матеріалу гречки були включені: зернова домішка (незрілі насіння гречки, залишки не зернової частини самої рослини), насіння щиріці, насіння вівсюга. Експерименти проводили на гречці сорту «Чишминська» з вологістю 12,8 % у п'ятикратній повторності. Наважки пропускали через ударну машину 2, 4, 6, 8 і 10 раз.



Імовірність влучення зерна під удари штифтів 0,75. Розбір наважок здійснювався згідно з методикою, описаною вище.

З результатів проведених досліджень (рис. 3.16) видно, що зі збільшенням вмісту бур'янистої домішки в зерновому матеріалі кількісний показник механічних ушкоджень  $\delta_{II}$  знижується при різних значеннях  $v$  числа пропусків. Причому зі збільшенням у партії гречки вмісту домішки до 50 % загальні пошкодження знижуються в середньому на 20 %.

Результати досліджень визначення сумарного показника механічних ушкоджень  $\delta_{II}(v, W)$  при пропуску зерна гречки вологістю  $W = 12,8\%$  через ударну машину приведені в таблиці 3.3.

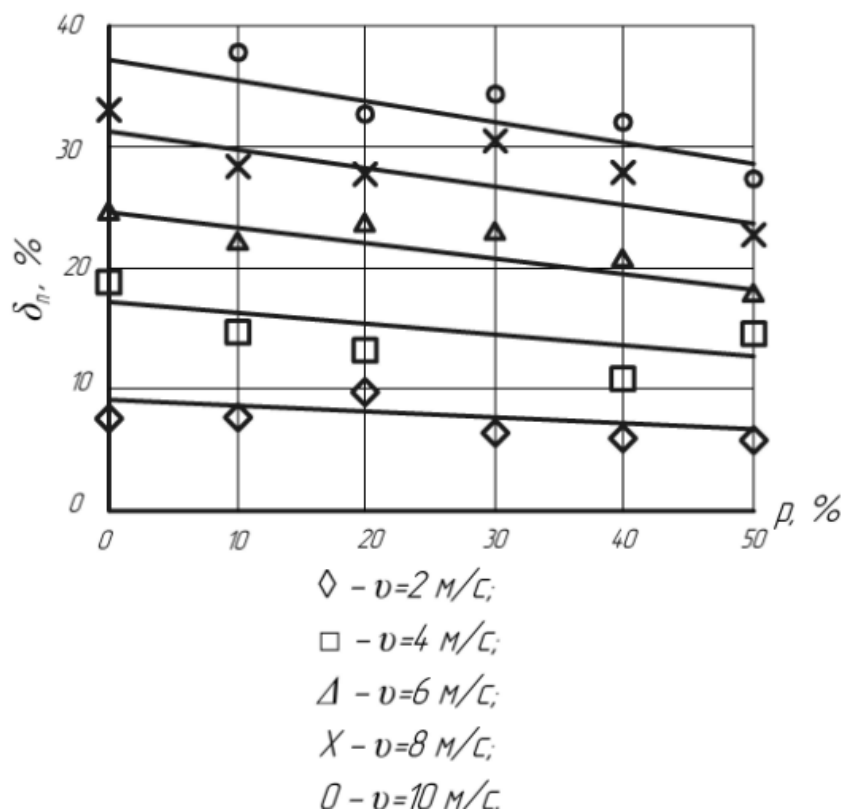


Рисунок 3.16 – Сумарний показник механічних ушкоджень в залежності від складу смітної домішки  $p$  при різному числі пропусків

Таблиця 3.3 – Середні значення сумарного показника механічних ушкоджень  $\delta_{II}(\nu, W)$  при пропуску зерна гречки вологістю  $W = 12,8\%$  через ударну машину.

| Домішка $p$ ,<br>% | Число пропусків $\nu$ |       |       |       |       |
|--------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
|                    | 2                     | 4     | 6     | 8     | 10    |
| 0,00               | 7,45                  | 18,63 | 24,90 | 33,23 | 40,52 |
| 10,00              | 7,67                  | 14,89 | 22,35 | 28,51 | 37,95 |
| 20,00              | 9,47                  | 13,28 | 23,67 | 27,77 | 32,85 |
| 30,00              | 6,29                  | 16,91 | 23,01 | 30,50 | 34,45 |
| 40,00              | 5,85                  | 10,42 | 20,96 | 27,95 | 32,25 |
| 50,00              | 5,72                  | 14,51 | 17,92 | 22,67 | 27,16 |

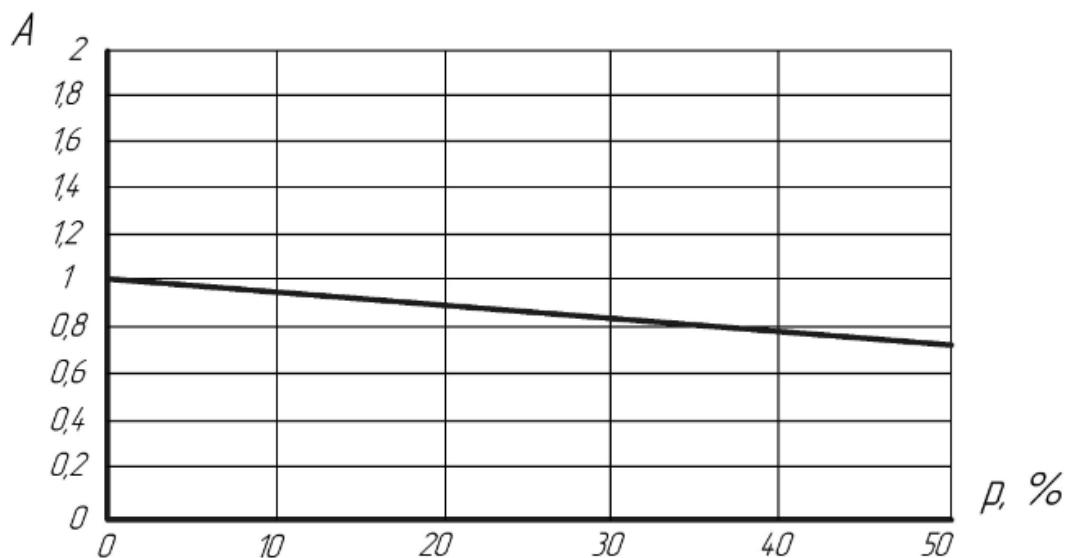


Рисунок 3.17 – Залежність коефіцієнту  $A$  від вмісту бур'янистої домішки при однократному пропуску

Причиною зниження механічних ушкоджень зі збільшенням вмісту бур'янистої домішки, є те, що домішка є зм'якшуючим прошарком у контакті між зерном і робочим органом.

### 3.4 Вплив механічних ушкоджень на схожість насіння гречки

Вивчення впливу механічних ушкоджень гречки на схожість проводили за методикою, описаною в другому розділі її з насіннями сорту «Українська». Відбір проб для аналізу проводився під час досліду зі змінною вологістю при різному числі пропусків.

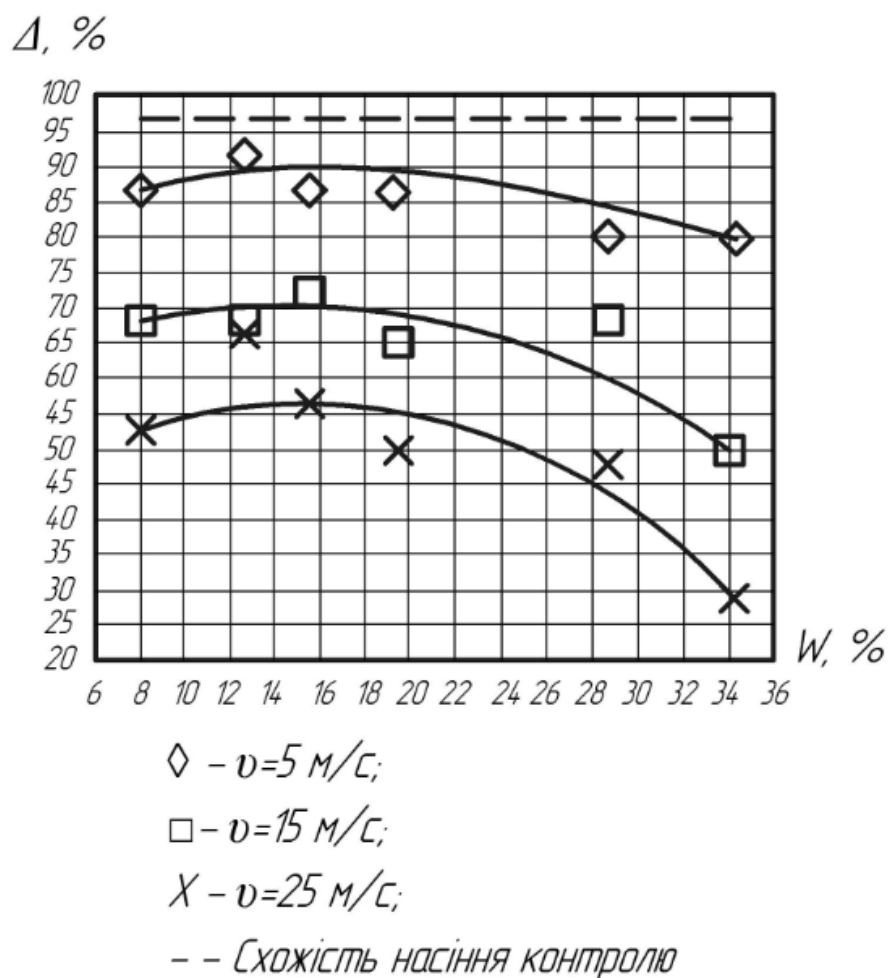


Рисунок 3.18 – Залежність лабораторно-польової схожості насіння від вологості при різному числі пропусків

За експериментальними даними, наведеними, побудовані графічні залежності схожості  $\Delta(v, W)$  від вологості  $W$ , при  $v$ -му числі пропусків наважок зерна через ударну машину (рис. 3.18).

По цих графіках можна відзначити, що схожість насіння гречки залежить від того скільки раз і при якій вологості пропущене зерно через машину, а також вона нижче ніж схожість насіння контролю  $\Delta_k = 97\%$  (насіння ручного обмолоту).

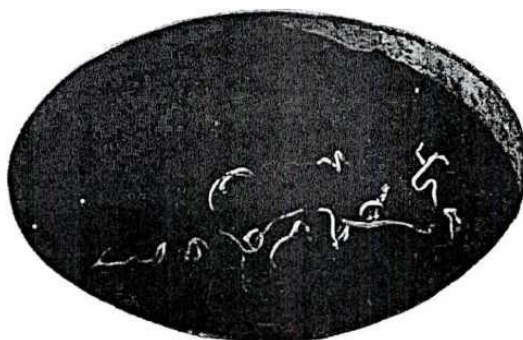


Рисунок 3.19 – Деформація проростків насіння гречки, багаторазово оброблених на ударній машині при високій вологості.

Для зони вологості зерна від 14 до 20 % залежно від числа пропусків зниження схожості становить від 8,3 до 45,6 % і ця різниця зростає зі збільшенням вологості. Останнє пояснюється тим, що при взаємодії з робочими органами машин у вологого насіння з'являються значні по величині необоротні пластичні деформації. У результаті глибоких деформацій зародку гречки наноситься травма, яка приводить до зниження схожості (рис. 3.19).

У результаті знаходимо, що при вологості 13,88 % має місце максимум схожості. Зниження схожості в даній точці в порівнянні зі схожістю насіння контролю при  $v = 5$  становить 8,4 %, при  $v = 15$  – 27,5 %, при  $v = 25$  – 42,7 %.

### Висновки до розділу

1. У партіях насіння гречки різних сортів прийнята геометрична модель зернівки у вигляді циліндричного триєдра адекватна дійсній на 85,3 – 87,5 % і цілком може бути використана для опису процесів виникнення напружень при контакті з робочими органами сільськогосподарських машин.

2. Характеристики міцності гречки перебувають у тісній кореляційній залежності від вологості зерна. Зі збільшенням вологості від 10 до 35,41 % має місце зниження значень: модуля пружності Юнга з 107,62 до 1,28 МПа; припустимих середніх напружень стиску з 15,75 до 0,48 МПа, зрушення з 4,59 до 0,61 МПа; збільшення граничного майданчика контакту з 2,05 до 15,65 мм . Значення граничної стискаючої сили перебуває в межах: від 38,21 до 7,57 Н для зерна і від 24,75 до 2,08 Н для оболонки. При вологості 15,68 % має місце максимум граничної стискаючої сили як для оболонки, так і в цілому для зерна, що пояснюється тим, що в зерні з'являються пластичні деформації і площа контакту зерна об робочий орган значно збільшується.

3. Експериментальні дані показують, що міцність оболонки зерна нижче міцності зерна в цілому. Різниця в міцності оболонки і зерна при вологості зерна від 14 до 20 % становить приблизно 40 %. Отже при механізованій обробці зерно спочатку тріскається, потім обрушується і, нарешті, дробиться.

4. При множинних контактах гречки з робочими органами сільгоспмашин сумарні пошкодження зерна збільшуються зі збільшенням кривизни робочого органу і швидкості співударяння, а також зі збільшенням маси зерна. Небезпечною при зіткненні буде кривизна робочого органу, порівняна із кривизною зерна. Збільшення швидкості співударяння з 7 до 9 м/с приведе до збільшення сумарних ушкоджень менше ніж на 1 %, а збільшення з 9 до 17 м/с – на 55 % при вологості 7,62 %. Збільшення вологості зерна знижує ці показники.

5. Сумарні пошкодження і показники механічної пошкоджуваності по окремих видах травм перебувають у тісній кореляційній залежності від вологості зерна. Мінімум ушкоджень спостерігається при вологості 24,81 %. Збільшення вологості з 24,81 % до 35 % приводить до збільшення сумарних ушкоджень при однократному пропуску на 1,2 %, зниження вологості з 24,81 % до 8,2 % збільшує пошкодження на 7 %.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 4.1 Розробка організаційно-технологічної карти

Організаційно-технологічна карта з охорони праці для оператора зерноочисного комплексу ЗАВ приведена на рис. 4.1.

|   |   |
|---|---|
| 1. Характеристика процесу та умови праці                                | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Місце роботи – дільниця приймання та обробки зерна на елеваторі ТОВ «Павлоградзернопродукт».</li> <li>2. Вид робіт – очищення зерна від сторонніх домішок за аеродинамічними властивостями повітряним потоком.</li> <li>3. Кваліфікація – оператор сепаратора для очистки зерна в повітряному потоці.</li> <li>4. Умови праці – нормальні.</li> </ol>   |
| 2. Технічні умови забезпечення безпеки праці                            | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Застосувати засоби індивідуального захисту: костюм бавовняний пилозахисний; черевики шкіряні; рукавиці комбіновані; шолом захисний; при роботі взимку – куртка та брюки утеплені.</li> <li>2. Освітленість робочого місця – не менше 150 лк.</li> <li>3. Повітряний обмін – не менше 1000 м<sup>3</sup>/год.</li> </ol>   |
| 3. Показники технологічного режиму і заходи безпеки                     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Захисні загородження повинні бути надійно закріплені та пофарбовані в яскравий колір.</li> <li>2. Електрозахисні і блокувальні пристрої повинні бути справними і відповідати нормативним параметрам. Рама сепаратора повинна бути заземлена.</li> <li>3. На пульту керування сепаратора повинна бути попереджувальна табличка, що буде попереджувати про можливість враження струмом.</li> </ol>  |
| 4. Шкідливі небезпечні і виробничі фактори на робочому місці            | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Зерновий пил (аерозолі), частинки мінеральних домішок та соломи.</li> <li>2. Обертальні частини обладнання;</li> <li>3. Підвищене значення електричної напруги.</li> <li>5. Підвищений рівень шуму та вібрації.</li> </ol>  |
| 5. Основні вимоги безпеки при роботі оператора сепаратора очистки зерна | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Роботи повинні виконуватись згідно заходів безпеки встановлених ДНАОП та існуючої на підприємстві документації.</li> <li>2. До роботи на сепараторі допускаються, що досягли 18 років, пройшли навчання та всі види інструктажу з охорони праці, стажування і мають досвід роботи на даному обладнанні.</li> <li>3. Забороняється проводити ремонтні роботи і очистку сепаратора не вимкнувши його від мережі і без повної зупинки робочих органів.</li> <li>4. Постійно здійснювати контроль стану опор ситового робочого органу, аспіраційного каналу та регульовальних і натяжних пристроїв.</li> <li>5. Дотримуватися правил електробезпеки, здійснювати контроль допоміжних захисних пристроїв та захисних огорожень.</li> <li>6. Підтримувати чистоту і порядок на робочому місці.</li> </ol> |

Рисунок 4.1 – Операційно-технологічна карта оператора зерноочисного комплексу ЗАВ

Під час розробки організаційно-технологічної карти нами було враховано всі особливості та умови роботи оператора зерноочисного комплексу ЗАВ.

#### 4.2 Утилізація відходів виробництва

Для оцінки екологічної та економічної ефективності підприємства в контексті зниження антропогенного навантаження на навколишнє середовище можуть бути прийняті до уваги наступні коефіцієнти викидів:

1. Викиди забруднюючих речовин в атмосферу;
2. Скидання стічних вод;
3. Утворення твердих відходів;
4. Використання сировини та ресурсів.

Що стосується ризиків для здоров'я населення, рейтинг забруднюючих речовин показав, що викиди пилу та стічних вод є найбільш небезпечними.

Найбільш вигідним і перспективним напрямком використання відходів виробництва вівсяних пластівців є використання оболонок зерен при виробництві паливних брикетів. Сьогодні брикети з сільськогосподарських відходів широко використовуються в якості палива в твердопаливних котлах. Високоякісне пресування оболонки зерен дозволяє компаніям отримувати готові до використання паливні брикети. Пресована оболонка зерен є відмінним альтернативним паливом, що дозволяє компаніям частково знизити свої потреби в енергоресурсах.

Згідно з регіональним звітом про стан навколишнього середовища в Дніпропетровській області, досліджувані підприємства відносяться до найбільших промислових підприємств регіону, що роблять вплив на навколишнє середовище. Отже, існує потреба в екологізації виробництва, яка знижує навантаження людини на природне середовище і допомагає розвиватися під впливом ефективних заходів екологічної політики.

## Висновки до розділу

Визначено, що вся відповідальність за забезпечення охорони праці покладається на Вищого спеціаліста з охорони праці. Для систематизації правил охорони праці були розроблені картки для працівників цехів з первинної обробки круп'яного зерна. Це дозволяє поліпшити стан охорони праці на підприємстві, знизити ризик травматизму і виникнення професійних захворювань.



## 5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Організація проведення дослідження

Метою проведення економічних розрахунків по обґрунтуванню ефективності проведених досліджень є оцінка отриманих результатів і доцільності проекту по обґрунтуванню методів підвищення ефективності технологічного процесу післязбиральної обробки зерна гречки з метою зменшення його травмування шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів обладнання та визначення більш оптимальних фізико-механічних властивостей зерна.

Проведення досліджень буде передбачати витрату певної кількості матеріальних ресурсів, а саме це будуть витрати пов'язані з придбанням устаткування для первинної обробки зерна гречки, витрати на його амортизацію, витрати на закупівлю дослідних зразків зерна гречки, а також витрати на заробітну плату та електроенергію. Перелік найбільш затратних робіт включає в себе: визначення зміни фізико-механічних властивостей зерна гречки в залежності від його вологості; визначення впливу конструктивних параметрів робочих органів очисного обладнання на ступінь травмування зерна; визначення ступеня травмування зерна гречки під час післязбиральної обробки (комплексні випробування) наведений у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – План проведення дослідження

| Шифр робіт $i-j$ | Найменування робіт  | Тривалість робіт $t_{ij}$ , днів |
|------------------|---|----------------------------------|
| 1                | 2   | 3                                |
| 1-2              | Вибір напрямку наукових досліджень  | 1                                |
| 2-3              | Літературний пошук та постановка проблематики   | 10                               |
| 3-4              | Складання плану виконання досліджень  | 2                                |
| 4-5              | Розробка методики проведення досліджень   | 2                                |
| 5-6              | Підготовка дослідних зразків зерна гречки   | 2                                |
| 6-7              | Підготовка та налаштування устаткування для проведення досліджень                       | 25                               |
| 7-8              | Дослідження фізико-механічних властивостей зерна гречки в залежності від його вологості | 3                                |

Продовження таблиці 5.1

| 1     | 2   | 3  |
|-------|---|----|
| 7-9   | Визначення впливу конструктивних параметрів робочих органів сепарувальних та транспортних машин на ступінь травмування зерна гречки | 8  |
| 7-10  | Визначення впливу травмованості зерна гречки на її посівні якості   | 12 |
| 7-11  | Визначення ступеня травмованості зерна гречки під час її післязбиральної обробки (комплексні випробування)                          | 10 |
| 8-12  | Аналіз та обробка результатів дослідження   | 1  |
| 9-12  |   | 1  |
| 10-12 |   | 3  |
| 11-12 |   | 2  |
| 12-13 | Обробка результатів експериментальних даних   | 6  |
| 13-14 | Підготовка матеріалів досліджень до публікації та оприлюднення  | 8  |
| 14-15 | Формування демонстраційного матеріалу   | 6  |

Згідно з планом робіт буде створено мережевий графік. Це графічна модель, яка показує майбутні роботи і процеси у вигляді окремих етапів і дозволяє шляхом розрахунків визначити оптимальний варіант їх виконання. На етапі реалізації мережевий графік дає можливість оперативно управляти ходом виконання робіт (рис. 5.1).

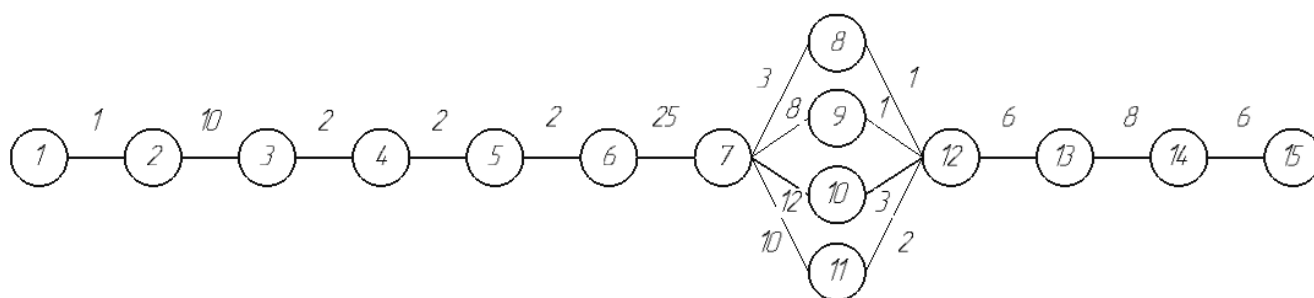


Рисунок 5.1 – Мережевий графік проведення дослідної роботи

Використовуючи мережевий графік, знаходять повний шлях – тривалість послідовних робіт від початкової події до кінцевої.

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-8-12-13-14-15}^1 = 2 + 14 + 3 + 3 + 2 + 22 + 2 + 1 + 4 + 5 + 4 = 62;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-9-12-13-14-15}^2 = 2 + 14 + 3 + 3 + 2 + 22 + 3 + 1 + 4 + 5 + 4 = 63;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-10-12-13-14-15}^3 = 2 + 14 + 3 + 3 + 2 + 22 + 4 + 1 + 4 + 5 + 4 = 64;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-11-12-13-14-15}^4 = 2 + 14 + 3 + 3 + 2 + 22 + 8 + 2 + 4 + 5 + 4 = 69.$$

Згідно з розрахунками критичним є четвертий шлях з тривалістю в 69 днів.

## 5.2 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження

Витрати на основні та побічні матеріали розраховують за формулою:

$$M = \sum m_i \cdot C_i, \quad (5.1)$$

де  $m_i$  – кількість витраченого  $i$ -го матеріалу;

$C_i$  – ціна одиниці  $i$ -го матеріалу, грн.

Результати розрахунку витрат на матеріали наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Необхідна кількість основних матеріалів та їх вартість

| Найменування, одиниці | Кількість | Ціна, грн | Сума, грн |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|
| Зерно гречки, кг      | 300       | 7,0       | 2100,00   |
| Всього                |           |           | 2100,00   |

Заробітна плата учасників досліджень наведена в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок витрат на заробітну плату

| Посада             | Середньомісячний зарібок, грн | Середньочасовий зарібок, грн | Кількість людино-годин | Сума, грн |
|--------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------|-----------|
| Дипломний керівник | 8500                          | 50,59                        | 20                     | 1011,80   |
| Всього             |                               |                              |                        | 1011,80   |

Нарахування на заробітну плату складають:

$$H = \frac{1011,80 \cdot 22}{100} = 222,60 \text{ грн.}$$

Затрати на витрачену електроенергію визначають за формулою:

$$E = M \cdot K \cdot T \cdot a, \quad (5.2)$$

де  $M$  – потужність встановленого електрообладнання, кВт;

$K$  – коефіцієнт використання потужності ( $K = 0,9$ );

$T$  – час роботи на установці, год;

$a$  – тариф за електроенергію, грн/(кВт/год).

Затрати енергії на сушильну шафу складають:

$$E_{c.ш.} = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 24 \cdot 1,68 = 54,43 \text{ грн.}$$

Затрати енергії на привіт робочих органів зерноочисної машини:

$$E_{з.м.} = 2,5 \cdot 0,9 \cdot 32 \cdot 1,68 = 120,96 \text{ грн.}$$

Затрати енергії на роботу персонального комп'ютера:

$$E_{n.к.} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 40 \cdot 1,68 = 54,43 \text{ грн.}$$

Загальні затрати електроенергії складають:

$$E = E_{c.ш.} + E_{з.м.} + E_{n.к.} = 54,43 + 120,96 + 54,43 = 229,82 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування, розраховуємо за формулою:

$$A = \frac{\Phi \cdot H \cdot t}{100 \cdot 12}, \quad (5.3)$$

де  $A$  – амортизаційні відрахування, грн;

$\Phi$  – вартість устаткування, грн;

$H$  – річна норма амортизації, %;

$t$  – тривалість проведення дослідження на устаткуванні, днів;

12 – кількість місяців у році.

Результати розрахунків витрат на амортизацію наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунків витрат на амортизацію

| Устаткування           | Вартість, грн | Річна норма амортизації, % | Тривалість роботи, днів | Витрати на амортизацію, грн |
|------------------------|---------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Сушильна шафа          | 7200,00       | 24                         | 3                       | 14,20                       |
| Зерноочисна машина     | 23300,00      | 24                         | 4                       | 61,28                       |
| Персональний комп'ютер | 12000,00      | 24                         | 5                       | 39,45                       |
| Всього                 |               |                            |                         | 114,93                      |

Накладні витрати становлять:

$$\frac{(1011,80 \cdot 80)}{100} = 809,44 \text{ грн.}$$

Кошторис витрат на проведення дослідження наведений в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Кошторис витрат на проведення дослідження

| Витрати                        | Сума, грн. |
|--------------------------------|------------|
| Основні матеріали              | 2100,00    |
| Заробітна плата                | 1011,80    |
| Нарахування на заробітну плату | 222,60     |
| Електроенергія                 | 229,82     |
| Амортизація                    | 114,93     |
| Накладні витрати               | 809,44     |
| Всього                         | 4488,59    |

Аналіз показав, що на першому місці стоять витрати на основні матеріали і заробітну плату.

### 6.3 Розрахунок вартості дослідження

Ціна досліджень складає:

$$Ц = C + \frac{P \cdot C}{100}, \quad (5.4)$$

де  $Ц$  – вартість дослідження, грн;

$C$  – витрати на дослідження, грн;

$P$  – нормативна рентабельність ( $P = 30$ ), %.

$$Ц = 4488,59 + \frac{30 \cdot 4488,59}{100} = 5835,17 \text{ грн.}$$

Витрати на проведені дослідження становлять 5835,17 грн.

Висновки до розділу

Найбільшими є витрати на основні матеріали та витрати на заробітну плату, які складають 2100,00 грн та 1011,80 грн. ціна проведеного дослідження становить 5835,17 грн.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Встановлено, що кількісний вміст ушкоджень у насіннях залежить як від конструктивних і режимних параметрів робочих органів машин, так і від стану зернового матеріалу і його фізико-механічних властивостей, які в процесі проходження зерна через машини післязбиральної обробки постійно змінюються. І весь цей складний процес із багаторазовими впливами на оброблюваний матеріал у цей час вивчений недостатньо.

Теоретично підтверджено, що у партіях насіння гречки різних сортів прийнята геометрична модель зернівки у вигляді циліндричного триєдра адекватна дійсній на 85,3 – 87,5 % і цілком може бути використана для опису процесів виникнення напружень при контакті з робочими органами сільськогосподарських машин.

Експериментально доведено, що характеристики міцності гречки перебувають у тісній кореляційній залежності від вологості зерна. Зі збільшенням вологості від 10 до 35,41 % має місце зниження значень: модуля пружності Юнга з 107,62 до 1,28 МПа; припустимих середніх напружень стиску з 15,75 до 0,48 МПа, зрушення з 4,59 до 0,61 МПа; збільшення граничного майданчика контакту з 2,05 до 15,65 мм. Значення граничної стискаючої сили перебуває в межах: від 38,21 до 7,57 Н для зерна і від 24,75 до 2,08 Н для оболонки. При вологості 15,68 % має місце максимум граничної стискаючої сили як для оболонки, так і в цілому для зерна, що пояснюється тим, що в зерні з'являються пластичні деформації і площа контакту зерна об робочий орган значно збільшується.

Експериментальні дані показують, що міцність оболонки зерна нижче міцності зерна в цілому. Різниця в міцності оболонки і зерна при вологості зерна від 14 до 20 % становить приблизно 40 %. Отже при механізованій обробці зерно спочатку тріскається, потім обрушується і, нарешті, дробиться.

Встановлено, що при множинних контактах гречки з робочими органами сільгоспмашин сумарні пошкодження зерна збільшуються зі збільшенням

кривизни робочого органу і швидкості співударяння, а також зі збільшенням маси зерна. Небезпечною при зіткненні буде кривизна робочого органу, порівняна із кривизною зерна. Збільшення швидкості співударяння з 7 до 9 м/с приведе до збільшення сумарних ушкоджень менше ніж на 1 %, а збільшення з 9 до 17 м/с – на 55 % при вологості 7,62 %. Збільшення вологості зерна знижує ці показники.

Дослідами підтверджено, що сумарні пошкодження і показники механічної пошкоджуваності по окремих видах травм перебувають у тісній кореляційній залежності від вологості зерна. Мінімум ушкоджень спостерігається при вологості 24,81 %. Збільшення вологості з 24,81 % до 35 % приводить до збільшення сумарних ушкоджень при однократному пропуску на 1,2 %, зниження вологості з 24,81 % до 8,2 % збільшує пошкодження на 7 %.

Встановлено що лабораторно-польова схожість гречки залежить від вологості зерна і числа пропусків зерна через машину. При вологості від 13,88 % має місце максимум схожості.

Найбільшими є витрати на основні матеріали та витрати на заробітну плату, які складають 2100,00 грн та 1011,80 грн. ціна проведеного дослідження становить 5835,17 грн.



## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Управління якістю: навч. посіб. 2-е вид. / Д.П. Лойко, О.П. Вотченікова, О.П. Удовіченко, М.А. Котляр. Львів: «Магнолія – 2006», 2010. 240 с.
2. Димань Т.М., Мазур Т.Г. Безпека продовольчої сировини: підручник. Київ: ВЦ «Академія». 2011. 520 с.
3. Жемела Г.П., Бараболя О.В. Технологія борошномельного та круп'яного виробництва: навчальний посібник для студентів вищих агротехнологічних навчальних закладів / Г.П. Жемела, О.В. Бараболя – Полтава: 2011. – 292 с.
4. Мерко І.Т. Технології мукомельного і круп'яного виробництва [Текст]: підручник для студентів вищих навчальних закладів / І.Т. Мерко. – Вид. 2-ге, перероб. та допов. – Одеса : Друк. дім, 2010. – 472 с.
5. Мерко І.Т., Моргун В.О. Наукові основи і технологія переробки зерна: підручник для студентів вищих навчальних закладів / І.Т. Мерко, В.О. Моргун – Одеса: Друк, 2001. – 348с.
6. Інноваційні методи обробки продовольчої сировини / С.Ю. Миколенко, О.В. Гончарова, А.М. Пугач, А.В. Купченко, В.С. Кошулько, Я.В. Гезь: Монографія. Дніпро: Журфонд, 2017. 224 с.
7. Подпряттов Г.І., Скалецька Л.Ф. Технологія виробництва борошна, крупи та олії. – К.: Видавництво НАУ, 2000. – 200 с.
8. Правила організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах. – К.: Віпол, 1998. – 145 с.
9. Правила організації і ведення технологічного процесу на круп'яних заводах. – К.: Віпол, 1998. – 164 с.
10. Шатенко Є. І., Соц С.М. Технологія круп'яного виробництва. – К.: Освіта України, 2010. – 272 с.
11. Богомолів О.В. Управління якістю переробних і харчових виробництв/ О.В. Богомолів, О.І. Шаповаленко, О.М. Сафонова, [та ін.]: Навч. посібник. Харків: «Еспада». 2006. 296с.

12. Відходи та безвідходне виробництво в харчовій промисловості : наук.-допом. бібліогр. покажч. двома мовами 1956 – 2020 рр. / [упоряд. І. М. Мельничук]; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. Київ, 2021. 110 с. Режим доступу:

[http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/34268/1/Waste\\_and\\_waste-free\\_production\\_in\\_the\\_food\\_industry.pdf](http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/34268/1/Waste_and_waste-free_production_in_the_food_industry.pdf).

13. Aliiev Elchyn, Gavrilchenko Alexander, Tesliuk Hennadii, Tolstenko Alexander, Koshul'ko Vitaliy (2019). IMPROVEMENT OF THE SUNFLOWER SEED SEPARATION PROCESS EFFICIENCY ON THE VIBRATING SURFACE. ACTA PERIODICA TECHNOLOGICA (APTEFF), 50, 12 – 22. DOI: <https://doi.org/10.2298/APT1950012A> (Scopus).

14. Nykyforov, A., Antoshchenkov, R., Halych, I., Kis, V., Polyansky, P., Koshulko, V., Tymchak, D., Dombrovska, A., Kilimnik, I. (2022). Construction of a regression model for assessing the efficiency of separation of lightweight seeds on vibratory machines involving measures to reduce the harmful influence of the aerodynamic factor. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (1 (116)), 24–34. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253657> (Scopus).

15. Землеробська механіка. Інноваційні технології харчових виробництв / А.С. Кобець, С.П. Сокол, А.М. Пугач, Ю.О. Чурсінов, О.А. Півоваров, С.Ю. Миколенко, О.С. Ковальова, В.С. Калина, В.С. Кошулько, Д.О. Тимчак, Н.А. Сова, К.А. Худайбердієва. Дніпро: «Свідлер А.Л.». 2022. Том 4. 460 с. (наукова монографія, ISBN 978-617-627-174-1).

16. Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційний інжиніринг в окремих галузях харчового виробництва / О.А. Півоваров, О.С. Ковальова, В.С. Кошулько. Дніпро: ФОП Обдимко О.С., 2022. 407 с. (посібник, ISBN 978-617-95201-3-6).

17. ДСТУ 2240-93. (1993). Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови. Київ: Держстандарт України. 74 с.

18. Кириченко В. В., Петренкова, В. П., Кривошеєва, О. В., Рябчун, В. К., Маркова, Т. К. (2007). Ідентифікація морфологічних ознак соняшнику (*Helianthus L.* посібник). Харків: Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва УААН. 78 с.
19. ДСТУ 4138-2002. (2002). Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Київ: Держстандарт України. 173 с.
20. Gorohivets N. A., Vedmedeva, E. V. (2016). Inheritance of epidermis pigmentation in sunflower achenes, *Cytol Genet.* Vol. 50, no. 2. P. 116-120. DOI: 10.3103/S0095452716020031.
21. Poliakova N.A., Vedmedeva, E.V. (2016). Inheritance of Anthocyanin Coloration Trait in Pericarp of Sunflower Seeds. *HELIA.* P. 81–90. DOI: 10.1515/helia-2016-0005
22. Заїка П. М. (2006). Теорія сільськогосподарських машин. Очистка і сортування насіння. Харків: Око. 407 с.
23. . Адамчук В. В., Прилуцький, А. Н., Заришняк, А. С., Степаненко, С. П. (2014). Концепція комплексного вирішення проблеми післязбиральної обробки і зберігання зерна в сільськогосподарських підприємствах України. В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. Глевах: ННЦ «ІМЕСГ». Вип. 99. С. 40-56.
24. Войтюк Д. Г., Гаврилюк, Г. Р. (2004). Сільськогосподарські та меліоративні машини. К.: Вища освіта. 554 с.
25. Ольшанський В. П., Бредихін, В. В., Лук'яненко, В. М., Півень, М. В., Сліпченко, М. В., Харченко, С. О. (2017). Теорія сепарування зерна: монографія. Харків: ПланетаПрінт. 803 с.
26. Котов Б. І., Пастушенко, М. Г., Степаненко, С. П. (2012). Дослідження ефективності вібровідцентрової сепарації зерна на ступінчасто-конічному решеті методом планування експериментів. Конструювання, експлуатація та виробництво сільськогосподарських машин. Випуск 42. Частина 2. С. 70-75.
27. Бредихін В. В. (2003). Обґрунтування параметрів процесу вібропневмовідцентрового розділення насінневих сумішей за густиною насіння. Автореф. дис. канд. техн. наук. Харків. 20 с.

28. Дерев'янку Д. (2015). Дослідження ударної взаємодії травмування насіння поверхнею циліндричного решета вібросепаратора після його сходження з диска розподільника. Техніка і технології АПК. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, № 6 (69). С. 9-12.
29. Заїка П. М., Бакум, М. В., Михайлов, А. Д., Козій, О. Б. (2012). Сепарація насіння льону на вібраційних сепараторах. Вібрації в техніці та технологіях. № 3 (67). С. 106-111.
30. Clien C., Chiang, Y. P., Pomeranz, Y. (1989). Image analysis and characterization of cereal grains with a laser range finder and camera contour extractor. Cereal Chem. № 6. P. 466-470.
31. Thomson, W. H., Pomeranz, Y. (1991). Classification of wheat kernels using three-dimensional image analysis. Cereal Chem. 68. № 34. P. 357-361.
32. Kiratiratanapruk K., Sinthupinyo, W. (2011). Color and texture for corn seed classification by machine vision. Int. Symp. Intell. Signal Process. Commun. Syst. "The Decad. Intell. Green Signal Process. Commun. ISPACS. P. 7-11.
33. Rong R. V., Sardeshmukh, M. M. (2014). Comparative analysis of Indian wheat seed classification. Icacce'14. P. 937-942.
34. Mira Park, Jesse S. Jin, Sherlock L. Au, Suhuai Luo, Yue Cui (2009). Automated Defect Inspection Systems by Pattern. Recognition International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition. Vol. 2. No. 2. P. 31-41.
35. Міщенко М. І., Ріда, В. П. (2000). Патент на корисну модель UA 553 U, МПК (2006) B07B 9/00. Зерноочищувальний сепаратор. Заявник Відкрите акціонерне товариство "Хорольський механічний завод". № 99105723. Заявл. 19.10.1999. Опубл. 15.09.2000, Бюл. № 4.
36. Galling Michael John, Deefholts Murray Benedict Mark. (1981). Sorting objects. Gunson`s Sortex Ltd. Заявка Великобританії, кл. B 07 C 5/02, G 01 N 21/00, НКІ. G 1 A. Заявл. 19.01.81, N 8101542. Опубл. 28.07.82.
37. Lockett James F. (1982). Univeisal sorting apparatus. Патент США, кл. B 07 C. 5/342, НКІ 209/564, N4344539. Заявл. 05.05.78, N 903050. Опубл. 17.08.82.

38. Mohammad Reza Seifi, Reza Alimardani. (2010). Moisture-Dependent Physical Properties of Sunflower Seed (SHF8190). *Modern Applied Science*. Vol. 4, No. 7. Published by Canadian Center of Science and Education. P. 135-143.
39. Ghodsevali A., Vafaei, A. (2008). Studying of physical properties of sunflower in Golestan province. The fifth conference of agricultural machinery and mechanization, Mashad, Iran, 306 p.
40. Gupta R. K., Das, S. K. (1997). Physical properties of sunflower seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*. № 66. P. 1-8.
41. Sahebeh Jafari, Javad Khazaei, Akbar Arabhosseini, Jafar Massah, Mohammad Hadi Khoshtaghaza. (2011). Study on mechanical properties of sunflower seeds. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*. Volume 14. Issue 1. P. 1-11.
42. Chavoshgoli Es., Abdollahpour, Sh., Abdi, R., Babaie, A. (2014). Aerodynamic and some physical properties of sunflower seeds as affected by moisture content. *Agric Eng Int: CIGR Journal*. Vol. 16. No.2. P. 136-142.
43. Jafari S. (2008). Design and construction a laboratory sunflower seed dehuller machine. A thesis submitted to Graduate Studies Office in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Mechanic of Agricultural Machinery. Tehran, Iran, (in farsi).
44. Khodabakhshian R., B. Emadi, M. H. Abbaspour Fard. (2009). Aerodynamic properties of sunflower seed, kernel and its hull affected by moisture content and size, azargol variety as a case study. *International Agricultural Engineering Conference*, Bangkok, Thailand.
45. Михайлов Є. В., Задосна, Н. О. (2015). Аеродинамічні властивості складових олійної сировини соняшнику. *Праці ТДАТУ*. Випуск 15. Том 4. С. 28-38.
46. Котов Б. І., Степаненко, С. П., Швидя, В. О. (2016). Технологічні аспекти сепарації зерна у вертикальному каналі. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Вип. 46. С. 154-159.

47. Котов Б. І., Спирін, А. В., Твердохліб, І. В., Степаненко, С. П., Швидя, В. О. (2017). До питання пневмогравітаційної сепарації зернових матеріалів. Техніка, енергетика, транспорт АПК. № 4. С. 51-55.

48. Котов Б. І., Деревенько, І. А., Степаненко, С. П. (2017) Дослідження ефективності сепарації зернових матеріалів на ступінчастоконічному решеті вібровідцентрових машин. Вібрації в техніці та технологіях. № 2 (85). С. 99-102.

49. Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Ishchenko, K., Lukyanov, I., Dobrovolsky, V., Yurchenko, O., Chekan, O., Dedilova, T., & Musiienko, Y. (2021). Revealing changes in the technical parameters of the teat cup liners of milking machines during testing and production conditions. EUREKA: Physics and Engineering, (6), 102-111. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.002056>

50. Kozachenko O., Aliiev E., Sedykh K. Results of investigation of the spring shank disc harrow performance. U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 83, Issue 4, 2021. 123–140. [https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev\\_docs\\_arhiva/rezabf\\_492985.pdf](https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/rezabf_492985.pdf)

51. Yaropud V., Hunko I., Aliiev E., Kupchuk I. Justification of the mechatronic system for pigsty microclimate maintenance. Agraarteadus, Journal of Agricultural Science, 2021, XXXII (2): 341–351. DOI: 10.15159/jas.21.23

52. Aliiev E., Pavlenko S., Aliieva O., Morhun O. Accelerated biothermal composting of manure-compost mixture. Agraarteadus, Journal of Agricultural Science, 2021, XXXII (2): 169–181. DOI: 10.15159/jas.21.30

53. Aliiev E., Paliy A., Kis V., Paliy A., Petrov R., Plyuta L., Chekan O., Musiienko O., Ukhovskyi V., Korniiien L. (2022). Establishing the influence of technical and technological parameters of milking equipment on the efficiency of machine milking. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (1 (115)), 44–55. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251172

54. Sahay K.M. Unit operations in agricultural processing / K.M. Sahay, K.K. Singh // Vikas Publishing House Pvt Ltd, New Delhi. – 1994.

55. Singh K.K. Physical properties of sunflower seeds / K.K. Singh, T.K. Goswami // Physical properties of cumin seed. J. Agric. Eng. – 1996 – Vol. 64 – P. 93-98.