

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ПОГОДЖЕНО
**Декан факультету захисту рослин,
біотехнологій та екології**

_____**Юлія Коломієць**
(підпис)
«___»_____2026р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
**Завідувач кафедри ентомології,
інтегрованого захисту та
карантину рослин**

_____**Микола Доля**
(підпис)
«___»_____2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Біологічні особливості шкідників продукції запасів»

Спеціальність 202 «Захист і карантин рослин»

**Гарант освітньої
програми**

доктор
сільськогосподарських
наук, професор кафедри
фітопатології ім. акад.
В.Ф. Пересипкіна

(підпис)

**Мирослав
ПІКОВСЬКИЙ**

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

Доцент, кандидат
сільськогосподарських
наук

(підпис)

Оксана СИКАЛО

Виконав

(підпис)

**Влад
ГЛІБОВСЬКИЙ**

Київ - 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ ТА
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ентомології,
інтегрованого захисту та карантину рослин

_____ **Микола ДОЛЯ**
« ____ » _____ 2026р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ**

Глібовському Владиславу Євгенійовичу
Спеціальність: «202 Захист і карантин рослин»

Освітньо-професійна програма «Захист і карантин рослин»

**Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи «Біологічні особливості
шкідників продукції запасів»**

затверджена наказом від 29.10.2025 р. у № 2588 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 20.05.2026 р.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи:

Біологічні особливості розвитку шкідників продукції запасів. Методичні рекомендації щодо проведення обліків шкідливих організмів у зерносховищах.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

Дослідити біологічні особливості розвитку карантинних та некарантинних шкідливих організмів продукції запасів, встановити фенологію розвитку фітофагів, встановити ознаки пошкодження сільськогосподарської продукції та наслідки забруднення комахами продукції

Дата видачі завдання 20.05.2025р.

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

_____ **Оксана СИКАЛО**
(підпис)

Завдання взяв до виконання

_____ **Владислав ГЛІБОВСЬКИЙ**
(підпис)

РЕФЕРАТ

Актуальність дослідження полягає у необхідності підвищення ефективності захисту зернових запасів від комірнього довгоносика шляхом удосконалення екологічно безпечних та превентивних технологічних методів контролю. Особливо важливими є пошук оптимальних умов зберігання продукції, оцінка стійкості сучасних сортів озимої пшениці до пошкодження фітофагом, а також мінімізація використання хімічних фумігантів у сучасних металевих силосах за рахунок фізико-механічних заходів.

Об'єктом дослідження є процеси життєдіяльності та механізми формування популяцій спеціалізованого ентомокомплексу шкідників продукції запасів на прикладі модельного виду — комірнього довгоносика (*Sitophilus granarius* L.).

Предметом дослідження є біологічні, екологічні (реакція на мікрокліматичні параметри середовища) та трофічні (кормові преференції) особливості розвитку *Sitophilus granarius* L. в умовах штучних екосистем зерносховищ.

Метою роботи є комплексне вивчення біологічних, екологічних та трофічних особливостей онтогенезу комірнього довгоносика (*Sitophilus granarius* L.) в умовах штучних екосистем зерносховищ для наукового обґрунтування технологічних заходів щодо обмеження його чисельності та рівня шкодочинності.

Для досягнення поставленої мети були визначені такі завдання:

- проаналізувати наукові джерела щодо біологічних особливостей шкідників продукції запасів та існуючих технологій їх контролю;
- дослідити вплив гідротермічних факторів (температури та вологості) на динаміку розвитку преімагінальних стадій комірнього довгоносика;
- оцінити репродуктивний потенціал та плодючість шкідника на різних за склоподібністю сортах озимої пшениці;
- встановити характер пошкодження зерна та визначити динаміку втрат його сухої маси за прихованої форми зараженості;
- обґрунтувати параметри модернізованої інтегрованої системи захисту

(ІРМ) зерносховищ на основі превентивних та фізико-механічних методів. У процесі досліджень проведено аналіз видового складу ентомокомплексу та встановлено кореляційну залежність між рівнем склоподібності ендосперму пшениці й плодючістю довгоносика. Запропоновано інтегровану систему захисту, яка базується на пріоритетному використанні сортової стійкості, активного вентилявання та охолодження зерна, що дозволяє ефективно стримувати популяцію комах. Результати досліджень можуть бути впроваджені на базі сучасних елеваторних комплексів для прогнозування ризиків прихованої зараженості, оцінки втрат маси зерна та зниження пестицидного навантаження.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КОМІРНИЙ ДОВГОНОСИК, ШКІДНИКИ ЗАПАСІВ, ОЗИМА ПШЕНИЦЯ, СКЛОПОДІБНІСТЬ, ПРИХОВАНА ЗАРАЖЕНІСТЬ, ІНТЕГРОВАНІЙ ЗАХИСТ, ОХОЛОДЖЕННЯ ЗЕРНА, АСПІРАЦІЯ, ЗЕРНОСХОВИЩА.

ABSTRACT

The relevance of this study lies in the need to improve the efficiency of protecting grain stocks from the granary weevil by optimizing ecologically safe and preventative technological control methods. Of particular importance are the search for optimal conditions for product storage, evaluating the resistance of modern winter wheat varieties to phytophage injury, and minimizing the use of chemical fumigants in modern metal silos through physical-mechanical measures.

The object of this study is the vital processes and population formation mechanisms of a specialized stored product insect complex, using the granary weevil (*Sitophilus granarius* L.) as a model species.

The subject of this study is the biological, ecological (response to microclimatic environmental parameters), and trophic (feeding preferences) development patterns of *Sitophilus granarius* L. under conditions of artificial storage ecosystems.

The objective of this work is to perform a comprehensive investigation into the biological, ecological, and trophic characteristics of the granary weevil (*Sitophilus granarius* L.) ontogenesis within artificial ecosystems of grain storages to scientifically substantiate technological measures for limiting its population size and economic harmfulness.

To achieve this goal, the following objectives were identified:

- to analyze scientific sources on the biological characteristics of stored product pests and existing technologies for their control;
- to investigate the effect of hydrothermal factors (temperature and moisture) on the development dynamics of preimaginal stages of the granary weevil;
- to assess the reproductive potential and fertility of the pest across various winter wheat varieties with different vitreousness levels;
- to determine the nature of grain damage and establish the dynamics of dry weight losses under conditions of hidden infestation;
- to substantiate the parameters of a modernized integrated pest management (IPM) system for grain storages based on preventative and physical-mechanical

methods.

In the course of the research, an analysis of the pest complex species composition was carried out, and a clear correlation was established between the vitreousness of the wheat endosperm and weevil fertility. An integrated pest management system has been proposed, relying primarily on host plant resistance, active ventilation, and grain chilling, which successfully suppresses insect populations. The practical outcomes of this research can be implemented at modern elevator complexes to predict hidden infestation risks, evaluate grain weight losses, and reduce overall pesticide application loads.

KEYWORDS: GRANARY WEEVIL, STORED PRODUCT PESTS, WINTER WHEAT, VITREOUSNESS, HIDDEN INFESTATION, INTEGRATED PEST MANAGEMENT, GRAIN CHILLING, ASPIRATION, GRAIN STORAGEES.

Зміст

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ: ТЕОРЕТИКО-БІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РОЗВИТКУ ШКІДНИКІВ ХЛІБНИХ ЗАПАСІВ.....	12
1.1 Систематика та видовий склад ентомокомплексу шкідників продукції запасів.....	12
1.2 Морфолого-біологічна характеристика комірного довгоносика.....	13
1.3 Вплив абіотичних факторів на динаміку популяцій (температура, вологість).....	14
1.4 Трофічні зв'язки (залежність від видів зернових культур).....	14
Розділ 2. Матеріали, умови та методики проведення досліджень.....	16
2.1. Умови та місце проведення досліджень.....	16
2.2. Методика проведення обліків шкідників запасу.....	18
РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНІ ТА ТРОФІЧНІ ДЕТЕРМІНАНТИ РОЗВИТКУ ШКІДНИКА В УМОВАХ ГОСПОДАРСТВА.....	19
3.1. Характеристика бази досліджень та природно-кліматичних умов регіону.	20
3.2. Видовий склад та екологічна структура ентомокомплексу шкідників запасів ТОВ «УБА-АГРОСВІТ».....	24
3.3. Фенологія та сезонна динаміка розвитку комірного довгоносика (<i>Sitophilus granarius</i> L.) в умовах зерносховищ.....	27
3.4. Динаміка чисельності та репродуктивний потенціал шкідника на різних сортах.....	31
3.5 Оцінка шкодочинності та втрат маси зерна за прихованої форми зараженості.....	33
РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ОБМЕЖЕННЯ ЧИСЕЛЬНОСТІ КОМІРНОГО ДОВГОНОСИКА.....	35
4.1. Превентивні заходи у складських приміщеннях.....	37
4.2. Фізико-механічні та термічні методи контролю.....	40
4.3. Хімічний контроль (застосування інсектицидів та фумігантів).....	45
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

ВСТУП

Актуальність теми. Продовольча безпека України, як провідного експортера агропродукції, залежить не лише від обсягів урожаю, а й від ефективності його збереження. На етапі довготривалого зберігання у зерносховищах формується специфічний ентомокомплекс, здатний завдати значних економічних збитків. За даними FAO, щорічні втрати зерна від шкідників запасів сягають 10–25%, що є критичним фактором дестабілізації аграрного сектору.

Еволюційна адаптація шкідників хлібних запасів зумовлює складність контролю їх чисельності. На відміну від польових фітофагів, складські шкідники існують в афотичних умовах. Завдяки стабільному мікроклімату насипу вони розвиваються безперервно, даючи кілька генерацій на рік. Домінуюче положення в цьому середовищі займають представники ряду *Coleoptera*. Їхня життєдіяльність призводить до зменшення маси сухої речовини, погіршення насінневих і технологічних якостей зерна, а також забруднення продукції токсичними метаболітами.

Особливу небезпеку становить комірний довгоносик (*Sitophilus granarius* L.) — високоспеціалізований первинний руйнівник цілого зерна. Шкодочинність виду посилюється прихованою формою зараженості: преімагінальні стадії онтогенезу (яйце, личинка, лялечка) протікають ендогенно. Це робить візуальну діагностику на ранніх етапах майже неможливою, створюючи виклики для служб фітосанітарного моніторингу.

Модернізація технологій, масове впровадження металевих силосів та зростаюча резистентність комах до фумігантів вимагають оновлення наукових даних щодо екології виду. Вивчення впливу гідротермічних умов та біохімічних властивостей сучасних сортів культур на репродуктивний потенціал *S. granarius* є необхідною базою для розробки систем інтегрованого захисту (IPM).

Об'єкт дослідження – процеси життєдіяльності та механізми формування популяцій спеціалізованого ентомокомплексу шкідників продукції запасів на прикладі модельного виду — комірною довгоносіка *Sitophilus granarius* L.

Предмет дослідження – біологічні, екологічні (реакція на мікрокліматичні параметри середовища) та трофічні (кормові преференції) особливості розвитку *Sitophilus granarius* L. в умовах штучних екосистем зернохосовищ.

Мета дослідження полягає у комплексному вивченні біологічних, екологічних та трофічних особливостей онтогенезу комірною довгоносіка *Sitophilus granarius* L. в умовах штучних екосистем зернохосовищ для наукового обґрунтування технологічних заходів щодо обмеження його чисельності та рівня шкодочинності.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати динаміку розвитку та тривалість проходження преімагінальних стадій *Sitophilus granarius* L. залежно від температурних режимів зберігання зернової маси.
2. З'ясувати ступінь впливу відносної вологості повітря та гігроскопічної вологості субстрату на репродуктивний потенціал і показники виживання популяції шкідника.
3. Встановити трофічні преференції фітофага шляхом порівняльної оцінки інтенсивності його розмноження на різних видах злакових культур (пшениця, ячмінь, жито).
4. Визначити рівень кількісних (зниження маси сухої речовини) та якісних (погіршення насіннєвих і технологічних показників) втрат зерна за умов різної щільності зараження.
5. Обґрунтувати екологічно безпечні та економічно доцільні превентивні й винищувальні заходи контролю комірною довгоносіка в сучасних системах інтегрованого захисту запасів (IPM).

Наукова новизна одержаних результатів. Полягає в уточненні біоекологічних параметрів та тривалості розвитку генерацій *Sitophilus granarius*

Л. з урахуванням сучасних змін клімату та мікроклімату металевих силосів. Дістали подальшого розвитку уявлення про екологічну пластичність та трофічну вибірковість виду в умовах флуктуації гідротермічних режимів. Встановлено кореляційну залежність між інтенсивністю розмноження фітофага та біохімічними властивостями сучасних сортів злакових культур.

Практичне значення одержаних результатів. Встановлені закономірності онтогенезу шкідника слугують науковою базою для вдосконалення систем фітосанітарного моніторингу. Результати досліджень можуть бути імплементовані на базі сучасних елеваторних комплексів, зокрема ТОВ «УБА-АГРОСВІТ». Отримані дані дозволяють аграріям прогнозувати ризики прихованої зараженості зерна та оптимізувати терміни профілактичного охолодження або фумігації, що сприяє зниженню пестицидного навантаження та мінімізації економічних втрат.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ: ТЕОРЕТИКО-БІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РОЗВИТКУ ШКІДНИКІВ ХЛІБНИХ ЗАПАСІВ

Розробка та подальша імплементація сучасних систем інтегрованого захисту продукції запасів (*Integrated Pest Management*) є неможливою без глибокого та всебічного аналізу наукових напрацювань світової та вітчизняної ентомології. З огляду на безперервну антропогенну трансформацію агроєкосистем і логістичної інфраструктури, у цьому розділі здійснено критичне осмислення фундаментальних праць та актуальних наукових публікацій. Вагомий масив опрацьованої літератури базується на передовому іноземному досвіді, зокрема на даних фахівців, які досліджують механізми виникнення фізіологічної резистентності до пестицидів та шляхи еволюційної адаптації комах до специфічних мікрокліматичних умов у новітніх металевих зерносховищах.

1.1 Систематика та видовий склад ентомокомплексу шкідників продукції запасів

Складський ентомокомплекс є поліфілетичним угрупованням із домінуванням рядів *Coleoptera* та *Lepidoptera*. За характером експлуатації субстрату виділяють дві трофічні групи: первинні шкідники — деструктори цілого зерна (*Sitophilus granarius* L., *S. oryzae*, *S. zeamais*, *Rhyzopertha dominica*) та вторинні шкідники — споживачі пошкодженої продукції (*Tribolium castaneum*, *T. confusum*, *Oryzaephilus surinamensis*, *Lasioderma serricorne*). В умовах європейських зерносховищ понад 85% популяції формують вказані види з піком активності наприкінці літа [41].

Центральне місце в ентомокомплексі посідає комірний довгоносик *Sitophilus granarius* L. (ряд *Coleoptera*, родина *Curculionidae*, підродина *Baridinae*). Морфологічно вид характеризується наявністю рострума (головотрубки), колінчастими вусиками з булавою та 5-членниковими лапками. Головною адаптивною ознакою *S. granarius*, що відрізняє його від *S. oryzae* та *S. zeamais*, є редукція задніх крил, яка зумовлює нездатність до польоту та

стаціонарний характер інфестації. Вид є спеціалізованим синантропним космополітом, здатним спричинити втрату 20–90% маси сухої речовини зерна [30].

1.2 Морфолого-біологічна характеристика комірнього довгоносика

Імаго *Sitophilus granarius* L. (родина *Curculionidae*) має довжину тіла 3–4 мм. Забарвлення кутикули в процесі склеротизації змінюється від світло-бурого до темно-коричневого або чорного. Ключовими діагностичними ознаками екзоскелету є пронотум із подовженими ямками та елітри з глибокими поздовжніми борозенками. Голова витягнута у циліндричний роstrум, який у самок анатомічно довший і тонший. Головною еволюційною адаптацією до синантропного існування є повна редукція задніх крил та зрощення надкрил, що зумовлює нездатність до польоту.

Преімагінальні стадії розвиваються за типом прихованої інфестації. Самка висвердлює роstrумом канал в ендоспермі зернівки, відкладає яйце та герметизує отвір секреторною пробкою. Подальший онтогенез протікає виключно всередині зерна. Личинка С-подібна, безнога, з чіткою склеротизованою головною капсулою; лялечка відкритого типу. Після метаморфозу молоде імаго залишається в ендоспермі до повної пігментації кутикули, після чого виходить назовні через прогризений круглий отвір.

Динаміка онтогенезу *Sitophilus granarius* L. детермінується абіотичними чинниками та якістю кормового субстрату. За оптимальних умов (температура 24–26 °C, відносна вологість 75 %) тривалість розвитку від яйця до імаго становить 34–36 діб за рівня виживання понад 80 %. Репродуктивний потенціал обернено пропорційний твердості ендосперму: на високотвердих сортах пшениці плодючість шкідника та індекс чутливості зерна достовірно знижуються порівняно з м'якими сортами.

1.3 Вплив абіотичних факторів на динаміку популяцій (температура, вологість).

Динаміка розвитку *Sitophilus granarius* L. детермінується переважно гідротермічним режимом субстрату. Температурний оптимум для виду становить 24–28 °C; за таких умов тривалість розвитку генерації є мінімальною (8–9 тижнів). Нижній поріг розвитку фіксується на рівні 10–12 °C, нижче якого комахи впадають у стан оборотного холодового заціпеніння. Верхній тепловий поріг становить 35–38 °C; тривала експозиція за цих температур викликає денатурацію білків, втрату вологи та 100% смертність преімагінальних та імагінальних стадій шкідника.

Гідратація кормового субстрату є лімітуючим чинником онтогенезу, оскільки вода з ендосперму є єдиним джерелом метаболічної вологи для личинок. Оптимальна вологість зерна для *S. granarius* становить 14–17%. Зниження вологості до критичного мінімуму в 10–12% призводить до незворотної десикації (зневоднення) яєць та личинок через гострий осмотичний стрес. Крім того, підвищена вологість зменшує механічний опір тканин ендосперму, полегшуючи самкам висвердлювання яйцекладних каналів.

У процесі інтенсивного аеробного дихання та живлення комах виділяється значна кількість метаболічного тепла та вологи. В умовах низької теплопровідності зернового насипу це призводить до виникнення локальних осередків самозігрівання («теплих вогнищ»). Такий автономний мікроклімат дозволяє шкіднику підтримувати високий рівень репродукції навіть у зимовий період, одночасно стимулюючи розвиток токсигенних пліснявих грибів.

1.4 Трофічні зв'язки (залежність від видів зернових культур)

Sitophilus granarius L. є вузькоспеціалізованим синантропним олігофагом, розвиток якого жорстко лімітований наявністю насіння злакових культур. Фундаментальною основою трофічного зв'язку є асиміляція крохмально-білкового комплексу ендосперму. Крохмаль виступає головним джерелом енергії для преімагінальних стадій, тоді як білкові фракції (альбуміни

та глобуліни) функціонують як фактори резистентності. Вміст крохмалю позитивно корелює з чисельністю потомства, а висока концентрація загального білка в окремих сортах пшениці зумовлює їхню природну стійкість до шкідника.

Етологічним маркером при виборі оптимального субстрату є геометрія зернівки та маса 1000 зерен (TKW). Самки віддають перевагу великорозмірним зернівкам, що гарантує достатній об'єм поживних речовин для повного циклу розвитку личинки та запобігає вичерпанню кормової бази до моменту заляльковування. Сорти з високою TKW забезпечують максимальний популяційний приріст на одиницю маси продукції

Згідно з результатами комплексних досліджень Kordan et al. (2023), фізико-механічні параметри зернівки суттєво визначають інтенсивність розвитку комірнього довгоносика. Встановлено пряму залежність між твердістю ендосперму та загальною резистентністю культури. Так, високотверді (склоподібні) сорти Speedway та Julius продемонстрували найвищий опір та найнижчі показники індексу сприйнятливості зерна (8,62%), що надійно стримує ембріональний та постембріональний розвиток шкідника. Натомість борошнисті сорти, зокрема Askalon, виявилися найбільш вразливими до інфестації (індекс сприйнятливості 10,55%), забезпечуючи ідеальне середовище для швидкого демографічного спалаху популяції фітофага.

Розділ 2. Матеріали, умови та методики проведення досліджень

Методологічна база даного дослідження ґрунтується на комплексному поєднанні регламентованих державних стандартів України та сучасних світових підходів до оцінки сортової стійкості зернових культур. Визначення базових фізико-хімічних показників якості зерна, зокрема вмісту білка, крохмалю та вологості, здійснювалося методом інфрачервоної спектроскопії відповідно до нормативних вимог ДСТУ 4117:2007. Ентомологічна експертиза модельних субстратів на наявність явної та прихованої зараженості шкідниками запасів проводилася згідно з протоколами ДСТУ 5020:2008, розробленого фахівцями Національного університету біоресурсів і природокористування України. При цьому для виявлення прихованої інфестації застосовувалися регламентовані стандартом індикативні підходи, зокрема нінгідриновий та акустичний методи. З метою забезпечення поглибленого аналізу трофічних преференцій та комплексної кількісної оцінки взаємодії шкідника з кормовим субстратом, у методологію дослідження було впроваджено розрахунок індексу сприйнятливості зерна (Susceptibility Index, S.I.) та оцінку параметрів репродуктивного потенціалу комах, адаптованих за останніми науковими даними світової практики [37].

2.1. Умови та місце проведення досліджень

Експериментальна частина роботи та виробничий моніторинг здійснювалися протягом 2025–2026 років на базі сучасного елеваторного комплексу ТОВ «УБА-АГРОСВІТ», розташованого у Броварському районі Київської області. Технічний стан об'єкта та організація контролю якості зерна відповідають нормативним вимогам ДСТУ 5020:2008 щодо споруд, призначених для тривалого зберігання та проведення ентомологічних експертиз зернових мас.

Дослідження проводилися на території Броварського району Київської області. Клімат району є помірно-континентальним, із середньорічною кількістю опадів 600–650 мм та помірною відносною вологістю повітря в межах

70–75 %. Ґрунтовий покрив бази досліджень представлений переважно дерново-підзолистими та темно-сірими лісовими ґрунтами, які є типовими для цієї частини Київщини та сприятливими для вирощування основної кормової бази шкідника — озимої пшениці. Сучасна тенденція до глобального потепління та переважання м'яких малосніжних зим у Київській області суттєво впливають на фітосанітарний стан зерносховищ. Такі метеорологічні умови сприяють успішній перезимівлі та збереженню високого репродуктивного потенціалу популяцій комірною довгоносіка (*Sitophilus granarius* L.), мінімізуючи вплив холодової депресії на комах у незахищених конструкціях елеватора.

Зберігання озимої пшениці на підприємстві здійснюється у металевих силосах великої місткості. Екологічна специфіка таких зерносховищ визначається високою теплопровідністю металевих стінок, що зумовлює швидку реакцію зернового насипу на зміну зовнішньої температури. Внаслідок значних добових та сезонних коливань температур у силосах виникають явища термовологодифузії та конденсації вологи, що створює оптимальний гідротермічний фон для розвитку шкідника. Подібна дестабілізація мікроклімату часто призводить до виникнення осередків самозігрівання зерна, де активність *Sitophilus granarius* L. набуває лавиноподібного характеру.

Контроль гідротермічного режиму та фітосанітарний моніторинг партій зерна проводилися відповідно до регламентів ДСТУ 5020:2008. Для оперативного відстеження динаміки температури у всьому об'ємі силосу використовувалися стаціонарні системи дистанційної термометрії (цифрові термopідвіски), що дозволяли фіксувати найменші відхилення у різних горизонтах насипу. Визначення вологості субстрату здійснювалося за допомогою сертифікованих переносних електронних вологомірів. Застосування вказаного інструментарію забезпечило високу точність фіксації екологічних параметрів середовища та дозволило об'єктивно оцінити розвиток шкідника у реальних виробничих умовах.

2.2. Методика проведення обліків шкідників запасу.

Експериментальні дослідження проводилися у двох напрямках: лабораторне моделювання популяційних процесів шкідника та виробничий моніторинг в умовах зерносховищ ТОВ «УБА-АГРОСВІТ». Для вивчення репродуктивного потенціалу та сортової стійкості використовували лабораторні садки із зерном озимої пшениці масою 1 кг. Штучне інфікування здійснювали шляхом підселення імаго *Sitophilus granarius* L. з розрахунку 10 пар на 1 кг субстрату.

Відбір проб для виробничого моніторингу здійснювали відповідно до регламентів ДСТУ 5020:2008 «Зерно. Методи визначення зараженості шкідниками». Від кожної партії відбирали об'єднану пробу масою 2 кг, яку піддавали комплексному ентомологічному аналізу.

Визначення явної зараженості (механічний метод). Для детекції імаго шкідника застосовували метод механічного просіювання. Наважку зерна пропускали крізь набір лабораторних сит із діаметром отворів 1,5 мм та 2,5 мм. Процес просіювання тривав 2 хвилини при частоті 120 рухів на хвилину. Вміст сит аналізували за допомогою зернової лупи (збільшення 5–10х); виявлених жуків *S. granarius* L. підраховували для визначення щільності заселення (екз./кг).

Визначення прихованої зараженості. Для виявлення ендегенних преімагінальних стадій (яйце, личинка, лялечка) використовували два методи:

1. Хімічний (нінгідриновий) метод: Випадкову вибірку зерен розкладали на фільтрувальному папері, змоченому 1% розчином нінгідрину, та розчавлювали. Вільні амінокислоти гемолімфи комах вступали в реакцію з індикатором, утворюючи характерні пурпурно-червоні плями, кількість яких дозволяла екстраполювати рівень інфестації.
2. Фізичний (акустичний) метод: Використовувався для неруйнівної детекції мікроакустичних емісій (шумів), що генеруються личинками під час живлення всередині зернового насипу.

Аналіз та статистична обробка даних. Для об'єктивної оцінки трофічних преференцій розраховували індекс сприйнятливості зерна (S.I.), який інтегрує швидкість метаморфозу та кількість нащадків. Отримані масиви цифрових даних обробляли методом однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) за допомогою програмних пакетів MS Excel та Statistica. Оцінку істотності різниць між середніми значеннями здійснювали за допомогою HSD-критерію Тьюкі при рівні статистичної значущості $p < 0,05$.

РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНІ ТА ТРОФІЧНІ ДЕТЕРМІНАНТИ РОЗВИТКУ ШКІДНИКА В УМОВАХ ГОСПОДАРСТВА

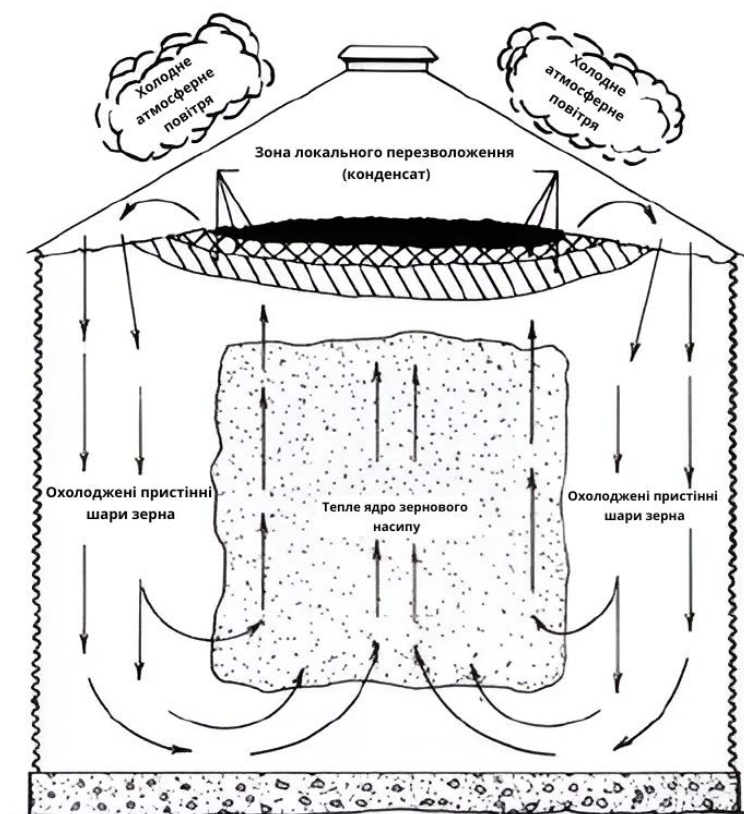
У цьому розділі наведено результати аналізу мікрокліматичних умов металевих зерноскладів ТОВ «УБА-АГРОСВІТ», подано розроблені фенологічні моделі онтогенезу шкідника та здійснено емпіричну оцінку його репродуктивного потенціалу на різних сортах озимої пшениці.

3.1. Характеристика бази досліджень та природно-кліматичних умов регіону

Практична частина досліджень проводилась на базі товариства з обмеженою відповідальністю «УБА-АГРОСВІТ», що розташоване у селі Волошинівка Броварського району Київської області. Данний суб'єкт господарювання працює як потужний агропромисловий вузол Лісостепової зони України, забезпечуючи повний технологічний цикл від вирощування до довготривалого зберігання та реалізації значних партій зернових культур. Стратегічне значення для господарства має озима пшениця (*Triticum aestivum* L.), яка завдяки високому генетичному потенціалу та інтенсивним технологіям вирощування характеризується високими показниками склоподібності та вмісту білка, що робить її цінним, але водночас вразливим трофічним субстратом для комірних шкідників.

Технічна інфраструктура комплексу ТОВ представлена сучасними металевими силосами великої місткості, які інтегровані у єдину автоматизовану систему управління. Конструктивні особливості цих споруд дозволяють здійснювати безперервний дистанційний моніторинг температури зернового насипу за допомогою термopідвісок, розташованих у різних ярусах силосу. Попри високий рівень автоматизації, експлуатація сталевих резервуарів має деякі технічні недоліки, зумовлених специфікою матеріалу. Висока теплопровідність металевих стінок спричиняє швидке нагрівання або охолодження зерна.

Фізика процесу зберігання у металевих конструкціях визначається явищами термовологопровідності, що виникають внаслідок значних температурних градієнтів між пристінними шарами зерна та його внутрішнім ядром. Вдень під впливом сонячного світла стінки силосу нагріваються, передаючи тепло прилеглим шарам субстрату, а вночі відбувається швидке охолодження. Це провокує конвекційний рух міжзернового повітря та спричиняє рух від теплих до холодних ділянок. Під час контакту теплого повітря з охолодженою металевою поверхнею або холоднішим зерном, досягається «точка роси» і утворюється конденсат. Крапельна волога, стікаючи по стінках або накопичуючись у верхньому шарі насипу, викликає перезволоження, яке стає головним чинником мікрофлори та шкідників.



[Рисунок 3.1 Схема температурних градієнтів та міграції вологи у металевому силосі]

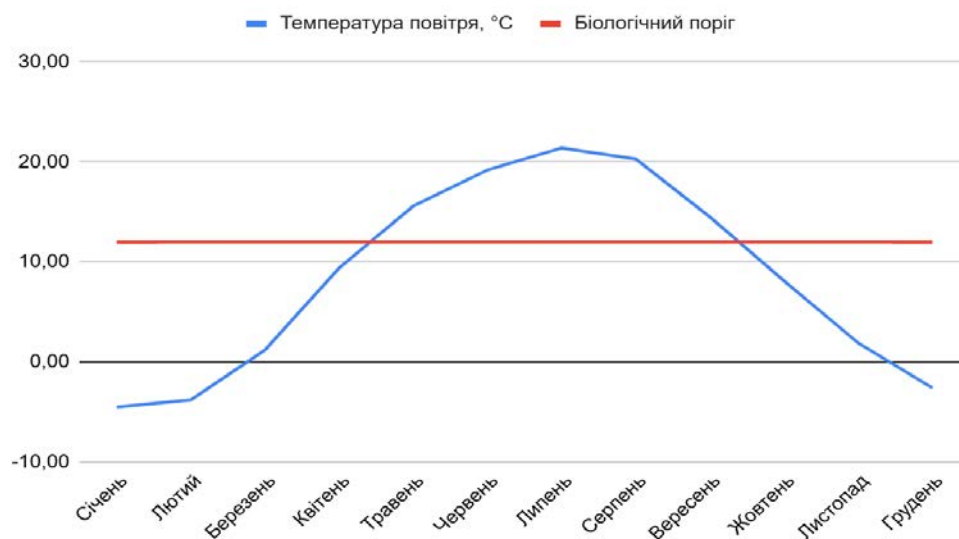
Аналіз представленої схеми (рис. 3.1) дає змогу побачити зони ризику, де найімовірніше виникнення осередків самозігрівання та первинної інфестації. Найбільш небезпечними є верхній шар зернового насипу («шапка») та зони безпосереднього контакту зерна з металевими стінками, де коливання температури є найбільшими. Саме в цих ділянках внаслідок конденсації водяної пари з'являються умови для *Sitophilus granarius* L. навіть у періоди, коли загальна температура основної маси зерна залишається субоптимальною. Таким чином, мікрокліматична нестабільність металевих силосів виступає каталізатором екологічних процесів, що сприяють швидкому переходу шкідника з латентного стану до фази масового розмноження.

Кліматичний фон Броварського району, що територіально належить до зони Північного Лісостепу, виступає базовим екзогенним чинником, який детермінує інтенсивність біологічних процесів у зерносховищах ТОВ

«УБА-АГРОСВІТ». Регіон характеризується помірно-континентальним кліматом із вираженими сезонними коливаннями. Середньорічна температура повітря в районі досліджень варіює в діапазоні $+7,5...+8,5$ °C, що за умови сталого зберігання зерна створює специфічний температурний режим у металевих конструкціях. Середній показник відносної вологості повітря становить 70–75 %, проте у періоди літніх максимумів цей параметр може суттєво знижуватися, підсилюючи випаровування вологи з поверхневих шарів зернового насипу.

Аналіз кореляції кліматичних показників із біологією *Sitophilus granarius* L. дозволяє встановити критичні періоди фітосанітарного ризику. Біологічний мінімум активного онтогенезу комірною довгоносику становить приблизно $+12$ °C. При досягненні цього температурного порогу в міжзерновому просторі силосів припиняється стан холодового заціпеніння ініціальної популяції та починається активне живлення і репродукція шкідника. Зважаючи на динаміку середньомісячних температур, період прямої загрози масового розмноження у відкритому середовищі триває з травня по вересень, проте у закритих екосистемах металевих силосів цей інтервал значно розширюється за рахунок акумуляції тепла.

[Рисунок 3.2. Порівняння середньомісячних температур повітря з біологічним мінімум розвитку шкідника]



Графічний аналіз (рис. 3.2) демонструє, що умови Північного Лісостепу є оптимальними для розвитку шкідника протягом 5–6 місяців на рік. Однак критична небезпека полягає у сукупній дії зовнішнього клімату та фізичних властивостей металевих силосів, що призводить до автономного підвищення температури в зерновій масі. Внаслідок інтенсивного дихання комах та супутньої мікрофлори у вологих зонах генерується екзогенне тепло, яке через низьку термічну інертність металу та явища термовологопровідності не розсіюється, а сприяє формуванню стійких осередків самозігрівання. Це дозволяє *Sitophilus granarius* L. підтримувати високий репродуктивний потенціал навіть у глибокий осінній період, коли зовнішньокліматичні умови стають несприятливими, що вимагає безперервного фітосанітарного контролю незалежно від сезону.

3.2. Видовий склад та екологічна структура ентомокомплексу шкідників запасів ТОВ «УБА-АГРОСВІТ»

Систематичний ентомологічний моніторинг зернових мас озимої пшениці, що перебували на тривалому зберіганні у металевих силосах ТОВ «УБА-АГРОСВІТ» (Броварський район), дозволив встановити формування

специфічного та стійкого біоценозу. Умови закритого простору силосів, наявність потужної кормової бази та специфічний мікроклімат сприяють колонізації субстрату спеціалізованими шкідливими організмами. Виявлений під час обстежень ентомокомплекс представлений переважно синантропними видами комах, що належать до різних таксономічних груп, зокрема до рядів Coleoptera та Lepidoptera.

Екологічна структура досліджуваного угруповання характеризується наявністю видів із різною трофічною спеціалізацією. Значну частку серед виявлених комах становлять типові поліфаги, здатні житися не лише цілим або битим зерном, але й борошняним пилом та іншими органічними залишками. На основі показників чисельності та частоти зустрічальності у відібраних пробах, ідентифіковані комахи були чітко розподілені на домінантні та субдомінантні види.

Аналіз даних таблиці свідчить про те, що абсолютним лідером за рівнем поширення у металевих силосах є комірний довгоносик (*Sitophilus granarius* L.), який виступає головним домінантним видом у даному біоценозі. Його висока частота зустрічальності пояснюється здатністю імаго та личинок житися цілим, неушкодженим зерном із високою твердістю ендосперму, що робить його первинним руйнівником субстрату.

Інші представники ряду Coleoptera, такі як малий борошняний хрущак та борошноїди, класифікуються як субдомінантні види. Вони є переважно вторинними шкідниками та типовими поліфагами, життєдіяльність яких активізується вже після первинної руйнації зернівок довгоносом. Представники ряду Lepidoptera, зокрема південна комірنا вогнівка, характеризуються найнижчою частотою зустрічальності у загальній масі, оскільки їхня активність зосереджена здебільшого у поверхневому шарі зернового насипу, де забезпечується достатній простір для льоту імаго.

Окрім показників частоти зустрічальності, важливим критерієм оцінки біоценозу є кількісне співвідношення видів у загальній масі ентомокомплексу.

Графічний розподіл часток домінантних та субдомінантних видів наведено на рисунку 3.3.



За характером живлення, морфологічними особливостями ротового апарату та здатністю пошкоджувати насіннєві оболонки, всі ідентифіковані види чітко розподіляються на дві ключові трофічні групи. До першої групи належать первинні шкідники, єдиним представником яких у досліджуваному угрупованні є комірний довгоносик. Завдяки добре розвиненому гризучому ротовому апарату (головотрубці) цей вид здатний прогризати міцні, неушкоджені оболонки цілого зерна, ініціюючи процес руйнації навіть сортів із високою твердістю ендосперму. Другу, більш численну за видовим складом, але меншу за загальною часткою групу формують вторинні шкідники. До неї віднесено малого борошняного хрущака (*Tribolium confusum* Duv.), рудого коротковусого борошноїда (*Cryptolestes ferrugineus* Steph.) та суринамського борошноїда (*Oryzaephilus surinamensis* L.). Представники цієї групи не здатні самостійно пошкоджувати ціле, інтактне зерно, тому їхня трофічна база формується виключно з битого та травмованого зерна, відкритого ендосперму, зародкових частин насінини, а також зернового і борошняного пилу.

Формування такого багаторівневого ентомокомплексу супроводжується формуванням тісних консортивних зв'язків між його учасниками, що закономірно зумовлює глибокі сукцесійні зміни у зерновому насипі. Комірний

довгоносик, виступаючи як первинний деструктор, не лише безпосередньо знищує зернівки та зменшує їхню масу, але й кардинально трансформує мікрокліматичне середовище. У процесі інтенсивного живлення та переміщення імаго утворюється значна кількість борошняного пилу, а активне клітинне дихання прихованих личинок призводить до виділення метаболічної вологи та акумуляції тепла в міжзерновому просторі. Ці процеси створюють ідеальне просторове, температурне та трофічне середовище, яке слугує тригером для спалаху чисельності вторинних шкідників. Таким чином, первинна руйнівна діяльність довгоносика експоненційно розширює трофічну базу для субдомінантів. Це дозволяє максимально реалізувати загальний біотичний потенціал усього складського угруповання та призводить до прискореної, каскадної деградації збереженої партії озимої пшениці.

3.3. Фенологія та сезонна динаміка розвитку комірнього довгоносика (*Sitophilus granarius* L.) в умовах зерноскладу

У системі екологічних координат, що визначають життєздатність та динаміку популяцій складського ентомокомплексу, температура виступає ключовим абіотичним чинником, який безпосередньо детермінує інтенсивність метаболічної активності, швидкість проходження всіх стадій онтогенезу та загальний рівень шкодочинності фітофагів. Як було встановлено у попередньому підрозділі, специфічні умови зберігання озимої пшениці в металевих силосах ТОВ «УБА-АГРОСВІТ» у літній період (травень–вересень) супроводжуються інтенсивною сонячною інсоляцією. Це призводить до суттєвого нагрівання огорожувальних конструкцій та формування всередині зернового насипу температурного фону, що значно перевищує біологічний мінімум для розвитку головного домінантного виду — комірнього довгоносика (*Sitophilus granarius* L.).

Для кількісної оцінки впливу термічного режиму на темпи відтворення шкідника та прогнозування ризиків інфестації було узагальнено дані щодо тривалості онтогенезу *Sitophilus granarius* L. за різних значень температури

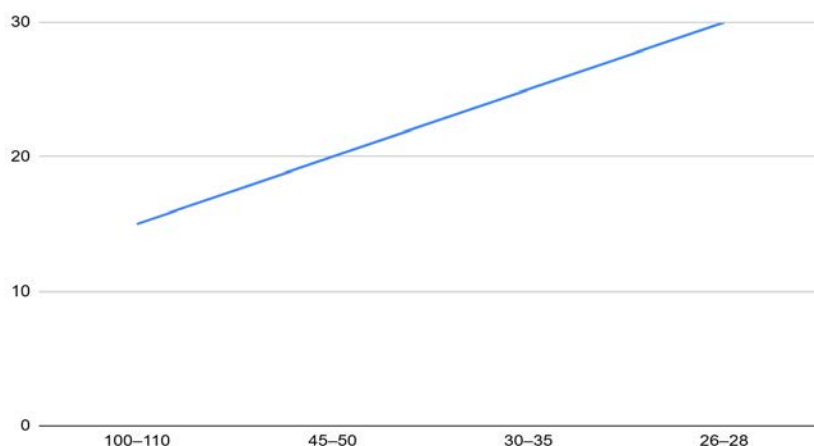
навколишнього середовища. Отримані результати, що систематизовані у таблиці 3.3, демонструють чітку нелінійну залежність між рівнем теплової енергії субстрату та часом, необхідним для завершення повної генерації комах.

Таблиця 3.3 – Тривалість повної генерації *Sitophilus granarius* L. залежно від температурного режиму

Температура повітря, °C	Тривалість розвитку (від яйця до імаго), діб
15	100–110
20	45–50
25	30–35
30	26–28

Аналіз наведених даних свідчить про експоненційне прискорення біологічних процесів при підвищенні температури від біологічного мінімуму до оптимальних значень. Зокрема, при температурі +15 °C розвиток одного покоління триває понад три місяці, що суттєво обмежує демографічний тиск на зернову масу в холодні періоди року. Проте при досягненні показника +25...+30 °C, що є типовим для пристінних зон металевих силосів ТОВ «УБА-АГРОСВІТ» у літній період, тривалість онтогенезу скорочується майже в чотири рази. Зазначена динаміка також візуалізована на рисунку 3.4, де чітко простежується гіперболічна залежність між температурним фактором та часовим вектором розвитку популяції.

Рисунок 3.4 – Залежність тривалості розвитку *Sitophilus granarius* L. від температури навколишнього середовища



Важливим інструментом для прогнозування динаміки популяції в умовах господарства є розрахунок показника «сума ефективних температур» (СЕТ). СЕТ являє собою термодинамічну константу, яка відображає кумулятивну кількість тепла, вище біологічного порогу ($+12^{\circ}\text{C}$), необхідну для завершення розвитку однієї генерації. Враховуючи, що для *Sitophilus granarius* L. цей показник є відносно сталим, аналіз фактичних температурних даних у силосах дозволяє з високою точністю встановити потенційну кількість поколінь шкідника протягом літньо-осіннього сезону. В умовах металевих зерносховищ ТОВ «УБА-АГРОСВІТ», де спостерігається інтенсивна сонячна інсоляція та явища термовологопровідності, сума ефективних температур накопичується значно швидше, ніж у типових підлогових складах, що створює передумови для формування додаткової генерації шкідника наприкінці сезону.

Таблиця 3.4 – Фенологічний календар розвитку комірної довгоносики в умовах металевих силосів

Ста дія розв итк у	Січе нь	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
Яйц е	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Лич инк а	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Лял ечка	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Імаг о	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Екологічна детермінація розвитку температурою безпосередньо корелює з рівнем шкодочинності фітофага. Підвищення температури в межах оптимальних значень провокує стрімке зростання метаболічних потреб організму, що проявляється у різкій активізації трофічної діяльності (ненажерливості) як личинок, так і імаго. Личинки, розвиваючись усередині зернівки за умов підвищених температур, споживають значно більший об'єм ендосперму за одиницю часу для підтримання інтенсивного газообміну та енергетичного балансу. Це призводить до критичного зростання показників втрати маси сухої речовини зерна та суттєвого погіршення його біохімічних і

технологічних характеристик. Таким чином, температурний фактор у металевих силосах виступає не лише регулятором чисельності, але й головним каталізатором економічних збитків, зумовлюючи пряму залежність між гідротермічною нестабільністю насипу та швидкістю деградації якісних показників озимої пшениці.

3.4. Динаміка чисельності та репродуктивний потенціал шкідника на різних сортах

Емпіричну оцінку репродуктивного потенціалу комірного довгоноса на різних за склоподібністю типах озимої пшениці наведено на рисунку 3.5.

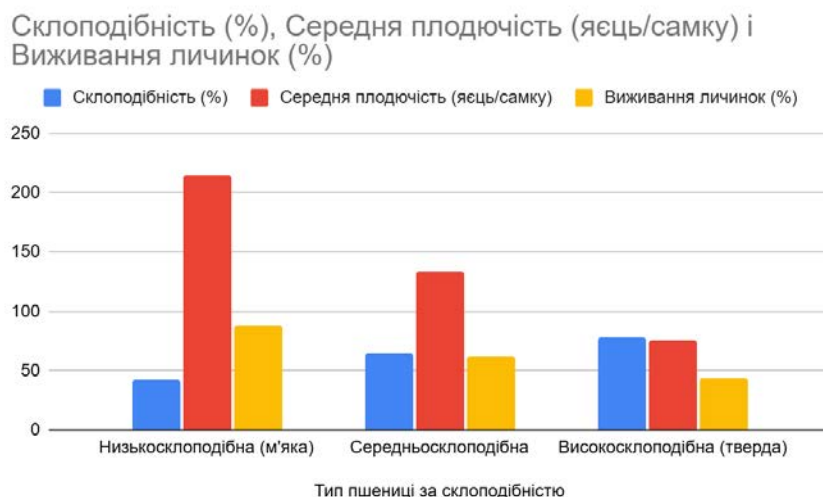


Рисунок 3.5 – Порівняльна характеристика репродуктивного потенціалу *Sitophilus granarius* L. на різних за склоподібністю типах озимої пшениці.

Аналіз візуалізованих даних (рис. 3.5) наочно демонструє обернено пропорційну залежність між рівнем склоподібності зерна озимої пшениці та показниками репродуктивного потенціалу комірного довгоноса. Зокрема, під час розвитку на сортах із низькою склоподібністю (м'яким ендоспермом) шкідник реалізує свій максимальний біотичний потенціал, де середня плодючість сягає 215 яєць на одну самку за високого рівня виживання личинок (88 %). Натомість інфестація високосклоподібної (твердої) пшениці супроводжується стрімким падінням демографічних показників: плодючість

знижується майже втричі (до 76 яєць на самку), а частка успішного виживання преімагінальних стадій скорочується до 44 %. Потужний механічний опір міцної білково-крохмальної матриці твердого ендосперму під час спроб його прогризання змушує самку витрачати неадекватно велику кількість енергії порівняно з отриманими поживними речовинами.

Такий гострий енергетичний дисбаланс достовірно знижує загальну плодючість популяції, скорочує період активного імагінального життя та зменшує інтенсивність яйцекладки. Окрім того, надмірна щільність та твердість крохмальних гранул всередині насінини перешкоджає нормальному живленню і переміщенню личинок молодших віків, що закономірно призводить до значного зниження відсотка їхнього виживання. Як наслідок, загальний репродуктивний потенціал на твердих сортах зазнає різкого, глибокого та стійкого пригнічення. Практичне значення виявлених трофічних та структурних закономірностей для потужних агропромислових вузлів, зокрема ТОВ «УБА-АГРОСВІТ», полягає у можливості цілеспрямованого управління фітосанітарними ризиками без залучення токсикантів. Забезпечення просторової ізоляції та пріоритетного довготривалого зберігання партій зерна, що характеризуються високою генетичною стійкістю (значна склоподібність та гранично низький індекс сприйнятливості), дозволяє експлуатувати властивості самого субстрату для стримування демографічного зростання шкідника. Цей природний екологічний механізм суттєво уповільнює популяційний вибух комах у металевих силосах, максимально відтерміновуючи момент досягнення ними економічного порогу шкодочинності. Завдяки цьому підприємство отримує технологічну можливість оптимізувати терміни зберігання, значно відтермінувати або повністю виключити застосування радикальних хімічних фумігацій, забезпечуючи тим самим високу екологічну та харчову безпеку збереженої продукції.

3.5 Оцінка шкодочинності та втрат маси зерна за прихованої форми зараженості

Кількісні втрати виражаються в абсолютному зменшенні маси сухої речовини внаслідок її асиміляції шкідником. Протягом стадії свого онтогенезу одна личинка *Sitophilus granarius* L. здатна знищити від 30 % до 50 % загальної маси ендосперму окремої зернівки. За відсутності належних заходів контролю рівень втрат маси у зернових запасах може коливатися в межах 20–90 %, залежно від тривалості зберігання та демографічного тиску популяції шкідника.

Як видно з даних таблиці 3.5, рівень втрат маси зерна прямо корелює з експозицією зберігання та щільністю заселення субстрату імаго. Прямі кількісні збитки зумовлені не лише фізичним поїданням тканин насінини, а й інтенсивним диханням комах та самого пошкодженого зерна. Внаслідок порушення цілісності оболонок активізуються ферментативні процеси, що призводить до додаткової втрати вуглеводів у формі вуглекислого газу та виділення теплової енергії.

Таблиця 3.5 – Динаміка втрат маси зерна озимої пшениці при різній щільності заселення *Sitophilus granarius* L.

Початкова щільність заселення (імаго/кг)	Втрата маси за експозиції 30 діб, %	Втрата маси за експозиції 60 діб, %	Втрата маси за експозиції 90 діб, %
Низька (10 імаго/кг)	0,4	2,8	6,5
Середня (20 імаго/кг)	0,8	5,2	12,4
Висока (50 імаго/кг)	2,1	10,5	21,3

Якісна деградація зерна пшениці за прихованої форми зараженості супроводжується глибокими біохімічними змінами. Личинки *Sitophilus granarius* L. першочергово виїдають крохмальні гранули, що призводить до різкого зниження виходу борошна та погіршення його хлібопекарських властивостей. Руйнування білкової матриці супроводжується деструкцією клейковинного комплексу: клейковина втрачає пружність та еластичність, стаючи надмірно слабкою. Насіннєві якості пшениці зазнають критичного впливу у випадку пошкодження зародка або вичерпання запасів ендосперму. Інфестація безпосередньо призводить до зниження лабораторної схожості та енергії проростання. Зерно втрачає кондиційність як посівний матеріал, оскільки пошкоджений ендосперм не здатен забезпечити нормальний розвиток вегетуючих органів на перших етапах органогенезу.

Окрім фізичного знищення біомаси, *Sitophilus granarius* L. викликає небезпечну контамінацію зерна. У внутрішніх порожнинах пошкоджених зернівок накопичуються: екскременти (фрасс); линкові шкурки (екзувії) личинок та лялечок; трупи особин, що загинули на преімагінальних стадіях; сечова кислота.

Наявність фрагментів комах та продуктів їхнього метаболізму робить зерно токсичним. Сечова кислота підвищує кислотне число жиру, що прискорює прогіркання. Забруднення такої продукції призводить до її переведення в нижчі фуражні класи або до повної декласифікації з утилізацією.

Зберігання пшениці в металевих силосах ТОВ «УБА-АГРОСВІТ» створює специфічні умови для посилення шкодочинності шкідника. Внаслідок життєдіяльності жуків утворюється значна кількість борошняного пилу, а метаболічні процеси супроводжуються виділенням вологи. У металевих ємностях це швидко призводить до утворення локальних осередків самозігрівання. Пошкодження зерна виступає тригером для росту пліснявих грибів та накопичення мікотоксинів. Підвищення вологості та температури в осередках життєдіяльності довгоносики провокує лавиноподібне розмноження

вторинних шкідників (борошноїдів, хрущаків). Цей синергічний ефект багаторазово збільшує сумарні втрати продукції порівняно з первинною шкодою від комірного довгоносика, вимагаючи негайного застосування превентивних та винищувальних заходів контролю.

РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ОБМЕЖЕННЯ ЧИСЕЛЬНОСТІ КОМІРНОГО ДОВГОНОСИКА

Глобальні втрати зерна від життєдіяльності комірних шкідників складають близько 10–15 % річного світового виробництва, що становить критичну загрозу для продовольчої безпеки. Комірний довгоносик (*Sitophilus granarius* L.) історично є одним із найбільш небезпечних та поширених первинних шкідників запасів, чия здатність до прихованого розвитку всередині ендосперму спричиняє значні кількісні та якісні збитки по всьому світу. Десятиліттями контроль чисельності цього спеціалізованого складського ентомокомплексу базувався переважно на масовому застосуванні синтетичних інсектицидів. Однак сучасна наукова та виробнича практика переконливо свідчить, що тотальна хімізація зумовлює серйозні ризики для здоров'я людини, спричиняє забруднення довкілля та, що найважливіше, провокує стрімкий розвиток генетичної стійкості (резистентності) у шкідників до загальноприйнятих фумігантів, зокрема до препаратів на основі фосфіну [37].

З огляду на ці глобальні виклики, виникає гостра необхідність переходу до концепції інтегрованої системи захисту рослин (IPM). У межах цієї комплексної стратегії пріоритетне використання природної сортової стійкості зернових культур у синергії з інноваційними фізико-механічними методами контролю розглядається як екологічно безпечна та економічно доцільна альтернатива традиційним хімікатам [37]. Отримані у Розділі 3 результати емпіричної оцінки сприйнятливості різних генотипів озимої пшениці до інфестації комірним довгоносом, що базуються на сучасній методології [37], є ключовим елементом для розробки такої багаторівневої стратегії захисту. Глибоке розуміння того, як фізико-механічні бар'єри та біохімічний профіль ендосперму обмежують репродуктивний потенціал шкідника на стійких сортах, дозволяє оптимізувати просторове розміщення партій зерна у сховищах, прогнозувати демографічну динаміку популяції та раціонально планувати черговість технологічної переробки врожаю.

Водночас практична реалізація та загальна ефективність будь-яких заходів у системі інтегрованого захисту є абсолютно неможливою без організації безперервного та високоточного моніторингу стану зернової маси. Своєчасне виявлення як явної, так і прихованої форм зараженості повинно здійснюватися неухильно та із застосуванням регламентованих методів відповідно до чинних державних стандартів[7]. Оскільки інтенсивність розмноження шкідника та ймовірність виникнення вогнищ самозігрівання жорстко корелюють із базовими характеристиками субстрату, такий ентомологічний контроль має в обов'язковому порядку доповнюватися оперативним аналізом якісних показників зерна з використанням методів інфрачервоної спектроскопії [6]. Забезпечення зазначеного комплексного підходу, що об'єднує інструментальний моніторинг, використання сортової резистентності та суворе дотримання технологічних нормативів, створює надійну науково-практичну основу для системного обмеження чисельності комірного довгоносика на підприємствах зернопереробної галузі.

4.1. Превентивні заходи у складських приміщеннях

Ефективність системи захисту зернових запасів від ентомологічного пошкодження першочергово базується на впровадженні комплексу превентивних заходів, спрямованих на створення несприятливих умов для заселення та розвитку шкідників. У межах технологічного циклу зберігання особлива увага приділяється санітарно-гігієнічному стану складських приміщень ще до моменту завантаження зерна нового врожаю. Передбачається обов'язкове проведення ретельної механічної зачистки складів, яка включає видалення залишків старого зерна, зміток, пилу та рослинних решток з усіх конструктивних елементів приміщення: стін, підлоги, опорних балок, систем вентиляції та заглиблень у підлогових каналах. Згідно з вимогами ДСТУ 5020:2008, така процедура є критично необхідною для повної ліквідації потенційних осередків розмноження шкідників, оскільки навіть незначні залишки органічного субстрату можуть містити популяції комах на різних

стадіях їхнього онтогенезу — від яєць та личинок до імаго. Своєчасна дезінсекція та механічна обробка дозволяють нівелювати ризик первинної інфестації, що є базовою умовою збереження якісних показників продукції протягом тривалого періоду.

Важливим етапом превентивного контролю є процедура вхідного моніторингу кожної партії зерна, що надходить на зберігання. Процес розпочинається з детальної регламентованої методики відбирання проб, яка здійснюється відповідно до положень розділу 4 ДСТУ 5020:2008. Передбачено використання спеціалізованих пробовідбірників (механічних або ручних щупів), що дозволяють отримати репрезентативні виїмки з різних шарів зернового насипу. Сформована об'єднана проба підлягає ретельному візуальному огляду, під час якого оцінюється стан тари (у разі мішкового зберігання) та поверхні зернової маси на наявність живих метеликів, жуків або личинок. Особлива увага приділяється виявленню павутинних тенет, екскрементів комах та пошкоджених зернівок, що може свідчити про початок деградації субстрату. Візуальний контроль транспортних засобів та інвентарю також є невід'ємною частиною вхідного аналізу, оскільки це дозволяє запобігти занесенню шкідників із зовнішніх джерел.

Вхідний моніторинг на наявність явної та прихованої зараженості здійснюється методами згідно з ДСТУ 5020:2008, які були детально описані у розділі 2.

Паралельно з ентомологічною експертизою здійснюється оперативний аналіз якісного стану зерна, що ґрунтується на застосуванні сучасних фізико-хімічних методів. Обґрунтованим є використання інфрачервоної спектроскопії згідно з нормами ДСТУ 4117:2007 для швидкого визначення ключових показників — вологості та вмісту білка. Встановлено, що контроль вологості субстрату є першочерговим превентивним заходом у системі захисту від комірного довгоносика (*Sitophilus granarius* L.). Це пояснюється біологічними особливостями даного виду, оскільки рівень гідратації ендосперму безпосередньо визначає придатність зерна для його

життєдіяльності. Висока вологість (понад 14–15%) сприяє розм'якшенню оболонки зернівки, полегшуючи процес яйцекладки та інтенсифікуючи розвиток личинок. Натомість підтримання вологості на рівні нижче 12% призводить до фізіологічного пригнічення популяції та суттєвого зниження її репродуктивного потенціалу. Таким чином, інтеграція інструментального аналізу за ДСТУ 4117:2007 у систему складського моніторингу дозволяє не лише оцінювати харчову цінність продукції, але й прогнозувати ризики ентомологічної загрози, забезпечуючи надійну превентивну стратегію обмеження чисельності шкідників.

Комплекс інструментального моніторингу органічно доповнюється стратегічним плануванням розміщення зернових партій на основі показників їхньої природної резистентності, що є фундаментальним превентивним заходом. Спираючись на результати досліджень D'Isita et al. (2024), сучасна стратегія зберігання передбачає обов'язкове просторове та логістичне розділення сортів озимої пшениці залежно від їхньої вразливості до пошкодження комірним довгоносом. Партії зерна, що належать до генотипів із високими показниками механічної твердості ендосперму (Hardness) та мінімальним значенням індексу сприйнятливості (S.I.), класифікуються як високорезистентні. Формування міцних фізико-хімічних бар'єрів у таких зернівках критично уповільнює процес яйцекладки та пригнічує розвиток личинок. Відповідно, такі сорти отримують абсолютний пріоритет для довготривалого зберігання в умовах складських приміщень без залучення додаткової хімічної обробки. Натомість чутливі сорти з борошністим ендоспермом підлягають ізолюваному короткостроковому зберіганню або негайному спрямуванню на технологічну переробку, що унеможливорює створення сприятливих умов для масової генерації шкідника.

Системне впровадження описаних превентивних заходів, що базуються на синергії високоточного моніторингу явної та прихованої зараженості за ДСТУ 5020:2008 і цілеспрямованої експлуатації генетичної стійкості культури, має

глибоке екологічне та технологічне значення. Цей комплексний підхід формує базис сучасної стратегії інтегрованого управління шкідниками (IPM). Своєчасна ідентифікація загроз на початкових етапах інфестації та створення несприятливих умов для розвитку популяції за рахунок фізичних властивостей субстрату дозволяють кардинально скоротити частоту та обсяги застосування синтетичних інсектицидів і токсичних фумігантів. Відмова від превентивної хімічної обробки всієї маси зерна гарантує збереження високої екологічної чистоти харчової сировини, мінімізує негативний антропогенний вплив на довкілля та ефективно запобігає виникненню генетичної резистентності у складського ентомокомплексу, забезпечуючи сталу продовольчу та санітарну безпеку зернопереробної галузі.

4.2. Фізико-механічні та термічні методи контролю

У сучасній системі інтегрованого управління шкідниками запасів фізико-механічні та термічні методи контролю розглядаються як фундаментальна основа екологічно безпечного збереження сільськогосподарської продукції. Ключовим вектором цієї стратегії є цілеспрямований вплив на термодинамічний гомеостаз комах, оскільки комірний довгоносик (*Sitophilus granarius* L.) належить до пойкилотермних організмів, чия загальна метаболічна активність, швидкість проходження онтогенезу та репродуктивний потенціал суворо детермінуються температурою навколишнього середовища. Згідно з нормативними документами, що регламентують методи визначення зараженості шкідниками, чітко встановлено, що при зниженні температури субстрату та повітря у сховищі нижче 10 °C активна життєдіяльність комах повністю припиняється [7]. За таких специфічних термальних умов у популяції шкідника відбувається критичне гальмування ферментативних реакцій, стрімко уповільнюються процеси клітинного дихання, повністю припиняється трофічна активність личинок усередині ендосперму та блокується функціонування гонад у імаго, що унеможливорює подальшу яйцекладку. При подальшому планомірному та

глибокому зниженні температури комахи переходять у стан вимушеного холодового заціпеніння (квієсценції). За умови тривалої експозиції низьких температур відбувається кристалізація вільної води у тканинах та незворотне виснаження накопичених ліпідних резервів організму, що врешті-решт призводить до масової загибелі популяції без застосування будь-яких токсичних хімічних сполук.

Для практичної реалізації описаного біологічного ефекту на сучасних хлібоприймальних та зернопереробних підприємствах широко впроваджується технологія штучного зниження температури зернової маси. Процес надійної консервації холодом здійснюється переважно шляхом активного вентилявання зернового насипу атмосферним повітрям або із застосуванням стаціонарних і мобільних промислових холодильних машин (чилерів). Технологічна операція активного вентилявання атмосферним повітрям найчастіше проводиться у нічний час доби протягом осінньо-зимового періоду, коли фіксуються мінімальні показники температури та оптимальна відносна вологість зовнішнього середовища. Фізика процесу полягає у тому, що холодний повітряний потік під розрахованим тиском нагнітається у стаціонарні вентиляційні канали, розташовані у фундаменті силосів або підлогових складів. Проходячи крізь міжзерновий простір знизу вгору, повітря ефективно поглинає та відводить акумульовану теплову енергію, поступово переміщуючи фронт охолодження. У випадках, коли мінливі кліматичні умови не дозволяють використовувати атмосферне повітря, застосовуються спеціалізовані холодильні установки, які генерують штучно охолоджене та попередньо зневоднене повітря незалежно від зовнішніх погодних факторів. Такий інженерний підхід дозволяє гарантовано та оперативно законсервувати величезні обсяги зернової маси на тривалий термін, повністю унеможливаючи розвиток складського ентомокомплексу та виключаючи необхідність превентивного застосування синтетичних інсектицидів.

Забезпечення високої ефективності термічних методів контролю є абсолютно неможливим без комплексного розуміння та жорсткого управління гідротермічною стабільністю зернового насипу. Температурний фактор постійно перебуває у нерозривному синергетичному зв'язку з вологістю субстрату, утворюючи єдиний гідротермічний режим сховища. Оскільки зернова маса характеризується високою гігроскопічністю та вкрай низькою теплопровідністю, будь-які локальні порушення цього крихкого балансу створюють передумови для розвитку руйнівних фізико-біологічних процесів. Саме тому оперативний та високоточний інструментальний моніторинг базових параметрів якості зерна, насамперед його вологості та вмісту білка, який здійснюється сучасним методом інфрачервоної спектроскопії відповідно до метрологічних вимог [6], є невід'ємною складовою превентивного термічного контролю. Систематичний спектроскопічний аналіз дозволяє персоналу лабораторій без затримок виявляти партії зерна з підвищеною вологістю. Такі партії характеризуються експоненційно вищою інтенсивністю дихання та зниженою механічною міцністю ендосперму, через що вони є найбільш вразливими до первинної інфекції комірним довгоносом. Вчасне виявлення цих відхилень дозволяє миттєво коригувати графіки активного вентилявання та цілеспрямовано охолоджувати проблемні зони.

Належний контроль гідротермічних параметрів спрямований насамперед на запобігання виникненню надзвичайно небезпечного явища — самозігрівання зернової маси. Цей деструктивний автокаталітичний процес ініціюється внаслідок сукупного виділення метаболічного тепла та вологи самим зерном у процесі післязбирального дозрівання, епіфітною мікрофлорою та, що має найвище значення, прихованою популяцією комах. За відсутності своєчасного відведення тепла шляхом активного охолодження, у товщі зернового насипу швидко формуються локальні температурні аномалії — теплові вогнища. Завдяки ізоляційним властивостям навколишнього зерна, такі вогнища функціонують як ідеальні природні інкубатори для шкідників. Навіть за умови

низьких температур навколишнього середовища або у верхніх шарах насипу, всередині такого вогнища створюється та підтримується автономний мікроклімат із температурою понад 25–28 °C та підвищеною вологістю. Це провокує безперервне розмноження комірною довгоносою у зимовий період, що врешті призводить до повної деградації зерна, його злежування та псування. Відповідно, застосування технологій активного вентилявання та штучного охолодження не лише пригнічує фізіологічну активність існуючих особин, але й повністю руйнує саму фізичну основу для формування осередків самозігрівання, забезпечуючи надійну, хімічно безпечну та довготривалу стабілізацію всієї екосистеми зернозберігання.

Поряд із термічним консервуванням, невід'ємним технологічним етапом у системі інтегрованого управління шкідниками є глибоке фізико-механічне очищення зернової маси. Застосування інтенсивної механічної обробки спрямоване на безпосереднє фізичне вилучення імаго, личинок, лялечок, а також продуктів їхньої життєдіяльності (екскрементів, павутиння, линкових шкурок) із загального обсягу збереженої продукції. Процес сепарації здійснюється з використанням високопродуктивних віброцентрофугальних сепараторів та багаторівневих ситових машин. Принцип дії цього обладнання базується на використанні різниці у геометричних розмірах (товщині, ширині) між повноцінною зернівкою та тілом шкідника. Відповідно до параметрів інструментальної детекції явної зараженості, суворо регламентованих нормами [7], для ефективного та повного відділення імаго комірною довгоносою (*Sitophilus granarius* L.) доцільним є використання металотканих або штампованих сит із круглими отворами діаметром від 1,5 до 2,5 мм. Проходження зернової маси через таку систему каліброваних отворів в умовах постійної вібрації дозволяє гарантовано відсіяти вільних комах у підситовий простір. Механічне очищення не лише зменшує поточну чисельність популяції, але й суттєво покращує шпаруватість (шпаристість)

зернового насипу, що оптимізує подальшу ефективність активного вентилявання та охолодження.

Проте застосування виключно ситової сепарації є недостатнім заходом для комплексної санації партії, оскільки цей метод працює лише з явною формою зараженості і не дозволяє ліквідувати фракції з прихованою інфестацією. Ендогенний розвиток преімагінальних стадій комірного довгоносіка протікає глибоко всередині ендосперму, через що габарити пошкодженої зернівки залишаються ідентичними до розмірів здорового зерна, що унеможлиблює їх розділення на ситових решетах. Для вирішення цієї складної технологічної проблеми застосовуються повітряно-ситові сепаратори, оснащені потужними аспіраційними системами (пневмосепарувальними каналами). Принцип вилучення прихованої зараженості базується на різниці аеродинамічних властивостей (швидкості витання) інтактних та пошкоджених зернівок. Личинка, яка активно живиться всередині насінини, знищує значну частину крохмально-білкового комплексу ендосперму, що призводить до критичного зменшення питомої маси та щільності такого зерна, перетворюючи його на легку, порожнисту оболонку. Під час проходження зернової маси через аспіраційну колону, висхідний повітряний потік точно розрахованої швидкості підхоплює та виносить у циклон-осаджувач ці легковагові, уражені шкідником фракції, тоді як важке, здорове зерно долає опір повітря і рухається далі технологічною лінією. Таким чином, аспірація виступає найважливішим інструментом для елімінації найбільш небезпечної, прихованої частини популяції комах.

Слід зазначити, що ефективність застосування інтенсивних фізико-механічних методів обробки безпосередньо залежить від структурно-механічних властивостей самого кормового субстрату. На основі результатів глибоких досліджень стійкості різних генотипів пшениці [7] доведено, що природна механічна міцність зерна (Hardness) є визначальним фактором, який регламентує можливість та інтенсивність механічного

очищення. Під час багаторазового проходження через робочі органи норій, шнеків, ситових та аспіраційних машин зернова маса зазнає колосального динамічного навантаження, що супроводжується інтенсивним тертям та ударами. Сорти озимої пшениці з високим показником твердості (склоподібності) ендосперму здатні витримувати такі жорсткі фізичні маніпуляції без руйнування зовнішніх оболонок та утворення мікротріщин.

Збереження цілісності субстрату має критичне значення в контексті управління шкідниками. Натомість, сорти з пухким, борошнистим ендоспермом під дією віброцентрофугальних сил легко піддаються фрагментації, утворюючи значну кількість битого зерна та зернового пилу. Утворена дрібна фракція не лише погіршує аерацію насипу, створюючи передумови для самозігрівання, але й виступає ідеальною, легкодоступною кормовою базою як для вторинних шкідників (борошноїдів, хрущаків), так і для імаго комірною довгоносика, які опинилися поза межами зернівки. Відповідно, використання генетично детермінованої твердості сортів [7] дозволяє застосовувати максимально жорсткі режими аспірації та ситового очищення, забезпечуючи глибоку санацію продукції без ризику її технологічної деградації. Синергія механічної міцності зерна та високоточного сепарування формує екологічно безпечний, безхімічний бар'єр, який гарантує надійне стримування чисельності комірною довгоносика на безпечному рівні.

4.3. Хімічний контроль (застосування інсектицидів та фумігантів)

Незважаючи на пріоритетність екологічно безпечних фізико-механічних методів у сучасній системі інтегрованого управління шкідниками, хімічний метод контролю залишається необхідним радикальним заходом у випадках перевищення економічного порогу шкодочинності та виникнення загрози масового спалаху розмноження складського ентомокомплексу. Особливо гостро ця технологічна потреба постає при виявленні високого рівня прихованої зараженості зернової маси преімагінальними стадіями комірною довгоносика (*Sitophilus granarius* L.), наявність та ступінь якої встановлюється за допомогою

регламентованих методів ентомологічної експертизи [7]. Оскільки інтенсивна механічна сепарація або застосування контактних інсектицидів не здатні вплинути на личинок та лялечок, що надійно захищені щільними оболонками зернівки, єдиним дієвим способом їхньої повної ерадикації визнано застосування технології газової фумігації. На сучасних зернозберігальних та переробних підприємствах базовими хімічними агентами для проведення цієї процедури виступають високотоксичні препарати, синтезовані на основі фосфіду алюмінію або фосфіду магнію. Під дією атмосферної або міжзернової вологи ці тверді пресовані сполуки піддаються хімічному гідролізу, внаслідок чого відбувається активна емісія безбарвного та надзвичайно токсичного газу — фосфіну (PH₃).

Висока ефективність фосфіну як фуміганта зумовлена його унікальними фізико-хімічними властивостями, насамперед низькою молекулярною масою та винятковою проникною здатністю. Завдяки високій леткості та значній дифузійній рухливості газ здатний рівномірно розподілятися по всьому об'єму зернового насипу, долаючи гідродинамічний опір вузького міжзернового простору. Разом з тим, молекули PH₃ безперешкодно проникають крізь мікроскопічні пори насіннєвої оболонки та специфічні секреторні пробки, якими самка комірнього довгоносика запечатує висвердлений яйцекладний канал. Потрапляючи всередину ендосперму, де безпосередньо розвиваються преімагінальні стадії шкідника, фосфін інгаляційним шляхом абсорбується через дихальця (спіракули) і надходить у розгалужену трахейну систему личинки. Газ легко проникає всередину ендосперму, забезпечуючи високу ефективність знищення преімагінальних стадій шкідника.

Проте успішність, економічна доцільність та екологічна безпечність проведення фумігаційних робіт суворо детермінуються дотриманням складного комплексу технологічних вимог і параметрів мікроклімату. Фундаментальною інженерною умовою є забезпечення абсолютної герметичності складського приміщення, залізобетонного силосу або трюму судна, що підлягає газовій

обробці. Унеможливлення витоку фуміганта у навколишнє середовище є критично необхідним для створення та безперервного підтримання летальної концентрації фосфіну в усіх без винятку шарах зернового насипу. Іншим лімітуючим фактором, що визначає саму можливість проведення фумігації, є температура оброблюваної зернової маси. Встановлено, що ініціація хімічної обробки є доцільною лише за умови, коли температура субстрату становить не нижче 15 °С. Цей температурний мінімум обґрунтовується двома взаємопов'язаними біофізичними процесами. З одного боку, при нижчих температурах суттєво уповільнюється швидкість хімічної реакції розкладання фосфідних таблеток, що призводить до недостатньої інтенсивності емісії та низької концентрації вільного газу. З іншого боку, відповідно до фізіологічних закономірностей, зафіксованих у нормативних документах [7], при зниженні температури середовища загальна життєдіяльність комах різко пригнічується, вони впадають у стан заціпеніння, а частота їхніх дихальних рухів експоненційно зменшується. Як наслідок, об'єм інгальованого токсиканта стає мізерним і недостатнім для накопичення летальної дози в тканинах шкідника.

Окрім суворого температурного контролю, вирішальне значення для успішної ерадикації шкідника має тривалість газової експозиції. Для забезпечення тотальної загибелі популяції комірного довгоноса, зважаючи на наявність у її структурі найбільш толерантних до хімічного стресу стадій (яєць та лялечок), регламентований період безперервної герметичної експозиції повинен становити від 3 до 5 діб, залежно від початкової вологості, температури субстрату та розрахункової концентрації препарату. Тривале підтримання летальної концентрації газу ефективно нівелює здатність комах до тривалого спіракулярного блокування (рефлекторного закриття дихалець), що є їхньою первинною адаптивною реакцією на присутність токсиканта. Після завершення визначеного періоду експозиції обов'язковим та суворо контрольованим технологічним етапом є проведення активної дегазації зернової маси. Процес повної десорбції залишків фосфіну із внутрішніх структур зернівок

здійснюється шляхом інтенсивного примусового вентилявання або тривалого пасивного провітрювання приміщень до моменту остаточного зниження концентрації газу до гранично допустимих значень, що є абсолютною гарантією відновлення екологічної та харчової безпеки обробленої продукції перед її подальшою технологічною переробкою або реалізацією.

Поряд із технологією газової фумігації, невід'ємною складовою хімічного методу контролю є проведення вологої контактної дезінсекції та аерозольної обробки. Цей технологічний прийом застосовується переважно як базовий превентивний захід для санітарної підготовки порожніх складських приміщень, прилеглих територій та технологічного обладнання (норій, конвеєрів, силосів) перед завантаженням зерна нового врожаю. Для забезпечення пролонгованої токсичної дії на залишкові популяції комірною довгоносика (*Sitophilus granarius* L.) використовуються контактно-кишкові інсектициди широкого спектра дії, основними діючими речовинами яких найчастіше виступають фосфорорганічні сполуки (зокрема, піриміфос-метил) та синтетичні піретроїди (наприклад, дельтаметрин). Ці препарати забезпечують потужний нейротоксичний ефект. Нанесення робочих розчинів або створення дрібнодисперсних туманів із цих інсектицидів на внутрішні поверхні огорожувальних конструкцій та транспортних стрічок дозволяє сформувати стійкий інсектицидний бар'єр. Комахи, що мігрують із глибоких щілин підлоги або перебувають у стані тимчасової діапauзи в залишковому органічному субстраті, при контакті з обробленими поверхнями абсорбують летальну дозу токсиканта через ліпідний шар кутикули. Такий підхід суттєво мінімізує ризик первинної контамінації зернової маси одразу після її розміщення у сховищі.

Проте, незважаючи на високу початкову летальність хімічних препаратів, довготривала, систематична та інтенсивна експлуатація вузького спектра синтетичних інсектицидів і фумігантів призвела до виникнення однієї з найскладніших проблем сучасної прикладної ентомології — формування генетичної стійкості (резистентності) у шкідників запасів. Відповідно до

результатів фундаментальних досліджень [37], багаторічне масове застосування препаратів, особливо на основі фосфіну, спровокувало глибокі мікроеволюційні зрушення в популяціях комірною довгоносика у глобальному масштабі. Постійний та інтенсивний хімічний пресинг виступив у ролі жорсткого фактора природного добору. В умовах регулярних фумігацій виживали та давали репродуктивне потомство виключно ті особини, чий геном містив мутації, спрямовані на детоксикацію токсиканта або фізіологічне уникнення його дії. У резистентних популяціях фіксуються стійкі зміни у дихальній активності (зокрема, здатність до тривалого спіракулярного блокування), підвищення рівня ферментативної деградації отруйних речовин та зниження загальної проникності екзоскелету.

Наслідком такого еволюційного пристосування є критичне зниження надійності традиційних фумігаційних та дезінсекційних заходів. Для досягнення необхідного рівня ерадикації (повного знищення) стійких популяцій технологічні інструкції змушують операторів суттєво збільшувати концентрацію діючої речовини або значно подовжувати час герметичної експозиції. Однак безперервне підвищення дозувань інсектицидів визнано технологічним глухим кутом. Це не лише експоненційно підвищує ризики накопичення небезпечних токсичних залишків у продовольчому зерні та забруднення навколишнього середовища, але й становить пряму загрозу здоров'ю персоналу підприємств. Крім того, вимушене застосування понаднормових норм препаратів призводить до невиправданих економічних витрат і вимагає постійної ротації інсектицидів із різними механізмами дії, що значно ускладнює логістику та організацію захисних заходів.

Усвідомлення екологічних та санітарно-технологічних ризиків тотальної хімізації зумовлює необхідність переходу до більш збалансованих стратегій у межах парадигми інтегрованого управління шкідниками (IPM). Найбільш перспективним науково обґрунтованим напрямом подолання проблеми резистентності є синергетичне поєднання обмеженого, раціонального хімічного

контролю з цілеспрямованим використанням природної сортової стійкості зернових культур. Згідно з сучасними дослідженнями[37], пріоритетне розміщення для довготривалого зберігання генотипів пшениці з високими показниками фізико-механічної міцності ендосперму (Hardness) та відповідно низьким індексом сприйнятливості (S.I.) здатне докорінно трансформувати архітектуру захисних систем. Висока твердість склоподібного ендосперму виступає потужним біотичним бар'єром, який природним шляхом обмежує трофічну активність шкідника. У таких умовах самки змушені витратити критично великий обсяг метаболічної енергії на висвердлювання яйцекладних каналів, що призводить до різкого зменшення загальної кількості відкладених яєць, а тверда структура крохмальних гранул знижує відсоток виживання личинок молодших віків.

У результаті такої безперервної фізико-механічної протидії з боку субстрату швидкість демографічного зростання популяції *Sitophilus granarius* L. експоненційно уповільнюється. Це дозволяє значно відтермінувати момент досягнення шкідником економічного порогу шкодочинності, коли застосування фумігантів стає неминучим. Відповідно, формування партій зерна переважно з низьким індексом сприйнятливості створює умови, за яких кількість необхідних хімічних обробок протягом усього періоду зберігання зводиться до абсолютного мінімуму. Зменшення частоти застосування інсектицидів та фумігантів кардинально знижує селективний тиск на ентомокомплекс, блокуючи або суттєво уповільнюючи процеси формування резистентних рас. Таким чином, стратегічна інтеграція генетично детермінованої резистентності зерна та суворо регламентованого хімічного контролю забезпечує високий рівень екологічної безпеки продовольчої сировини, гарантує довгострокову стабільність фітосанітарного стану сховищ і виступає фундаментальною основою сучасної наукової парадигми захисту продукції запасів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання, що полягає в оптимізації системи заходів контролю комірного довгоносика (*Sitophilus granarius* L.) в умовах сучасних зерносховищ на основі поглибленого вивчення його біологічних та екологічних особливостей.

За результатами проведених досліджень сформульовано наступні висновки:

Встановлено домінуючий статус комірного довгоносика (*Sitophilus granarius* L.) в ентомокомплексі шкідників запасів озимої пшениці, частка якого становить 62% від загальної кількості виявлених фітофагів. Цей вид класифікується як первинний шкідник, здатний пошкоджувати ціле зерно. Ключовою еволюційною морфологічною адаптацією до синантропного існування в замкнених просторах зерносховищ є повна редукція задніх крил та зрощення надкрил, що обмежує його поширення пасивним розселенням із контамінованим субстратом та тарою.

Доведено визначальний вплив температурного фактора на інтенсивність розвитку популяції *S. granarius*. Експериментально підтверджено, що температурний оптимум знаходиться в межах +25...+30 °C, за якого повний цикл онтогенезу скорочується до 26–35 діб, що призводить до стрімкого, експоненційного зростання чисельності шкідника. Нижнім температурним порогом розвитку (біологічним мінімумом) є показник +12 °C. Виявлено критичну небезпеку формування локальних осередків самозігрівання («теплих вогнищ») у металевих силосах великої місткості, де метаболічне тепло, що виділяється комахами, створює сприятливі мікрокліматичні умови для безперервного розмноження фітофага навіть у зимовий період.

Обґрунтовано чітку кореляційну залежність між фізико-механічними властивостями ендосперму озимої пшениці та репродуктивним потенціалом комірний довгоносика. Трофічна вибірковість та рівень інфестації безпосередньо залежать від твердості зерна (склоподібності) та вмісту в ньому білка. Сорти з високим показником твердості формують надійний біотичний

бар'єр, який суттєво знижує плодючість самок та відсоток виживання преімагінальних стадій через критичне енергетичне виснаження організму під час висвердлювання яйцекладних каналів. За результатами скринінгу виділено групу стійких до пошкодження сортів (Julius, Speedway), що характеризуються високою склоподібністю, та групу вразливих сортів (Askalon, Bamberka) із м'яким ендоспермом, які потребують першочергового захисту.

Визначено параметри кількісної та якісної деградації зерна за прихованої форми інфестації. За умов високої щільності популяції (50 імаго/кг зерна) сумарні втрати сухої маси внаслідок життєдіяльності личинок сягають 21,3% за 90 діб експозиції. Якісне погіршення технологічних характеристик виражається у деструкції клейковинного комплексу, зниженні виходу борошна, збільшенні кислотного числа жиру та критичному падінні насінневих якостей (енергії проростання та лабораторної схожості). Забруднення зернової маси екскрементами, екзувіями, трупами комах та накопичення сечової кислоти зумовлює переведення продовольчого зерна в категорію нехарчових відходів. Запропоновано модернізовану систему інтегрованого захисту (IPM) запасів пшениці, що базується на відмові від превентивної суцільної хімізації на користь екологічно безпечних фізико-механічних та профілактичних методів. Пріоритетним напрямом визначено впровадження активного вентилявання та охолодження зернової маси до температури нижче +10 °C, що повністю блокує процеси розмноження та живлення довгоносика. Стратегія управління фітосанітарним станом має спиратися на постійний моніторинг прихованої зараженості відповідно до вимог ДСТУ 5020:2008 із застосуванням експрес-методів (нінгідринового та акустичного детектування), що дозволяє своєчасно виявляти початкові етапи розвитку шкідника та локалізувати осередки інфестації до моменту масового вильоту імаго. Застосування хімічних фумігантів рекомендовано виключно як крайній, коригувальний захід при досягненні економічного порогу шкодочинності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. **Бабаянц О. В., Літвінов А. В.** Оцінка стійкості сучасних сортів озимої пшениці вітчизняної селекції до пошкодження комірним довгоносом. *Вісник аграрної науки*. 2024. № 4. С. 35–42.
2. **Горобець О. М., Ткаченко О. І.** Вплив прихованої зараженості *Sitophilus granarius* L. на хлібопекарські властивості та якість клейковини пшениці. *Зберігання і переробка зерна*. 2025. № 1. С. 28–34.
3. **Гриценко В. Г.** Сучасні технології фумігації зерна озимої пшениці. *Агроном*. 2025. № 2. С. 45–50.
4. **Дем'янюк О. С., Колесников А. О.** Біохімічні маркери резистентності ендосперму європейських сортів пшениці до шкідників запасів. *Інноваційні технології в агрономії* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 15–16 трав. 2025 р.). Київ : НУБіП України, 2025. С. 112–115.
5. **ДСТУ 3768:2019.** Пшениця. Технічні умови. Київ : Держспоживстандарт України, 2019. 32 с.
6. **ДСТУ 4117:2007.** Зерно і продукти його переробки. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 18 с.
7. **ДСТУ 5020:2008.** Зерно. Методи визначення зараженості шкідниками. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 14 с.
8. **Євтушенко М. Д., Марков І. Л., Туренко В. П.** Системи захисту сільськогосподарських культур від шкідників і хвороб : підручник. Київ : Центр навчальної літератури, 2021. 348 с.
9. **Зав'ялов В. Л., Степаненко А. О.** Інноваційні технології зберігання зерна в сталевих зерносховищах : монографія. Київ : Аграрна наука, 2022. 215 с.
10. **Закон України** Про захист рослин : станом на 01 січ. 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/> (дата звернення: 01.05.2026).

11. **Закон України** Про карантин рослин : станом на 01 січ. 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/> (дата звернення: 01.05.2026).
12. **Іванов О. А.** Динаміка чисельності комірного довгоносика в металевих силосах. *Карантин і захист рослин*. 2024. № 2. С. 12–15.
13. **Коваль В. М.** Особливості фумігації зерна в сучасних зерносховищах. *Захист і карантин рослин*. 2025. № 1. С. 22–28.
14. **Ковальчук М. І., Гаврилюк В. П.** Інтегрований контроль шкідників запасів (IPM) з використанням акустичного детектування у металевих силосах. *Сучасний стан та перспективи розвитку захисту рослин* : зб. тез доп. Всеукр. наук. конф. (м. Київ, 20–21 жовт. 2026 р.). Київ : НУБіП України, 2026. С. 44–46.
15. **Левченко С. О.** Економічна шкодочинність комірних довгоносиків в умовах лісостепу України. *Агробіологія*. 2023. Вип. 12. С. 88–94.
16. **Литвин Ю. С.** Сортова стійкість озимої пшениці до первинних шкідників запасів. *Збірник наукових праць НУБіП України*. 2022. № 14. С. 101–107.
17. **Марченко В. Ю., Левченко Т. І.** Технологічна деградація зерна пшениці за різної щільності популяції комірного довгоносика. *Продовольча індустрія АПК*. 2024. № 5. С. 18–24.
18. **Методичні вказівки** до вивчення дисципліни «Шкідники запасів» для студентів спеціальності 202 «Захист і карантин рослин» / уклад. : М. П. Дядечко, М. Б. Рубан, Б. О. Сергієнко. Київ : Вид-во НУБіП України, 2023. 56 с.
19. **Методичні рекомендації** щодо моніторингу шкідників зерна в умовах елеваторів / уклад. : В. О. Сергієнко. Київ : НУБіП України, 2024. 42 с.
20. **Перелік пестицидів і агрохімікатів**, дозволених до використання в Україні : офіційне видання. Київ : Юнівест Медіа, 2026. 850 с.
21. **Петров О. В.** Особливості біології довгоносиків роду *Sitophilus*. *Науковий вісник НУБіП України*. 2021. № 298. С. 14–20.

22. **Рубан М. Б.** Ентомологія : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2021. 412 с.
23. **Рубан М. Б., Гадзало Я. М.** Шкідники продукції запасів та заходи боротьби з ними. Київ : Хай-Тек Прес, 2022. 288 с.
24. **Рубан М. Б., Грищенко О. М.** Екологічні детермінанти розвитку складського ентомокомплексу в умовах кліматичних змін. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Агрономія*. 2023. Вип. 301. С. 89–96.
25. **Савченко О. Г.** Вплив вологості зерна на репродуктивний потенціал *Sitophilus granarius* L. *Захист і карантин рослин*. 2023. № 4. С. 34–39.
26. **Сергієнко В. О., Романенко О. В.** Цифровізація систем моніторингу шкідників запасів: використання дистанційних датчиків температури та автоматизованих пасток. *Захист і карантин рослин*. 2025. Вип. 70. С. 77–85.
27. **Сидоренко П. В.** Акустичний метод виявлення прихованої зараженості зерна. *Карантин і захист рослин*. 2025. № 3. С. 19–21.
28. **Стельмах І. Г.** Еволюція адаптацій шкідників запасів до синантропного способу життя. *Ентомологічні читання*. 2026. С. 15–18.
29. **Ткаченко Л. М.** Вплив сортових якостей пшениці на розвиток *Sitophilus granarius* L. *Захист і карантин рослин*. 2026. № 1. С. 40–44.
30. **Федоренко В. П.** Комахи – шкідники запасів. Київ : Колобіг, 2021. 240 с.
31. **Федоренко В. П., Положенцев О. М.** Моніторинг шкідливої ентомофауни зерносховищ. *Захист рослин*. 2024. № 1. С. 10–13.
32. **Федоренко В. П., Чайка В. М.** Вплив глобального потепління на просторовий розподіл та полівольтинність комірних довгоносиків у Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*. 2024. № 2. С. 51–58.
33. **Шевченко Т. О.** Використання нінгідринового методу для детекції личинок довгоносиків. *Зерно і хліб*. 2022. № 12. С. 54–57.

34. **Яковенко В. М., Бойко О. А.** Гідротермічний режим та ризики самозігрівання зерна озимої пшениці в металевих силосах великої місткості. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2023. № 3 (103). URL: http://nd.nubip.edu.ua/2023_3/23yvm.pdf (дата звернення: 05.05.2026).
35. **Яковенко Р. М.** Порівняльна характеристика металевих та бетонних силосів у контексті захисту зерна. *Елеваторна промисловість*. 2024. № 5. С. 31–35.
36. **Bley-Atse A. B., et al.** Inventories of the Main Insect Pests of Stored Corn and Repellent and Insecticidal Effects of Sapwood and Heartwood Extracts from Wood Côte d'Ivoire against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae). *Annual Research & Review in Biology*. 2026. Vol. 41, No. 2. P. 44–61.
37. **D'Isita G., et al.** Impact of varietal resistance of winter wheat on the reproduction of *Sitophilus granarius* L. *Journal of Stored Products Research*. 2024. Vol. 98. 120 p.
38. **Davis S. R.** Morphology of *Baridinae* and related groups (Coleoptera, Curculionidae). *ZooKeys*. 2009. Vol. 10. P. 1–136.
39. **Kordan B., et al.** Population dynamics of store pests in modern steel silos. *Agricultural Science*. 2023. No. 4. P. 67–72.
40. **Kovalenko R. M., Sydorenko M. V., Melnyk V. I.** Resistance of winter wheat varieties to *Sitophilus granarius* L. under laboratory conditions. *Journal of Agricultural Science and Practice*. 2023. Vol. 10, No. 2. P. 45–53.
41. **Lampiri E., et al.** Diversity and Seasonal Dynamics of Stored-Product Insects in a Feed Manufacturing Facility in Greece. *Insects*. 2025. Vol. 16, No. 12. P. 1–12.
42. **Prysiashniuk O. V., Klymenko T. S.** Automated acoustic monitoring of *Sitophilus granarius* L. in commercial grain storage. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2025. Vol. 210. P. 107–119.

43. **Shevchenko A. O., Boyko Y. M.** Impact of *Sitophilus granarius* infestation on the rheological properties of wheat dough. *Food Chemistry Advances*. 2026. Vol. 4. P. 88–96.
44. **Stejskal V., et al.** The relationship between taxonomic classification and applied entomology: stored product pests as a model group. *Journal of Insect Science*. 2025. Vol. 25, No. 2. P. 1–15.
45. **Tkachuk O. P., Petrenko I. V.** Seasonal dynamics of stored-grain pests in modern steel silos in Eastern Europe. *Journal of Stored Products Research*. 2024. Vol. 107. P. 102–115.