

СИНЕРГІЗМ СУМІШІ ФОСФІНУ ТА ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ПРИ ФУМІГАЦІЇ ПРОТИ ХЛІБНИХ ШКІДНИКІВ ЗАПАСІВ

РОМАНКО В.О. – кандидат сільськогосподарських наук
orcid.org/0000-0002-5263-4190

Ужгородський національний університет

ДУДИНСЬКА А.Т. – кандидат біологічних наук, доцент
orcid.org/0000-0001-7461-0512

Ужгородський національний університет

Постановка проблеми. Одним із найефективніших методів контролю шкідників, в тому числі карантинних, є фумігація. Проте, згідно Закону України від 12 грудня 2019 р. «Про регулювання господарської діяльності з озоноруйнівними речовинами та фторованими парниковими газами», використання бромистого метилу, як універсального фуміганту, зведене до мінімуму із перспективою подальшого остаточного його заборонення на вимогу Монреальського протоколу.

Серед існуючих фумігантів, які можна було б застосовувати в якості заміни бромистому метилу, вибір досить обмежений. Більшість науковців пропонують фосфін. Проте фумігація фосфіном, а саме твердою препаративною формою, не завжди може гарантувати 100% ефективність, оскільки деякі шкідники запасів відзначаються як стійкістю так і резистентністю до даного фуміганту [1; 2].

Проблема полягає в тому, що в Україні на даний час зареєстрований тільки один фумігант – фосфін, а точніше лише його тверді препаративні форми з двома діючими речовинами фосфід алюмінію чи магнію. У випадку встановлення резистентних шкідників стійких до фосфіну, боротися з ними буде практично нічим.

Оптимальним рішенням було б – перереєстрація бромистого метилу і розширенні його використання на деякі об'єкти регулювання у сфері знезараження на що наголошують також і інші науковці [3; 4].

За відсутності бромистого метилу, як правило, ця проблема вирішується шляхом реєстрування нового фуміганту (наприклад, фтористого сульфурилу) та розробки технологій його застосування. Проте, даний процес довготривалий та затратний.

Виходячи з вище наведеного, перспективним є дослідження фосфіну у суміші із іншими газами, наприклад, твердої форми фосфіну (зареєстровані препарати) з вуглекислим газом та високими температурами – як частина альтернатива бромистому метилу. Саме спільне застосування високих температур та вуглекислого газу суттєво збільшує ефективність фосфіну проти шкідників на всіх стадіях розвитку. Вважається, що у разі відсутності реєстрації в країні фтористого сульфурилу, даний спосіб може замінити фумігацію бромистим метилом проти шкідників запасів. Відомо, що суміш газів фосфіну з вуглекислим газом при високих температурах вже застосовують в таких країнах як США, Канада, Італія, Данія [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних даних свідчить, що в останні роки активно

проводяться дослідження із сумішами різних газів із встановленням їх можливого синергізму [5].

Так, карантинна обробка способом фумігації свіжих бульб картоплі сумішшю двоокису вуглецю і бромистого метилу проти карантинного шкідника — картопляної молі можлива з нормою витрати CH_3Br у 4 рази нижчої за дозування його, застосованого в чистому вигляді [4].

Також отриманий синергізм з газів між фосфіном та етилформіатом проти *Pseudococcus longispinus* та *P. orchidicola* [6].

В деяких країнах почали використовувати фосфін з вуглекислим газом (препарат CO_2FUME), який фасується в сталеві балони і застосовуються для знезараження тютюну, какао-бобів, цитрусових, винограду та, найчастіше, проти шкідників зерна [2].

Нами проводились дослідження по визначенню токсичної дії сумішей газів фосфіну з концентраціями в межах 0,2–2,7 г/м³ та вуглекислого газу з концентраціями в межах 115,5–118,4 г/м³ експозицій в межах (1–5 годин) і температур в межах 17–26°C проти довгоносика комірного на стадії імаго та гусениць американського білого метелика. Результати засвідчили наявність синергізму між газами від 2 до 12%, значення якого залежить від температури та тривалості фумігації [7].

Все це, в цілому, вказує на актуальність проведення досліджень по застосуванню сумішей газів проти шкідників запасів зерна і зернопродукції.

Слід відзначити, що визначення ефективності сумісної дії фосфіну з вуглекислим газом за високих температур проходить у два етапи. Спочатку визначають синергізм газів варіюючи різні концентрації фосфіну за сталих оптимальних температур для шкідників. А далі після визначення найвищого показника синергізму дослідження проводять в межах високих температур – при цьому варіюють температуру та експозицію за сталої оптимальної концентрації фосфіну.

В даній праці наведені результати досліджень першого етапу.

Мета роботи: встановити синергізм суміші фосфіну та вуглекислого газу у різних їх концентраціях способом фумігації проти хлібних шкідників запасів (Coleoptera: роду *Sitophilus*; Lepidoptera: роду *Ephesia*; комірних кліщів роду *Acarus* і *Tyrophagus*).

Матеріали та методика досліджень. Роботу проводили в Закарпатському територіальному центрі карантину рослин Інституту захисту рослин НААН України в 2016 році. Продовжували дослідження в інституті

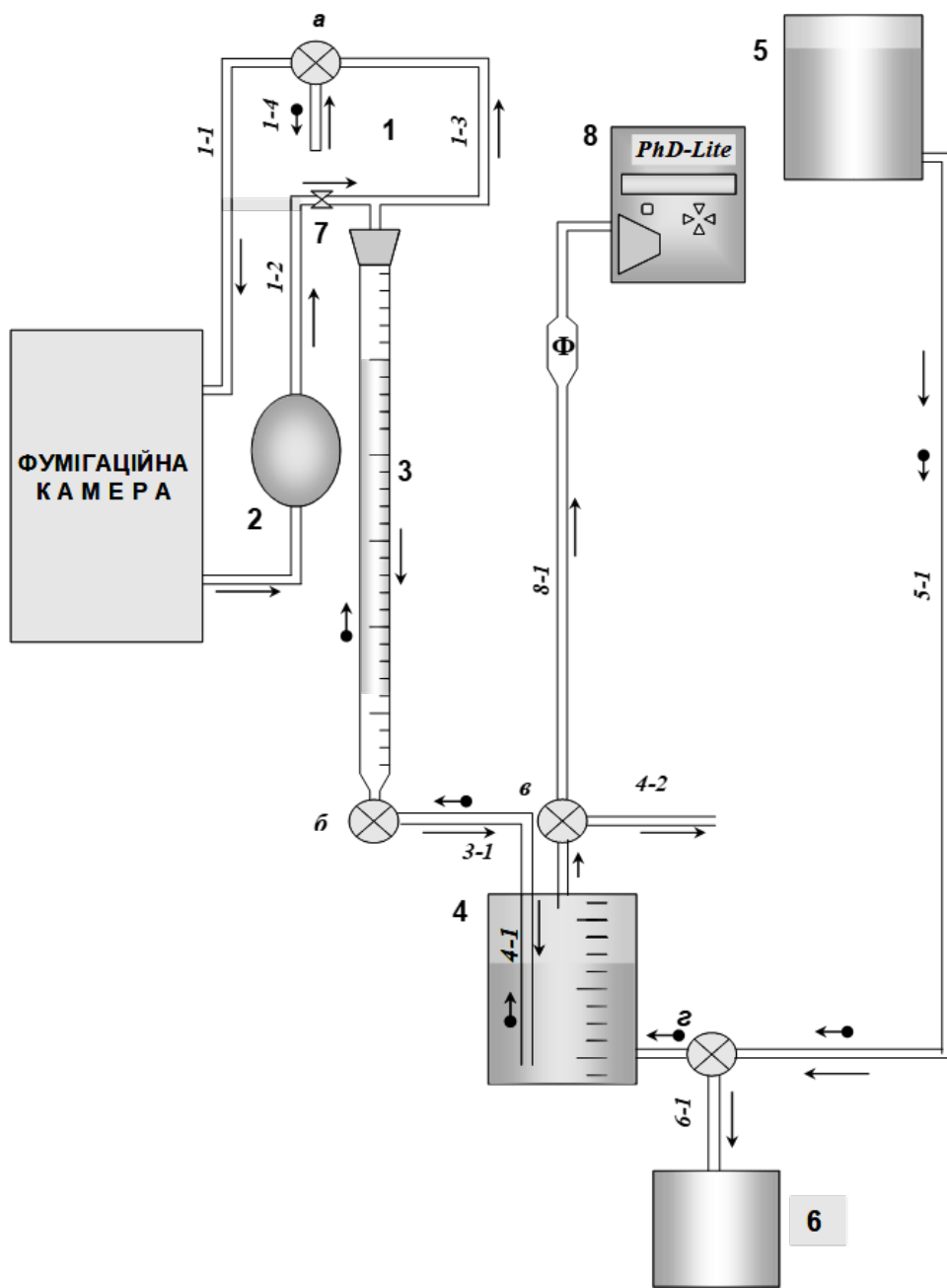


Рис. 1. Пристрій для вимірювання високих концентрацій фосфіну

Примітки:

1 – система подачі газу та повітря, яка складається з трубок (з внутрішнім діаметром 4 мм) **1-1, 1-2** (еластичні), **1-3** (скляна), та трубки **1-4** (скляна);

2 – гумова груша;

3 – вимірювальна бюретка об'ємом 25 мл і ціною поділки 0,1 мл;

4 – закрыта скляна ємність об'ємом 2500 мл і ціною поділки 100 мл;

5, 6 – відкриті скляні ємності об'ємом 2500 мл;

7 – затискач;

8 – сенсорний електронний газоаналізатор PhD-Lite з фільтром (Φ)

4-1 – скляна сифонна трубка (з внутрішнім діаметром 4 мм)

5-1, 6-1, 3-1, 8-1 – еластичні трубки (з внутрішнім діаметром 4 мм)

крани (⊗) **а, в, г** – триходові, **б** – двоходовий,

● → – напрямок води та повітря при заповненні системи водою

→ – напрямок потоків газу, повітря і води в процесі розбавлення проби газу та заміру концентрації

електронної фізики Національної академії наук України в 2021–2022 роках.

Досліди проводили в лабораторних умовах у фумігаційних камерах (ємністю 30 літрів), а також застосовували прилади для виміру концентрації фумігантів – газоаналізатор PhD-Lite, інтерферометр ШІ-11, розроблений нами пристрій [8] для отримання та дозування газів і виміру високих концентрацій фосфіну (рис), гігrometer психрометричний ВІТ-1 та інше необхідне лабораторне устаткування.

При проведенні лабораторних досліджень суміші фосфіну з вуглекислим газом застосовували розроблений нами дозатор для нейтрального газу, який забезпечував необхідне дозування в об'ємі 200–2500 мл.

Матеріал досліджень – препаративна форма фосфіну «Магтоксин» (таблетковидна форма) виробництва Detia Degesch GmbH, вуглекислий газ в балонах.

Ефективність дії фосфіну у суміші з вуглекислим газом визначали за формулою Аббота:

$$C\% = \frac{(P_k - P_0)}{P_k} * 100$$

де: $C\%$ – загибель шкідників, %;

P_k – загибель шкідників у контролі, %;

P_0 – загибель шкідників у досліді, %.

Біоматеріал для дослідів відбирали з складських приміщень. Також для отримання достатньої кількості досліджуваного біоматеріалу розведення шкідників запасів проводили в лабораторних умовах. Імаго комірного довгоносика та вогнівок поміщали у ентомологічні садки із достатньою кількістю корму (зерно пшениці, борошно, сухарі, сушені фрукти тощо). Садки, для більш інтенсивного розвитку комах і відкладання ними яєць, знаходились у термостаті при температурі +20–28°C, вологості 75–93%.

Виділення живих особин кліщів з поживного субстрату після фумігації, а також з контролю проводили за допомогою конусоподібних фототермоелектродів Берлезе в модифікації Тульгрена за загальноприйнятою методикою в акарології [9].

По закінченню експозиції та дегазації за допомогою електратора виділяли із субстрату живі особини з контрольних та дослідних садків і фіксували їх в 70% спиртовому розчині.

Далі підраховували виділену кількість особин кліщів під бінокляром і визначали кількість особин кліщів на 1 грам субстрату за формулою:

$$n = \frac{N \times 100}{m}, \quad (1.1)$$

де n – кількість особин кліщів у 1 грам субстрату, особин, N – кількість особин кліщів у пробі, особин, m – маса проби, грамів.

Загибель кліщів у досліді визначали за формулою:

$$E = 100 - \left(\frac{D}{K}\right), \quad (1.2)$$

де E – загибель кліщів у досліді з урахуванням контролю, %, D – кількість живих особин кліщів у 1 грамі субстрату в досліді після фумігації, особин, K – кількість живих особин кліщів у 1 грамі субстрату в контролі, особин.

Дослідження з сумішами газів (фосфіну з вуглекислим газом) були проведені на сублетальному рівні отруєння з метою виявлення синергізму газів або його відсутності.

Для цього проводили декілька варіантів дослідів. Варіантами кожного дослідів були: *досліджувана суміш газів* (фосфіну з вуглекислим газом), *еталон* (окрема дія фосфіну) та *контроль* (нефуміговані шкідники, які витримуються за тих же температур, що й фуміговані). Після завершення фумігації проводили облік особин та визначали середні значення загибелі комах. Значення синергізму газів встановлювали при визначенні різниці загибелі комах між *сумішшю газів* та *еталоном*.

Результати досліджень. Дослідження проводили в широкому діапазоні концентрації. Були випробувані три рівні концентрації фосфіну, а саме: високі концентрації фосфіну в межах 1,20–1,25 г/м³, середні – в межах 0,81–0,85 г/м³ та низькі – 0,49–0,57 г/м³.

Згідно отриманих нами результатів досліджень встановлено, що у суміші з фосфіном оптимальною концентрацією вуглекислого газу є концентрація в межах 110–130 г/м³ (або 5,5–6,5% від загального об'єму повітря) [10].

Результати досліджень засвідчили наявність впливу концентрацій фосфіну у суміші вуглекислим газом на синергізм ефективності газів у суміші проти рухомих стадій комірних кліщів.

Таблиця 1

Токсична дія фосфіну як його окремої дії, так і у суміші з вуглекислим газом проти рухомих стадій комірних кліщів роду *Acarus* та *Tyrophagus* (лабораторні досліді, 2016, 2021–2022 рр.)

Варіант	Параметри фумігації		експозиція, год.	Загибель кліщів, %	Синергізм газів, %
	концентрація, г/м ³				
	PH ₃ *	CO ₂ **			
Фумігація при температурі 23 °C					
PH ₃ * (еталон)	1,20	-	24	94,3±2,75	0,7±0,21
PH ₃ +CO ₂ **	1,21	115,93		95,4±1,54	
PH ₃ * (еталон)	0,85	-	24	67,3±2,60	4,1±0,57
PH ₃ +CO ₂ **	0,84	118,70		71,4±3,03	
PH ₃ * (еталон)	0,54	-	24	28,3±1,93	16,5±1,13
PH ₃ +CO ₂ **	0,57	116,20		44,8±2,46	

Примітки: PH₃* – фосфін; CO₂** – вуглекислий газ; PH₃+CO₂** – суміш фосфіну і вуглекислого газу.

Таблиця 2

Токсична дія фосфіну як його окремої дії, так і у суміші з вуглекислим газом проти шкідників запасів роду *Sitophilus* та *Ephestia* (лабораторні досліди, 2016, 2021–2022 рр.)

Варіант	Параметри фумігації		експозиція, год.	Загибель шкідників, %	Синергізм газів, %
	концентрація, г/м ³				
	РН ₃ [*]	СО ₂ ^{**}			
Фумігація при температурі 18°C проти імаго роду <i>Sitophilus granarius</i>					
РН ₃ [*] (еталон)	1,23	-	16	86,3±3,82	5,5±1,13
РН ₃ +СО ₂ ^{***}	1,25	115,93		91,8±3,37	
РН ₃ [*] (еталон)	0,86	-	16	75,3±2,60	4,5±0,89
РН ₃ +СО ₂ ^{***}	0,84	118,70		79,8±3,03	
РН ₃ [*] (еталон)	0,48	-	16	58,7±3,31	4,3±0,67
РН ₃ +СО ₂ ^{***}	0,46	116,20		54,4±1,86	
Фумігація при температурі 18°C проти гусениць роду <i>Ephestia kuehniella</i>					
РН ₃ [*] (еталон)	1,24	-	10	94,1±3,82	4,6±1,13
РН ₃ +СО ₂ ^{***}	1,20	115,93		98,7±2,27	
РН ₃ [*] (еталон)	0,84	-	10	84,5±2,93	8,9±0,89
РН ₃ +СО ₂ ^{***}	0,91	118,70		93,4±4,03	
РН ₃ [*] (еталон)	0,49	-	10	62,5±3,61	7,1±1,13
РН ₃ +СО ₂ ^{***}	0,51	116,20		69,6±1,63	

Примітки: РН₃^{*} – фосфін; СО₂^{**} – вуглекислий газ; РН₃+СО₂^{***} – суміш фосфіну і вуглекислого газу

Оптимальними концентраціями фосфіну у суміші за яких виявляли їх високу ефективність при температурі (23 °С) були концентрації в межах 1,20–1,21 г/м³ проти кліщів роду *Acarus* і *Tyrophagus*, при яких їх загибель була на рівні 95,4±3,35%. Проте, і в еталоні за аналогічних концентрацій загибель кліщів була також висока – 94,7%. Тобто синергізм газів відмічали лише на рівні 0,7% (табл. 1).

Високий показник синергізму газів (16,5%) спостерігали лише при застосуванні низьких концентрацій фосфіну в межах 0,54–0,57 г/м³. Проте за таких параметрів загибель кліщів була низькою – на рівні 28,3±2,78% (еталон) та 44,8±1,68% (суміш газів).

Застосування середніх концентрацій фосфіну у суміші з вуглекислим газом проти кліщів не дало значного ефекту. Так, за концентрацій фосфіну в межах 0,84–0,85 г/м³, синергізм газів становив лише 4,1%, а акарицидна ефективність фосфіну не перевищувала 71,36±4,17% (табл. 1).

Отримані нами результати досліджень підтверджують дані Закладного Г. А., який вивчав токсичну дію фосфіну проти найбільш поширеного виду – *Acarus siro*, втім, що 100% загибель рухомих стадій комірних кліщів досягається при застосуванні високого токсичного навантаження даного фуміганту [11].

Автор акцентує увагу на те, що необхідно застосувати не лише тривалі експозиції, але й високі концентрації фосфіну (не менше 1 г/м³), що не характерно для його токсичної дії даного фуміганту. Це пояснюється, ймовірно, через стійкість даних шкідників до фумігантів, у зв'язку з особливостями дихальної системи та покриття комірних кліщів.

Як і у випадку з кліщами з метою встановлення оптимальних концентрацій, які б забезпечували синергізм газів у суміші проти комах-шкідників, нами були проведені дослідження в широкому діапазоні концентрацій фосфіну.

Оптимальними концентраціями фосфіну, при якій, водночас, відмічались як і синергізм газів так і висока їх ефективність проти комірного довгоносіка, є концентрації в межах 1,23–1,25 г/м³. А саме, відмічали високий показник загибелі шкідника при дії сумішей газів – 91,8±3,37% та синергізм на рівні 5,5%. Застосування нижчих концентрацій фосфіну у суміші з вуглекислим газом проти даного шкідника не прийнятне через його стійкість до фумігантів (табл. 2).

Так, при застосуванні концентрації в межах 0,84–0,86 г/м³ ефективність сумішей газів проти імаго даного шкідника становила – 79,8±3,03% та синергізм на рівні 4,5%.

Подібна тенденція відмічалась при застосуванні низьких концентрацій у суміші. А саме ефективність сумішей газів проти імаго даного шкідника становила – 54,4±1,86% та синергізм на рівні 4,3%.

Оптимальними концентраціями фосфіну, при якій, водночас, відмічались як і синергізм газів так і висока їх ефективність проти личинок *Ephestia kuehniella*, є концентрації в межах 0,84–0,91 г/м³. А саме, відмічали загибель – 93,4±4,03% та синергізм газів на рівні 8,9%. Застосування високих концентрацій проти даного шкідника є економічно необґрунтованим, оскільки ефективність сумішей газів та синергізм становили на рівні – 98,7±2,27% та 4,6% відповідно.

Застосування низьких концентрацій фосфіну у суміші неефективна порівняно з вище наведеними, оскільки загибель шкідника була на рівні лише 69,6±1,63, синергізм газів – 7,1%.

Подібні концентрації фосфіну наведені і в бюлетені Європейської та Середземноморської організації захисту рослин при фумігації проти шкідників запасів [12; 13]. Отже, для порівняння запропоновані нами концентрації фосфіну у суміші газів є цілком прийнятними.

Таким чином, на відміну від кліщів, при застосуванні сумішей газів проти комах-шкідників водночас, відмічались як і синергізм газів так і їх ефективність.

Отримані результати свідчать про необхідність проведення подальших досліджень, зокрема дослідження впливу тривалості експозиції фумігації та температури на показник синергізму газів, адже відомо, що саме збільшення тривалості експозиції та підвищення температури можуть суттєво впливати на синергізм газів та їх ефективність проти шкідників [2, 11].

Висновки

1. При дії суміші газів з концентраціями фосфіну в межах 1,20–1,21 г/м³ спостерігали загибель рухомих стадій кліщів роду *Acarus* і *Tyrophagus* на рівні 95,4±3,35%. Проте, і в еталоні за аналогічних концентрацій загибель кліщів була також висока – 94,7%. Тобто синергізм газів відмічали лише на рівні 0,7%.

Високий показник синергізму газів (16,5%) спостерігали лише при застосуванні низьких концентрацій фосфіну в межах 0,54–0,57 г/м³. Проте за таких параметрів загибель кліщів була низькою – на рівні 28,3±2,78% та 44,8±1,68%.

Застосування середніх концентрацій фосфіну у суміші з вуглекислим газом проти кліщів не дало значного ефекту.

2. Оптимальними концентраціями фосфіну, при яких, водночас, відмічались як і синергізм газів, так і висока їх ефективність проти комах довгоноса, є концентрації в межах 1,23–1,25 г/м³. А саме, відмічали високий показник загибелі шкідника – 91,8±3,37% та синергізм на рівні 5,5%. Застосування нижчих концентрацій фосфіну у суміші з вуглекислим газом проти даного шкідника не прийнятне через його стійкість до фумігантів.

Оптимальними концентраціями фосфіну, при якій, водночас, відмічались як і синергізм газів так і висока їх ефективність проти личинок *Ephestia kuehniella*, є концентрації в межах 0,84–0,91 г/м³. Тобто, відмічали високу ефективність сумішей газів – 93,4±4,03% та синергізм на рівні 8,9%. Застосування високих концентрацій фосфіну у суміші проти даного шкідника є економічно необґрунтованим.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Resistance to phosphine in *Sitophilus oryzae* in Australia: A national analysis of trends and frequencies over time and geographical spread / Holloway J. C., Falk M. G., Emery R. N., Collins P. J., Nayak M. K. *Journal of Stored Products Research*. October 2016. Vol. 69. P. 129–137. doi.org/10.1016/j.jspr.2016.07.004
2. Training manual / Boye J., Ignatowicz S., Lange H., Muck O., Mueller D., Navarro S., Sotiroidas V. Munich: Dow AgroScience, 2006. 99 p.
3. Сучасні проблеми незараження підкарантинної продукції в Україні / Клецьковський Ю. Е., Черней Л. Б., Ящук В. У., Нямцу Є. Ф. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 2. С. 11–14. doi.org/10.31073/agrovisnyk201602-03
4. Клецьковський Ю. Е., Нямцу Є. Ф. Контроль чисельності картопляної молі за використання меброкарбонових сумішей. *Вісник аграрної науки*. 2020. Том 98. № 1. С. 32–38. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202001-05

5. Rajendran, Somiahnadar. Insect Pest Management in Stored Products *Outlooks on Pest Management*. 2020. Vol. 31. N. 1. P. 24–35. DOI: https://doi.org/10.1564/v31_feb_05
6. Combinatory effect of ethyl formate and phosphine fumigation on *Pseudococcus longispinus* and *P. orchidicola* (Hemiptera: Pseudococcidae) mortality and phytotoxicity to 13 foliage nursery plants / Sung Woo Cho, Hyun Kyung Kim, Bong-Su Kim, Jeong-Oh Yang, Gil-Hah Kim. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 2020. Vol. 23. Issue 1. P. 152–158. doi.org/10.1016/j.aspen.2019.11.005
7. Романко В. О. Перспективи застосування сумішей газів у фумігації зернобобової продукції проти карантинних видів роду *Callosobruchus*. 15 міжнародна наукова конференція «Ужгородські ентомологічні читання – 2015» (тези доповідей). м. Ужгород, 25–27 вересня 2015 р. Ужгород : Видавництво Уж-НУ. С. 66. URL: https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/4194/1/UER_2015-proceedings.pdf
8. Мамонтов В. А., Романко В. О. Патент. 48293 UA, МПК C01B25/06 (2006.01), G01N7/00 (2006.01) Пристрій для вимірювання високих концентрацій фосфіну; заявник *Закарпатський територіальний центр карантину рослин Інституту захисту рослин Української аграрної академії наук*. № u 200910100; заявл. 5.10.2009; опубл. 10.03.2010, Бюл. № 5, 2010 р. URL: https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/34646?locale=ru
9. Гиляров М. С. Определитель обитающих в почве клещей *Sarcoptiformes*. М.: Наука. 1975. С. 416–476.
10. Романко В. О., Мамонтов В. А., Секун М. П. Застосування сумішей газів у фумігації свіжих фруктів. *Ентомологічна наукова конференція присвячена 60-й річниці створення Українського ентомологічного товариства «Сучасні проблеми ентомології» (тези доповідей)*. м. Умань, 12–15 жовтня 2010 р. С. 146–147.
11. Закладной Г. А. Может ли фосфин одолеть хлебных клещей. *Защита и карантин растений*. 2003. № 9. С. 46–47.
12. Phosphine fumigation of dried fruits and nuts to control various stored product insects 2012. Bulletin OEPP/Bulletin. 42 (3). P. 504–506.
13. Phosphine fumigation of stored products to control *Trogoderma granarium*. 2012. Bulletin OEPP/Bulletin. 42 (3). P. 501–503.

REFERENCES:

1. Holloway J. C., Falk M. G., Emery R. N., Collins P. J., Nayak M. K. (2016). Resistance to phosphine in *Sitophilus oryzae* in Australia: A national analysis of trends and frequencies over time and geographical spread *Journal of Stored Products Research*. Vol. 69. P. 129–137. doi.org/10.1016/j.jspr.2016.07.004
2. Boye J., Ignatowicz S., Lange H., Muck O., Mueller D., Navarro S., Sotiroidas V. *Training manual*. Munich: Dow AgroScience, 2006. 99 p.
3. Klechkovskiy Yu. E., Chernei L. B., Yashchuk V. U., Niamtsu Ye. F. (2016). Suchasni problemy znezarazhennia pidkarantynnoi produktsii v Ukraini [Modern problems of decontamination of quarantined products in

- Ukraine]. *Bulletin of Agricultural Science*. N. 2. P. 11–14. doi.org/10.31073/agrovisnyk201602-03 [In Ukrainian]
4. Klechkovskiy Yu. E., Niamtsu Ye. F. (2020). Kontrol chyselnosti kartoplanoi moli za vykorystannia mebrokarbonovykh sumishei [Control of the number of potato moth using mebrocarbon mixtures]. *Bulletin of Agricultural Science*. Vol. 98. № 1 С. 32–38. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202001-05 [In Ukrainian]
 5. Rajendran, Somiahnadar (2020). Insect Pest Management in Stored Products *Outlooks on Pest Management*. Vol. 31. N. 1. P. 24–35. DOI: https://doi.org/10.1564/v31_feb_05
 6. Sung Woo Cho, Hyun Kyung Kim, Bong-Su Kim, Jeong-Oh Yang, Gil-Hah Kim (2020). Combinatory effect of ethyl formate and phosphine fumigation on *Pseudococcus longispinus* and *P. orchidicola* (Hemiptera: Pseudococcidae) mortality and phytotoxicity to 13 foliage nursery plants. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. Vol. 23. Issue 1. P. 152–158. doi.org/10.1016/j.aspen.2019.11.005
 7. Romanko V. O. (2015). Perspektyvy zastosuvannya sumishei haziv u fumihatsii zernobovoi produkt-sii proty karantynnykh vydiv rodu *Callosobruchus* [Prospects for the use of gas mixtures in the fumigation of grain and leguminous products against quarantine species of the genus *Callosobruchus*]. 15th international scientific conference “Uzhhorod entomological readings – 2015” (abstracts of reports). September 25–27, Uzhgorod, 2015. P. 66. URL: https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/4194/1/UER_2015-proceedings.pdf [In Ukrainian]
 8. Patent. 48293 UA, МПК C01B25/06 (2006.01), G01N7/00 (2006.01) Mamontov. V. A., Romanko V. O. Prystirii dlia vymiryuvannya vysokykh kontsentratsii fosfinu [Device for measuring high concentrations of phosphine]. *The applicant is the Transcarpathian Territorial Plant Quarantine Center of the Plant Protection Institute of the Ukrainian Agrarian Academy of Sciences*. № u 200910100; was filed 5.10.2009; was published 10.03.2010. Bulletin № 5, 2010 p. [In Ukrainian]
 9. Gilyarov M. S. (1975). Opredelitel obitayuschih v pochve kleschey Sarcoptiformes [Key to soil-dwelling mites Sarcoptiformes]. Moscow: Nauka. P. 416–476 [In Russian].
 10. Romanko V. O., Mamontov V. A., Sekun M. P. (2010). Zastosuvannya sumishei haziv u fumihatsii svizhykh fruktiv. [Application of gas mixtures in fumigation of fresh fruits]. *Entomological scientific conference dedicated to the 60th anniversary of the Ukrainian Entomological Society “Contemporary problems of entomology”* (abstracts of reports). Uman, October 12-15, 2010. P. 146–147. [In Ukrainian]
 11. Zakladnoy G. A. (2003). Mozhet li fosfin odolet hlebynyh kleschey. [Can phosphine overcome bread mites]. *Protection and quarantine of plants*. № 9. С. 46–47. [In Russian]
 12. Phosphine fumigation of dried fruits and nuts to control various stored product insects (2012). Bulletin OEPP/Bulletin 42(3), 504–506.
 13. Phosphine fumigation of stored products to control *Trogoderma granarium* (2012) Bulletin OEPP/Bulletin 42 (3), 501–503.

Романко В.О., Дудинська А.Т. Синергізм суміші фосфіну та вуглекислого газу при фумігації проти хлібних шкідників запасів

Робота присвячена пошуку альтернатив бромистому метилу – універсального фуміганта, який був обмежений у застосуванні на вимогу Монреальського протоколу. В статті наведені результати токсичної дії сумішей газів фосфіну з вуглекислим газом проти комірних кліщів та комах-шкідників.

Мета: встановити синергізм суміші фосфіну та вуглекислого газу у різних їх концентраціях способом фумігації проти хлібних шкідників запасів (Coleoptera: роду *Sitophilus*; Lepidoptera: роду *Ephestia*; комірних кліщів роду *Acarus* і *Tyrophagus*).

Методи. Об'єкти досліджень. Комахи-шкідники родів *Sitophilus* та *Ephestia*; комірні кліщі роду *Acarus* і *Tyrophagus*.

Матеріал досліджень – препаративна форма фосфіну «Магтоксин» (таблетовидна форма) виробництва Detia Degesch GmbH, вуглекислий газ у балонах.

Методи: аналітичний огляд по тематиці досліджень вітчизняних та зарубіжних науковців, чинній нормативно-правовій базі у галузі знезараження; аналіз біологічних особливостей комах-шкідників та комірних кліщів; експериментальний – варіювання різних концентрацій фосфіну для встановлення синергізму фуміганта із вуглекислим газом у лабораторних умовах за відповідного обладнання; математико-статистичний – за допомогою комп'ютерних математичних функцій, вбудованих у програму Microsoft Excel 2003.

Результати. Оптимальними концентраціями фосфіну проти комах-шкідників, при якій, водночас, відмічався як і його синергізм з вуглекислим газом, так і висока ефективність, є концентрації в межах 0,84–0,91 г/м³, за яких загибель личинок *Ephestia kuehniella* становила на рівні – 93,4±4,03%, а синергізм – 8,9%.

При застосуванні сумішей газів з концентрацією фосфіну в межах 1,20–1,21 г/м³ проти кліщів роду *Acarus* і *Tyrophagus*, спостерігали їх значну загибель на рівні 95,4±3,35%. Проте, і в еталоні за аналогічних концентрацій загибель кліщів була також висока – 94,7%. Отже синергізм газів відмічали лише на рівні 0,7%.

Висновки. На відміну від комірних кліщів, при застосуванні фосфіну з вуглекислим газом проти комах-шкідників водночас, відмічались як і синергізм газів так і їх ефективність.

Отримані результати свідчать про необхідність проведення подальших досліджень, зокрема дослідження впливу тривалості експозиції фумігації та температури, які можуть в значній мірі вплинути на показник синергізму газів.

Ключові слова: альтернатива бромистому метилу, комірні кліщі, комахи-шкідники.

Romanko V.O., Dudynska A.T. Synergism of a mixture of phosphine and carbon dioxide during fumigation against pests of grain stocks

The work is devoted to the search for alternatives to methyl bromide – a universal fumigant, which was restricted in use at the request of the Montreal Protocol. The article presents the results of the toxic action of mixtures of phosphine gases with carbon dioxide against storage mites and insect pests.

Purpose: to establish the synergism of a mixture of phosphine and carbon dioxide in different concentrations by means of fumigation against pests of grain stocks

(Coleoptera: genus *Sitophilus*; Lepidoptera: genus *Ephestia*; storage mites genus *Acarus* and *Tyrophagus*).

Methods. *Objects of research.* Insect pests of the genus *Sitophilus* and *Ephestia*; storage mites of the genus *Acarus* and *Tyrophagus*.

The research material is the preparative form of phosphine "Magtoxin" (tablet form) produced by Detia Degesch GmbH, carbon dioxide in cylinders.

Methods: analytical review of the research topics of domestic and foreign scientists, the current regulatory framework in the field of fumigation; analysis of biological characteristics of insect pests and storage mites; experimental – variation of different concentrations of phosphine to establish the synergism of the fumigant with carbon dioxide in laboratory conditions with appropriate equipment; mathematical and statistical – with the help of computer mathematical functions built into the Microsoft Excel 2003 program.

The results. The optimal concentrations of phosphine against insect pests, at which, both its synergism with carbon dioxide and high efficiency were noted at the same

time, are concentrations in the range of 0.84–0.91 g/m³, at which the mortality of *Ephestia kuehniella* larvae amounted to levels – 93.4±4.03%, and synergism – 8.9%.

When gas mixtures with a phosphine concentration of 1.20–1.21 g/m³ were used against storage mites of the genus *Acarus* and *Tyrophagus*, their significant mortality at the level of 95.4±3.35% was observed. However, under the action of phosphine without carbon dioxide in similar concentrations, the mortality of storage mites was also high – 94.7%. Thus, gas synergism was noted only at the level of 0.7%.

Conclusions. Unlike storage mites, when using phosphine with carbon dioxide against insect pests at the same time, both the synergism of the gases and their effectiveness were noted.

The obtained results indicate the need for further research, in particular the study of the influence of the duration of exposure to fumigation and temperature, which can significantly affect the gas synergism indicator.

Key words: alternative to methyl bromide, storage mites, insect pests.