

**МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКІВ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТІЛ ЖИВИХ ЛИЧИНОК
У ЗНИЩЕННІ ШКІДНИКІВ АКУСТИЧНИМ СПОСОБОМ**

Анотація. З метою знищення шкідливих комах та їх личинок акустичним способом розроблені методики розрахунків та експериментальних досліджень механічних характеристик тіл живих личинок колорадського жука. Робота проводиться в рамках розділу прикладної механіки «Біомеханіка». Запропонований та використаний у вимірах механічних характеристик новий пристрій для проведення експериментальних досліджень механічних характеристик тіл живих личинок, конструктивна схема якого захищена патентом України на винахід та корисну модель. Знищення личинок колорадських жуків акустичними хвилями дозволить перейти від хімічних методів знищення шкідників, що токсичні для людини, до екологічно чистого, акустичного. Тім визначається актуальність обраної теми.

Ключові слова: живі тіла, механічні характеристики, личинки колорадського жука, пристрій, експериментальні дослідження, акустичний вплив, знищення.

Вступ Одним з важливих розділів прикладної механіки є біомеханіка. Біомеханіка – це наука, яка вивчає механічні властивості та рухи живих систем. Тут використовуються принципи та методи класичної механіки. Ця наука аналізує рухи тіла людини, тварин, а також механічні характеристики тканин, органів та рідин в організмах. Так як біомеханіка використовує моделі і методи загальної теорії механіки для вивчення механічних властивостей живих тканин, тому цілком реально застосувати ці методи до моделювання механічних характеристик живих тіл різного типу [1-4]. Відомі роботи вчених В. Т. Гринченка, І. В. Вовка, С. А. Найди, В. Г. Савіна, В. С. Дидковського, О. Г. Лейка, Е. М. І. К. Коська, Е. М. Малишева, В. К. Фролова, І. Г. Хорбенка, L. Pimonov, W. Tempest та їх учнів з визначення поведінки живих істот і особливо, людини, під впливом вібраційних та акустичних коливань [1-13].

У 20-му столітті опубліковано досить широку кількість наукових праць, в яких зазначено про позитивний і негативний вплив коливань на живі організми. Позитивний вплив акустичних коливань на організм людини все ширше знаходить застосування у сучасній медицині. Це тепловий ефект в ультразвуковій терапії, використання ультразвуку для візуального дослідження у діагностиці стану здоров'я людського організму, застосування віброакустичних коливань у діапазоні від 20 до 20000 Гц у приладах типу

«Вітафон» для лікування захворювань окремих органів людини, новітні слухові апарати (С. А. Найда [14]).

Шкідливий вплив вібрації на людей, які застосовують у своїй роботі відбійні молотки, працюють водіями на транспорті та просто використовують транспорт для поїздки, широко та докладно описано у літературі [5-7, 9-12, 15]. Є дані і про шкідливий вплив як акустичних шумів, так і тональних акустичних коливань на організм людини у цехах на виробництві. Особливо шкідливий вплив мають ті коливання, частота яких збігається з резонансною частотою всього тіла або окремих органів. Внаслідок вище викладеного можна дійти до висновку про передумови створення акустичного пристрою, що надає шкідливий і навіть смертельний вплив геть на організми шкідників у сільському господарстві.

Вже відомі наукові роботи, в яких показано, як акустичні поля, що генеруються приладами різного типу, взаємодіють з організмами різних живих істот. Наприклад, відома робота авторів Кошиць Ю. Ш., Лейко О. Г., Омельченко О. Ф., Федоренко Ю. О., в якій викладено електронну концепцію боротьби з гризунами та захист від них об'єктів соціально-побутової та виробничої сфери [16, 17, 18]. В експериментах над щурами, собаками, вівцями показано, що там, де фаза впливу інфразвуку (ІЗ) була протилежна фазі серцевих скорочень, у тварин зафіксована повна зупинка серця. Для успішної боротьби за допомогою акустичних полів з гризунами та іншими шкідниками, наприклад комахами, необхідне знання резонансних частот їх організмів або окремих органів.

Проведені науково-дослідні роботи з дослідження впливу акустичних коливань як шкідливого на колорадського жука (Г. І. Сокол, А. В. Сокол, О. М. Дупліщева). В даний час широко використовуються такі методи боротьби з колорадськими жуками: хімічні препарати, механічні методи боротьби (відомі пирососи, що затягують у ємність колорадських жуків з кущів картофелю, а потім цих жуків просто знищують механічним тиском), знищення колорадського жука за допомогою інших живих істот, виведення сортів картоплі, непридатних в якості їжі для колорадського жука. Відомі методи не завжди екологічно чисті чи малоефективні. Наприклад, якщо кур запускали на ділянку з картоплею для того, щоб вони знищили колорадських жуків, то констатовано, що кури скльовують також листя рослин та затоптують кущі.

У роботах [5, 9] наведено, що для розробки акустичного способу знищення шкідливої комахи необхідно мати три основні величини: масу тіла шкідливої комахи, жорсткість і резонансну частоту тіла.

Описані вище ефекти є передумовою для створення акустичних способів та пристроїв, що надають згубну дію на організми шкідливих комах взагалі.

Порівняно з відомими механічними, хімічними та біологічними способами акустичний забезпечує зниження трудомісткості робіт зі знищення шкідливої комахи. Треба враховувати, що хімічні методи ще й токсичні і для організму людини. В той час як, акустичний спосіб не чинить токсичної дії.

Наступним кроком повинні бути виконані дослідження з можливості знищення акустичними способами живих личинок колорадського жука. Розробка цього методу є важливим завданням. Це визначає актуальність обраної теми досліджень.

Мета і завдання. *Метою роботи* є розробка методик розрахунків та експериментальних досліджень механічних характеристик тіл живих личинок колорадського жука для подальшого знищення личинок акустичним способом.

При цьому вирішувались *наступні завдання*: - розробити методику та провести розрахунки основних механічних характеристик тіл живих личинок: геометричних параметрів тіла, маси тіла, жорсткості, модулю Юнга, жорсткості резонансної частоти шляхом модулюванням тіл личинок циліндрами кінцевої довжини зі сталим перетином;

- провести обґрунтування впливу акустичних випромінювань, довести ефективність акустичного способу знищення личинок;

- розробити методику експериментальних визначень механічних характеристик тіл живих личинок;

- створити принципову схему й конструкцію пристрою для вимірювань;

- провести вимірювання та аналіз отриманих результатів;

- видати рекомендації для проектування акустичних пристроїв для знищення живих личинок колорадського жука. Це дозволить у подальшому визначитися з характеристиками пристроїв: частотою і амплітудою генерування акустичного поля, яке буде негативно впливати на тіло живої личинки колорадського жука.

Об'єктом дослідження є способи та пристрої для знищення шкідників рослин на основі моделювання та створення методик розрахунків механічних характеристик живих тіл шкідників рослин.

Предметом дослідження є створення методик розрахунків та експериментальних вимірювальних робіт з визначення характеристик живого тіла личинки колорадського жука, а також створення пристрою для проведення вимірювань.

Методи досліджень базуються на теоретичних основах опору матеріалів, використанні знань з методів вимірювальної техніки.

Постановка задачі. В основу розробки акустичного способу, який би оказував згубну дію на тіло живої личинки колорадського жука, покладені дослідження про негативний вплив акустичних коливань на тіло людини чи тіло шкідників рослин. При цьому враховуємо, що згубний вплив акустичних коливань на живе тіло має найбільшу ефективність, коли частота впливу та власна частота тіла співпадають. Як показують рішення відомих рівнянь механіки, визначити значення резонансної частоти тіла можливо, якщо відомі механічні характеристики цього тіла. Тобто геометричні параметри, маса, жорсткість, модуль Юнга.

Тому припускаємо, що тіло живої личинки колорадського жука моделюється як циліндричне пружне тіло із сталим перетином.

Для знаходження значення резонансної частоти розрахунковим шляхом та шляхом експериментальних досліджень будемо визначати геометричні параметри, масу тіл личинок, жорсткість, модуль Юнга. А потім отримаємо значення резонансної частоти

тіла на основі відомих рівнянь і співвідношень. Виконання цього завдання визначає актуальність обраної теми.

Аналітичний огляд. Насамперед розглянемо відомі роботи про негативний вплив акустичних коливань на людей. Відомо [1, 5, 6-12], що до факторів, несприятливо впливаючих на організм людини, відносяться вплив низькочастотних акустичних коливань і, зокрема, інфразвуку (ІЗ), інфразвукового шуму (ІЗ - шуму) У роботах авторів: В.С. Дідковського, V. Gavro, L. Pimonov, Е.М. Малишева, А.В. Римського - Корсакова, В. Темпест, Е. І. Андрєєва - Галаніна наведені дані про шкідливу дію на організм обслуговуючого персоналу промислових і транспортних об'єктів, наукових лабораторій низькочастотних акустичних коливань [1, 6, 10]. В Україні розроблено та впроваджено до виконання норми безпеки при роботі людей в умовах впливу на їх організми інфразвукових коливань ("Санітарні норми інфразвуку на робочих місцях» № 2274-80) [15]. Характеристикою, по якій роблять оцінку дії акустичних коливань на живі організми, приймають величину звукового тиску або рівень звукового тиску, виражений в дБ (УЗ). Навіть при рівні звукового тиску 100 дБ і вище слід обмежувати час перебування людей в зоні поширення інфразвукових хвиль.

В [12, 19, 20] описано специфічну дію вібрацій та низькочастотних акустичних коливань на організми космонавтів, обумовлене тим, що резонансні частоти найважливіших органів людини лежать в діапазоні частот 0,5 - 20 Гц. Інфразвук викликає уповільнення зорової реакції, зміна ритмів дихання і биття серця, розлади шлунка і центральної нервової системи, головний біль, відчуття неспокою. В роботі [19] запропонована методика визначення резонансних частот органів космонавтів методом електромеханічних аналогій. Робота має важливе значення для проектних робіт з демпфування коливань у кабіні корабля космонавтів в час руху ракети повздовж ділянки виведення на орбіту.

Таким чином, роботами багатьох дослідників показано, що акустичні коливання в багатьох випадках мають шкідливий вплив на живі організми.

В роботах [21-26] наведені результати моделювання механічних характеристик тіл вірусів як пружних структур. Тут проведений аналітичний огляд існуючих способів знищення вірусів і доведена актуальність про необхідність знаходження нового способу. Проаналізовані декілька випадків специфіки проникання вірусів у порожнини органів дихання людини. Проведено попередні розрахунки основних механічних характеристик тіла вірусу: маси, об'єму тіла, резонансної частоти, що буде згубною для тіла вірусу.

Також відомо [27, 28] використання вібраційних технологій для визначення жорсткості і резонансної частоти тіла шкідника рослин колорадського жука. Проводилося визначення цілісності тіла і виживання жуків після впливу на них вібраційними коливаннями в лабораторних умовах [29-35].

При дослідженні коливань всього тіла біологічного об'єкта або окремих його органів, викликаних дією зовнішніх механічних збурень, тіло слід розглядати як конструкцію або систему з механічних елементів, що володіють інерційними, пружними,

демпфувальними і іншими властивостями. Вид і характер рівнянь, що описують коливальні рухи тіла біологічного об'єкта або окремих його частин, визначаються прийнятими апроксимаціями і припущеннями, межі застосування яких повинні виводитися з основних законів фізики досліджуваних явищ. Для побудови математичної моделі біологічного об'єкта необхідні дані про його фізико-механічні і структурні характеристики.

Прийнято поведінку пружного тіла промодельовувати за допомогою пружин, а в'язкого тіла за допомогою поршня у циліндрі, тоді поведінку реальної механічної системи можна описати, використовуючи методи електро-механічних аналогій. Тут використовуються рівняння з визначення мас, жорсткостей та пружності багатомасових механічних систем.

На цій основі можна записати рівняння руху тіл шкідливих комах, вірусів. Тобто як в'язко пружної коливальної системи [23, 24, 30].

Відомий раніше розроблений спосіб, який надає згубний вплив на тіло колорадського жука на основі дії на нього акустичними хвилями [29, 30, 32-35]. Отриманий патент [29] «Спосіб визначення механічних характеристик живих тіл», що полягає в механічному впливі на тіло тканини живої істоти силою зі змінною амплітудою та частотою та наступним їх розривом. Новий спосіб відрізняється тим, що механічний вплив на тіло і тканини живої істоти здійснюють знакозмінною силою з частотою вібраційних коливань та амплітудою, яка дорівнює відношенню сили розриву сполучних тканин тіла до їх площі перерізу, і частотою рівній власній частоті живого тіла.

Проведені дослідження по впливу згубної дії акустичних коливань на тіло шкідливого комах. Отриманий позитивний ефект [35]. Розроблено та захищені патентами декілька варіантів конструкцій акустичних випромінювачів, призначених для знищення колорадських жуків акустичними хвилями тобто на електродинамічному принципі роботи та на основі сирен [29, 30].

З аналізу наведених робіт пропонується акустичний метод знищення тіл живих личинок колорадського жука, що полягає в механічному впливі на їх тіло тиском з наступним їх розривом. Причому механічний вплив на тіло здійснюють акустичними коливаннями з амплітудою звукового тиску в повітрі, що дорівнює відношенню сили розриву тканин тіл личинок в їх площі перетину і частотою, що дорівнює власній частоті.

Рішення завдання Моделюємо тіло живої личинки спрощено циліндром із сталим перетином. В такому випадку жорсткість тіла личинки C можна знайти з виразу [37]:

$$C = \frac{P}{\Delta l} \tag{1}$$

де P - сила, що діє на личинку, Δl - абсолютне стискання личинки.

Відомо, що для тіла циліндричної форми [37]:

$$\frac{P}{\Delta l} = \frac{EF}{d} \tag{2}$$

де E - модуль поздовжньої пружності, що характеризує жорсткість матеріалу, тобто опір його пружним деформаціям, F - площа поперечного перерізу тіла личинки циліндричної форми, d - діаметр циліндричного тіла. Відповідно вираз для знаходження значення E модулю поздовжньої пружності на основі (1) а (2) виглядає:

$$E = \frac{c \cdot d}{F}, \quad (3)$$

Де для площини перетину маємо

$$F = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (4)$$

Бачимо, що попервах треба визнати геометричні параметри тіла личинки на основі вимірів. Тому складаємо методику вимірів, що дасть нам можливість скласти дані о геометричних та масових характеристиках тіла личинки. Величину Δl абсолютного стискання личинки можна отримати теж тільки на основі проведення вимірів у спеціальному пристрої. Результати розрахунку жорсткості, площі поперечного перерізу і модуля поздовжньої пружності тіла личинки, резонансної частоти тіла записуються в таблицю після проведення вимірів.

Методика вимірів Виміри проводилися в умовах приміщення лабораторії кафедри технічної механіки [38-42]. Для вимірів використаний пристрій, що показаний на рисунку 1.



Рисунок 1 — Фото пристрою та допоміжних вимірювальних інструментів: ваги та мікрометр

Послідовність виконання вимірювань.

1. Вимірюємо довжину та діаметр кожної з живих личинок, що обрані до експерименту.
2. На вагах міряємо та фіксуємо вагу кожної з личинок.
3. Живу личинку розміщуємо в стакані пристрою. За допомогою мікрометра фіксується висота тіла личинки.
4. Далі до кожної з личинок послідовно по черзі прикладається навантаження силами P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 , [Н] величина яких контролюється за допомогою манометра. Це здійснюється шляхом додавання гирьок на навантажувальне пристосування.
5. Після навантаження фіксуємо мікрометром нове значення висоти тіла личинки.
6. Рахуємо стиснення Δl .

7. Всі дані вимірів заносимо у таблицю 1.

8. Розраховуємо модуль Юнга та жорсткість тіла живої личинки. Дані рахунків заносимо у таблицю 2. В таблицях позначені: № — номер вимірювання при проведенні експерименту, G — вага тіла личинки, l — висота циліндру, що є тілом личинки, d — діаметр циліндру.

Проведені виміри і розрахунки за підсумком дозволяють знайти резонансну частоту f тіла живої личинки з математичного виразу [27, 28]:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m}}, \quad (5)$$

де C - жорсткість тіла личинки, f - резонансна частота, m – маса тіла живої личинки.

Таблиця 1

Показання вимірів

№	$G \times$ (10^{-6} N)	$l \times$ (10^{-3} m)	$d \times$ (10^{-3} m)	$P_1=20 \times 10^{-6}$ N $\Delta l \times 10^{-3}$ m	$P_2=25 \times 10^{-6}$ N $\Delta l \times 10^{-3}$ m	$P_3=30 \times 10^{-6}$ N $\Delta l \times 10^{-3}$ m	$P_4=35 \times 10^{-6}$ N $\Delta l \times 10^{-3}$ m	$P_5=40 \times 10^{-6}$ N $\Delta l \times 10^{-3}$ m
1	120	6.0	5.00	0.820	0.930	1.680	1.800	2.180
2	100	9.0	6.00	0.640	0.875	1.190	1.610	1.840
3	150	10.0	7.00	0.630	0.755	1.500	1.590	1.950
4	110	7.5	5.10	0.620	0.860	1.180	1.620	1.820
5	150	9.0	5.15	0.750	0.960	1.210	2.050	2.420

Дані розрахунків наведені у таблиці 2. В таблиці позначені Δl - абсолютне стиснення личинки, C - жорсткість тіла личинки, F – площа перетину тіла, E - модуль Юнга, f - резонансна частота.

Таблиця 2

Результати розрахунків

№	Δl , m	C , N/m	F , m ²	E , Pa	f , Hz
1	0.00082	0.2393		60.96	7.1088
	0.00093	0.2636		67.17	7.4623
	0.00168	0.1752	0.0000196	44.63	6.0826
	0.0018	0.1907		48.59	6.3468
	0.00218	0.18		45.86	6.1658
2	0.00064	0.3066		65.09	8.8146
	0.000875	0.2802		59.50	8.4275
	0.00119	0.2473	0.0000283	52.51	7.9171
	0.00161	0.2132		45.27	7.3513
	0.00184	0.2133		45.28	7.3519
3	0.00063	0.3114		56.67	7.2540
	0.000755	0.3248		59.10	7.4077
	0.0015	0.1962	0.0000385	35.70	5.7577
	0.00159	0.2159		39.29	6.0399
	0.00195	0.2012		36.62	5.8310
4	0.00062	0.3164		79.07	8.5389
	0.00086	0.2851		71.24	8.1051
	0.00118	0.2494	0.0000204	62.32	7.5805
	0.00162	0.2119		52.95	6.9876
	0.00182	0.2156		53.87	7.0481
5	0.00075	0.2616		64.76	6.6484
	0.00096	0.2554		63.23	6.5693
	0.00121	0.2432	0.0000208	60.21	6.4106
	0.00205	0.1675		41.46	5.3193
	0.00242	0.1621		40.14	5.2342

Обговорення результатів експерименту. Таким чином, у результаті експериментів отримані необхідні дані про геометричні та фізико-механічні характеристики тіл живих личинок, що необхідні для побудови математичної моделі коливань біологічного об'єкта: личинки колорадського жука. Отримані значення жорсткостей тіл живих личинок становлять від 1,1621 н/м до 0,3248 Н/м. Значення модуля пружності від 36,62Па до 79,07Па. Значення резонансних частот склали від 5,2342Гц до 8,5389Гц.

Визначене значення резонансної частоти такого тіла дозволить спроектувати пристрій, що зможе оказувати згубну дію на шкідника рослин.

Вимірювальний пристрій для реалізації експериментів. Пристрій деформацій личинки колорадського жука відноситься до вимірювальних приладів і може бути використаний для знаходження деформації личинки. В подальших дослідженнях це дозволить знайти резонансну частоту личинок комахи з метою їх подальшого знищення впливом акустичних хвиль на тій же частоті.

Відомі прилади з вимірювань механічних характеристик будівельних конструкцій [39]. Недоліками цих приладів є те, що вони призначені для виміру деформацій будівельних опор, а не живих, малих за розмірами тіл. Також прилади мають невелику точність вимірювань. Пристрої працюють в парі з розривними, бо вони не здатні на самостійне навантаження досліджуваного зразка. Це в свою чергу ускладнює процес вимірювання деформацій. Такі прилади не призначені для проведення вимірювань механічних характеристик живих організмів.

Відомий пристрій визначення деформації клейковини [42], що містить раму, зовнішній корпус, опірний столик з плоскою робочою поверхнею, навантажувальне пристосування з пуансоном і відліковим пристроєм, гальмуючий механізм, реле часу. Відліковий пристрій має прозору шкалу, екран і вказівник. Він використовується згідно Держстандарту 27839-88 для вимірювання деформації клейковини під визначеним навантаженням, при цьому діагностується якість клейковини зерна і борошна. Пристрій 30 секунд впливає на зразок клейковини з певним навантаженням. По закінченню 30 секунд за допомогою оптичного датчика фіксується деформація зразка, навантаження знімається і видається результат. Щоб зафіксувати деформацію в приладі використовується здатність клейковини пропускати світло. Кількість світла, що пропускається клейковиною, зменшується з її більшою деформацією. По закінченню вимірів прилад видає результат в одиницях виміру ВДК (коефіцієнт якості клейковини), що не є прийнятним для загального використання у техніці.

Недоліком вимірювання деформації цим приладом є те, що в основу вимірів деформації покладена властивість клейковини пропускати світло, тому пристрій не може бути застосовано для знаходження деформацій непрозорої личинки колорадського жука чи іншої біологічної живої істоти. Також у пристрої використовується занадто велике навантаження, із за чого він не може бути застосований для роботи з комахами. Він також не оснащений необхідними кріпленнями. У ньому відсутня можливість регулювання навантаження, в той час, як у випадку вимірів деформацій живої істоти потребується змінне навантаження.

В основу конструктивної схеми нового приладу [39] покладена задача розробки пристрою вимірювання деформацій живих личинок колорадського жука, що подалі зробить можливим провести розрахунки резонансної частоти личинки комахи та дозволить ефективно знищувати цих шкідників випромінюванням акустичних хвиль на визначеній частоті.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрої, який містить раму та навантажувальне пристосування новим є те, що навантажувальне пристосування має стакан для закріплення живої личинки з направляючою та гвинтовою парою для регулювання висоти стакану. На напрямній стакану приєднана шарнірно гойдалка, на гойдалку оказують тиск гирьки і далі цей тиск передається на тіло личинки. До стакану приєднується манометр, що дозволяє виміряти величини навантаження на живу личинку. Використовується мікрометр для вимірювання деформацій тіл живих личинок.

На кресленні (дивись рисунок 2) показано схему конструкції приладу. Пристрій містить раму 1, гойдалку 2, навантажувальні гирьки 3, стакан 7 з напрямною 4 для регулювання висоти, оскільки личинки можуть відрізнятись по довжині, гвинтову пару 5, манометр 6.

На рисунку 2 показана принципова схема вимірювального пристрою деформацій тіла личинки колорадського жука.

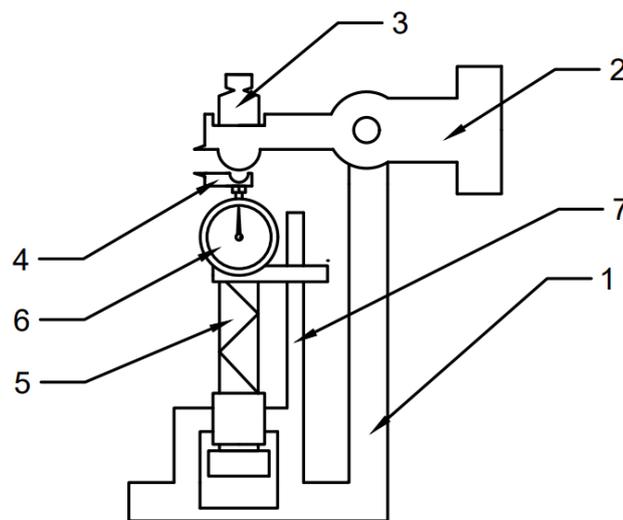


Рисунок 2 — Вимірювальний пристрій деформацій тіла личинки колорадського жука [39]

Пристрій працює наступним чином. Стакан 7 з напрямною 4 опускається в нижнє положення за допомогою підкручування гвинтовою парою 5, в ньому розташовується личинка. Після цього напрямна 4 піднімається вгору до моменту торкання личинки до навантажувальних гирьок 3. За допомогою мікрометра фіксується висота личинки. Далі до тіла личинки по черзі прикладається навантаження силами P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 , величина яких контролюється за допомогою манометра 6.

Перед кожним наступним навантаженням мікрометром 6 фіксується довжина личинки, а після навантаження її стиснення.

Наведений пристрій дозволяє провести виміри механічних характеристик тіл личинок колорадського жука, а тобто: висоту, стиснення, навантаження, діаметр циліндричного тіла личинки. Що далі дозволяє провести розрахунки модуля повздовжньої пружності, площини перетину тіла, резонансної частоти. Та розробити акустичний пристрій для згубної дії коливаннями на шкідника рослин: личинку колорадського жука. Важливим моментом тут є те, що треба визначитися з частотою згубної дії, яка з точки зору енергетики, повинна дорівнюватися резонансній частоті тіла личинки.

Пристрій, що пропонується, розрахований на роботу з живими личинками колорадського жука, має надійний спосіб вимірювання деформацій при навантаженні розтягування-стиск непрозорих тіл. Для цього в його складі є навантажувальне пристосування, що має стакан для закріплення живої личинки з напрямною та гвинтовою парою для регулювання висоти стакану, на напрямній стакану приєднана шарнірно гойдалка, на гойдалку оказують тиск гирьки і далі на тіло личинки, до стакану приєднується манометр, що дозволяє виміряти величини навантаження на живу личинку й є мікрометр для вимірювання деформацій тіл живих личинок. Це робить можливим проведення розрахунків резонансної частоти личинок комах та дозволяє ефективно знищувати цих шкідників випромінюванням акустичних хвиль.

Наукова новизна:

1. Вперше запропоновано використати згубний вплив акустичних коливань на тіло шкідників рослин: живих личинок колорадського жука.

2. Розроблені методики визначення механічних характеристик тіла живих личинок колорадського жука з метою страти через вплив акустичними коливаннями з частотою, що дорівнює резонансній частоті його тіла. Для цього прописані послідовні операції в експерименті з визначення геометричних та фізико-механічних характеристик тіл живих личинок, та послідовність наступних розрахунків жорсткості, модуля пружності та резонансної частоти тіл живих личинок колорадського жука. Отримані значення жорсткостей тіл живих личинок становлять від 1,1621 н/м до 0,3248 Н/м. Значення модуля пружності від 36,62Па до 79,07Па. Значення резонансних частот склали від 5,2342Гц до 8,5389Гц.

3. Запропонований та захищений патентом України на корисну модель новий вимірвальний пристрій деформацій тіла личинки колорадського жука. Використання пристрою дозволило провести експериментальні дослідження з визначення геометричних та фізико-механічних характеристик тіл живих личинок колорадського жука.

Висновки. Проведений аналітичний огляд методів, засобів та методик, які використовує біомеханіка для досліджень живих тіл. На основі огляду існуючої наукової літератури наведений висновок, що вібраційні та акустичні коливання вказують як позитивний, так і негативний вплив на живі організми: людей, кротів, шкідливих комах тощо. На основі отриманих результатів можна видати рекомендації з проектування та конструювання акустичних пристроїв, дія яких заснована на негативному акустичному впливу на тіла живих комах.

Проведений аналітичний огляд існуючих методів боротьби зі шкідниками рослин дозволив розділити їх на: хімічні препарати, механічні методи боротьби, знищення колорадського жука за допомогою живих організмів, виведення сортів картоплі, непридатних в якості їжі для колорадського жука та інші. Відомі методи не завжди екологічно чисті та малоефективні. Доведена актуальність про необхідність знаходження нових способів знищення шкідників рослин. А саме, акустичного.

На основі експериментів з впливом вібраційних та акустичних коливань на живі тіла колорадських жуків зроблено висновок, що для розробки акустичного способу знищення шкідливої комахи необхідно мати такі основні величини: геометричні розміри, масу тіла шкідливої комахи, жорсткість і резонансну частоту тіла. Наведені наукові роботи, де ці механічні характеристики визначені. В них показано, як випробувано згубну дію акустичних хвиль на колорадського жука у лабораторних умовах. Ефект загибелі жука отриманий для жука колорадського масою 100 мг при впливі на нього акустичними хвилями частотою 1500 Гц з рівнем звукового тиску 120 дБ.

Розроблені методики визначення геометричних та фізико-механічних характеристик тіл живих личинок колорадського жука: для проведення експериментів та розрахунків. Тобто, спочатку проводяться виміри геометрії тіл, на вагах визначення мас. Потім з використанням нового пристрою (пристрій запатентований в Україні, вимірювальний пристрій деформацій личинки колорадського хруща. Патент України на корисну модель № 153662, Україна, МПК G01L 5/06 (2006/01), Сокол Г.І., Алексеєнко С.В., Снобко Д.О. Заявка № u 2020 04959. заявл. 23.12. 2022, опубл.09. 08. 2023.) проводиться вплив визначеними силами на тіла і вимірюється їх стиснення.

Усі ці дані експерименту дозволяють визначитися з модулем пружності тіла та жорсткістю. Використані дані вимірювань при проведенні розрахунків резонансної частоти тіла живої личинки. Отримані значення жорсткостей тіл живих личинок становлять від 1,1621 н/м до 0,3248 Н/м. Значення модуля пружності від 36,62Па до 79,07Па. Значення резонансних частот склали від 5,2342Гц до 8,5389Гц.

У перспективі дані експерименту та розрахунків дозволять спроектувати нові акустичні пристрої, що зможуть оказувати згубну дію на тіло шкідника рослин.

ЛІТЕРАТУРА/ REFERENCES

1. Дідковський, В. С., Коржик, О. В., & Лейко, О. Г. (2010). Шуми та вібрації: підручник. Київ: Імекс-ЛТД. 336 с.
2. Wikipedia: вільна енциклопедія. (2025, жовтень 3). <https://uk.wikipedia.org/>
3. Костюк, І. В. (2000). Введення в біомеханіку: навч. посіб. Львів: Держ. ун-т «Львів. політехніка». 224 с.
4. Глазер, Р. О. (1985). Нарис основ біомеханіки. Му Світ. 180 с.
5. Сокол, А. В., & Сокол, Г. И. (2001). О влиянии низкочастотных акустических колебаний на живые организмы. Акустический вестник, 4(3), 67–69.
6. Малышев, Э. Н. (1972). Исследование инфразвука как вредного фактора и пути снижения его интенсивности на предприятиях железнодорожного транспорта (Дис. ... канд. техн. наук: 01.04.06). Ленинград. 176 с.

7. Гринченко, В. Т. (2007). Действие низкочастотного звука и вибраций на человека. У Акустический симпозиум «Консонанс 2007» (Київ, 25–27 вересня 2007 р.): зб. праць (с. 3–20). Київ.
8. Вовк, И. В., Гринченко, В. Т., Дахнов, С. Л., Крижановский, В. В., & Олейник, В. Н. (1999). Шумы дыхания человека: объективизация аускультативных признаков. Акустический вестник, 2(3), 11–32.
9. Сокол, Г. И., Дуплищева, О. М., & Рыбалка, Т. А. (2009). О воздействии звуковых и инфразвуковых акустических колебаний на живые организмы. Экологія та ноосфера, 20(3–4), 15–25.
10. Сокол, Г. И. (2000). Особенности акустических процессов в инфразвуковом диапазоне частот. Днепропетровск: Промінь. 136 с.
11. Дідковський, В. С. (Ред.). (2002). Основи акустичної екології: навч. посіб. Кіровоград: Імекс-ЛТД. 520 с.
12. Горбенко, Е. В., & Сокол, Г. И. (2011). Научная работа д.т.н., профессора И. К. Косько по динамическому анализу и синтезу продольных нагрузок ракет: неопубликованные ранее страницы. Дніпропетр. нац. ун-т ім. О. Гончара. Серія «Історія і філософія науки і техніки», 19(1/2), 67–76.
13. Armand, A. C., Bikaran, M., Gardner, T. B., & Matthew, M. K. (2025). The role of infrasound and audible acoustic sound in modulating wound healing: A systematic review. *International Wound Journal*, 22(5), e70243. <https://doi.org/10.1111/iwj.70243>
14. Ляшко, Д. О., & Найда, С. А. (2022). Акустичне поле ультразвукового приладу для диференційної діагностики слуху людини. Мікросистеми, електроніка та акустика, 27(2(121)), 263239-1–263239-8. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.me.263239>
15. МОЗ України. (1999). Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037–99. Київ: МОЗ України. 79 с.
16. Аппарат виброакустического воздействия «Витафон». (1994). Технический паспорт и рекомендации по применению. Москва: Минздрав РФ. (Рег. удостоверение № 29-271/94).
17. Кошиць, Ю. Ш., Лейко, О. Г., Омельченко, О. Ф., & Федоренко, Ю. О. (1999). Електронна концепція боротьби з гризунами і захист об'єктів соціально-цивільної виробничої сфери при проектуванні і будівництві. Будівництво України, 1, 30–31.
18. Busnel, R. G., & Lehmann, A. G. (1978). Infrasound and sound: Differentiation of their physiological effects through use of genetically deaf animals. *Journal of the Acoustical Society of America*, 63(3), 974–977.
19. Снобко, Д. О., & Сокол, Г. І. (2024). Методика визначення резонансних частот тіл космонавтів методом електромеханічних аналогій. Вісник Дніпровського університету. Серія «Ракетно-космічна техніка», 33(3), 74–79. <https://doi.org/10.15421/452453>
20. Sokol, G. I., Snobko, D. O., Kadilnikova, T. M., & Dalik, M. O. (2025). Method of electromechanical analogies in calculations of natural frequencies of multi-mass mechanical and biological systems. EGU General Assembly 2025, EGU25-10294. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-10294>
21. Сокол, Г. І., Соловійова, Н. М., & Шевченко, І. В. (2016). Акустичний спосіб знищення вірусів: пат. України № 104365. 25.01.2016. Бюл. № 2.

22. Сокол, Г. И., & Пугачев, А. С. (2020). К решению проблемы уничтожения вирусов акустическим способом. У Наукові читання «Дніпровська орбіта-2020» (с. 81–89). Дніпро: НЦАОМУ.
23. Молнар, Т. С., & Сокол, Г. І. (2023). Використання рівняння динаміки коливальних систем для опису механічних характеристик тіл вірусу. У XXV Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і космос» (Дніпро, 12–14 квітня 2023 р.): зб. тез (с. 11). Дніпро: НЦАОМ.
24. Молнар, Т. С., & Сокол, Г. І. (2021). Визначення механічних характеристик тіла вірусу з метою реалізації способу знищення його акустичним впливом. Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій, 33, 137–146.
25. Lucas, C., Klein, J., Sundaram, M. E., et al. (2021). Delayed production of neutralizing antibodies correlates with fatal COVID-19. *Nature Medicine*, 27(7), 1178–1186. <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01355-0>
26. Wang, G., Liu, X., Shen, J., et al. (2021). A deep-learning pipeline for the diagnosis and discrimination of viral, non-viral and COVID-19 pneumonia from chest X-ray images. *Nature Biomedical Engineering*, 5, 509–521. <https://doi.org/10.1038/s41551-021-00704-1>
27. Снобко, Д., & Сокол, Г. (2024). Спосіб визначення механічних характеристик живих тіл. У Виклики та проблеми сучасної науки (CIMS 2024): зб. наук. пр., 2, 115–119. Дніпро. <https://fti.dp.ua/conf/2024/cims-2024-vernal/>
28. Пугачов, А. С., Сокол, Г. І., Савчук, Т. Л., & Сокол, А. В. (2021). Спосіб визначення механічних характеристик живого тіла: пат. України № 147036. 07.04.2021. Бюл. № 14.
29. Сокол, А. В., Сокол, Г. І., & Сокол, Т. В. (1998). Акустичний спосіб знищення колорадського жука і пристрій для його здійснення: пат. України № 25548. 25.12.1998. Бюл. № 6.
30. Sokol, G., & Rybalka, T. (2008). Elaboration and investigation of the acoustic method of elimination of Colorado beetle as element of a new ecological technology in protective means against plant vermin. *Scientific Space of Europe – 2008 (Sofia, Bulgaria)*, 26, 40–41. ISBN 978-966-8736-05-61
31. Sokol, G. I., Savchuk, T. L., Larichev, D. V., Rybalka, T. A., & Mironenko, E. S. (2019). Insect heart resonance appearance simulation of Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say). *International Journal of Avian & Wildlife Biology*, 4(3), 76–78. <https://doi.org/10.15406/ijawb.2019.04.00155>
32. Sokol, G. I., Molnar, T. S., & Sokol, A. V. (2023). Realization of acoustic method of Colorado beetle elimination. *Fundamental Research and Application of Physical Science*, 9, 50–63. <https://doi.org/10.9734/bpi/fraps/v9/1144G>
33. Sokol, G. I., Sokol, A. V., & Molnar, T. S. (2022). Acoustic method of Colorado beetle elimination: Experimental results. *New Trends in Physical Science Research*, 7, 61–72. <https://doi.org/10.9734/bpi/ntpsr/v7>
34. Сокол, Г. И. (2006). Определение динамических характеристик тел насекомых под воздействием вибрационных и акустических колебаний. У Методи розв'язування прикладних задач механіки деформівного твердого тіла: зб. наук. праць, 7, 116–124. Дніпро: ДНУ.
35. Sokol, G. I., & Rybalka, N. A. (2009). Elaboration and investigation of the acoustic method of elimination of Colorado beetle. У *Proceedings of the ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences*, 3, 83–86. Paper No. DETC2009-82587.

36. Сокол, Г. І., Севостьянчик, В. О., & Мироненко, О. С. (2018). Пристрій сиренного типу зі шкідників рослин, наприклад колорадського жука: пат. України № 123017. 12.02.2018. Бюл. № 3.
37. Писаренко, Г. С., Квітка, О. Л., & Уманський, Е. С. (2004). Опір матеріалів: підручник (2-ге вид., доп. і перероб.). Київ: Вища школа. 655 с.
38. Сокол, Г. І. (2007). Визначення динамічних характеристик тіл комах під впливом вібраційних навантажень. У *Методи розв'язування прикладних задач механіки деформованого твердого тіла*: зб. наук. праць, 116–124. Дніпро: Наука і освіта.
39. Сокол, Г. І., Алексеєнко, С. В., & Снобко, Д. О. (2023). Вимірювальний пристрій деформацій личинки колорадського хруща: пат. України № 153662. 09.08.2023. Бюл. № 32.
40. Sokol, G. I., Savchuk, T. I., Rybalka, T. A., & Babich, A. C. (2018). Experimental modelling of mechanical characteristics in living elastic bodies with acoustic wave action. *MOJ Applied Bionics and Biomechanics*, 2(4), 238–240. <https://doi.org/10.15406/mojabb.2018.02.0073>
41. Sokol, G. I., Savchuk, T. L., & Snobko, D. S. (2021). Experimental modeling of mechanical characteristics in living elastic bodies. *New Visions in Science and Technology*, 10, 91–95. <https://doi.org/10.9734/bpi/nvst/v10/1973C>
42. Пристрій визначення деформації клейковини (пат. SU 213408 A1).

Received 24.01.2026.

Accepted 28.01.2026.

Methods of calculation and experimental research of mechanical characteristics of living larvae bodies in the destruction of pests by acoustic means

*The paper focuses on the advancement of experimental and analytical methodologies for examining the mechanical properties of living larvae of *Leptinotarsa decemlineata* (Colorado potato beetle) to facilitate their eradication through acoustic resonance. The significance of this research is underscored by the necessity to substitute chemical pest control methods, which are detrimental to human health and the environment, with ecological acoustic technologies. This research is conducted within the domains of applied mechanics and biomechanics, building upon prior investigations into the acoustic eradication of detrimental insects.*

The examination of contemporary scientific literature reveals that low-frequency acoustic and vibrational phenomena exert both detrimental and beneficial effects on biological tissues. Research conducted by V. S. Didkovskiy, V. T. Hrynchenko, G. I. Sokol, and others validates that resonance phenomena in biological structures can induce structural disruption when the external frequency aligns with the organism's natural frequency. The authors suggest using controlled acoustic waves to kill pest larvae by taking advantage of their biomechanical resonance.

To implement this concept, the authors devised a novel methodology for assessing the mechanical properties of living larvae, encompassing stiffness, mass, and Young's modulus. The larvae were represented as cylindrical elastic entities with a uniform cross-section. A new measuring tool was created and patented (Patent of Ukraine No. 153662, 2023) for testing deformation in a controlled way with known loads. The setup has a micrometer, a ma-

nometer, and a loading mechanism that can be changed to measure deformation in living biological specimens very accurately.

The experimental results indicated stiffness values between 0.3248 N/m and 1.1621 N/m, Young's modulus ranging from 36.62 Pa to 79.07 Pa, and natural resonance frequencies from 5.23 Hz to 8.54 Hz. These results show that it is possible to get destructive resonance with acoustic emitters set to these frequencies.

The developed methodologies and instrumentation establish a basis for the design of effective acoustic devices for pest management. The use of these kinds of systems will make it possible to get rid of pests in agriculture in a way that is safe for the environment and doesn't use chemicals. This will greatly lower ecological risks and make sure that crops are protected in a way that is sustainable.

Keywords: living bodies, mechanical characteristics, Colorado potato beetle larvae, device, experimental research, acoustic influence, destruction.

Сокол Галина Іванівна – д.т.н., професор, Дніпропетровський національний університет ім.Олеся Гончара.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6183-9155>

Снобко Данило Олегович – аспірант, Дніпропетровський національний університет ім.Олеся Гончара.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8414-8825>

Sokol Galyna Ivanivna - Doctor of Technical Sciences, professor, Oles Honchar Dnipropetrovsk National University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6183-9155>

Snobko Danylo Olehovich - Postgraduate student, Oles Honchar Dnipropetrovsk National University.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8414-8825>