

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ЛЕВИЦЬКИЙ БОГДАН БОГДАНОВИЧ

УДК 631.348.45

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ МАЛОГАБАРИТНОГО САМОХІДНОГО
ОБПРИСКУВАЧА**

133 – Галузеве машинобудування

13 – Механічна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання чужих ідей, результатів і текстів мають посилання на відповідне джерело

_____ Б.Б. Левицький

Науковий керівник **БАБІЙ Андрій Васильович**,
доктор технічних наук, професор

Тернопіль – 2025

АНОТАЦІЯ

Левицький Б.Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів малогабаритного самохідного обприскувача. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя МОН України, м. Тернопіль, 2025 р.

У дисертаційній роботі вирішено нове наукове завдання підвищення ефективності хімічного захисту рослин шляхом удосконалення конструкції малогабаритного обприскувача з обґрунтуванням конструктивно-технологічних параметрів пневмогідролічної системи живлення розпилюючих пристроїв та стабілізації штанги.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та поставлено задачі дослідження. Описано наукову новизну, практичне значення отриманих результатів та наведено особистий внесок здобувача у проведених дослідженнях. Наведено відомості щодо апробації та опублікування результатів наукових досліджень, структуру та обсяг дисертаційної роботи.

Для реалізації мети дисертаційного дослідження у роботі поставлені та вирішені наступні задачі. На основі відомих конструкцій малогабаритних обприскувачів запропоновано удосконалену конструктивну схему самохідного обприскувача з маятниковою підвіскою штанги. Розроблено теоретичні моделі, які описують напружено-деформований стан бака обприскувача, що транспортує робочу рідину та витісняє її при наявності надлишкового тиску, а також динамічні моделі кутових та вертикальних коливань штанги обприскувача у системі маяткової підвіски з доданою масою. Для реалізації наукових досліджень виготовлено малогабаритний самохідний штанговий обприскувач та проведено його польові випробування. Реалізовані

експериментальні дослідження міцності бака та кінематичних параметрів штанги обприскувача, які добре корелюють з виконаними аналогічними теоретичними дослідженнями, в тому числі, і при застосуванні імітаційного моделювання.

Об'єктом дослідження є процес обприскування малогабаритним самохідним штанговим обприскувачем з маятниковою підвіскою та пневмогідравлічною системою живлення розпилюючих пристроїв.

Предметом дослідження є взаємозв'язки між параметрами і режимами експлуатації обприскувача, їх вплив на міцність бака та стабілізаційні властивості підвіски штанги, яка забезпечує рівномірне нанесення робочого препарату на оброблювану поверхню.

Проведення окреслених наукових досліджень дозволило підвищити ефективність хімічного захисту рослин через обґрунтування раціональних конструктивно-технологічних параметрів пневмогідравлічної системи живлення розпилюючих пристроїв та стабілізації штанги обприскувача.

На цій підставі *вперше розроблено* динамічні моделі коливання штанги малогабаритного самохідного обприскувача у системі маятнкової підвіски із штучно збільшеною масою штанги;

математичну модель, що описує напружено-деформований стан циліндричного вертикально розміщеного бака обприскувача у пневмогідравлічній системі живлення розпилюючих пристроїв штанги та дозволяє встановити вплив на загальний напружено-деформований стан оболонки краєвого ефекту при навантаженні півеліптичних його днищ;

отримали подальший розвиток теоретичні залежності, що обґрунтовують вплив положення штанги на рівномірність та ефективність обприскування.

У першому розділі дисертаційної роботи виконано аналіз доцільності створення малогабаритного самохідного обприскувача для обслуговування технологічних процесів вирощування культур у невеликих фермерських чи підсобних господарствах. Проведено аналіз наявних малогабаритних

обприскувачів, які відрізняються за способом агрегування, функціональним призначенням, вказано на сфери їх застосування, затрати ручної праці, переваги та недоліки. Такий аналіз дозволив сформулювати ідею створення малогабаритного самохідного обприскувача, для якого були висунуті критерії для реалізації. Також в цьому розділі розглянуто конструкції ключових вузлів малогабаритних обприскувачів та проведено теоретичний аналіз залежностей, які показують вплив положення штанги на можливість нанесення робочого препарату на оброблювану площу. Розвинуто залежності, на основі яких можна встановити ступінь нерівномірності обприскування, що залежить від положення штанги по висоті над об'єктом обробки.

Всі ці чинники дозволили сформулювати основні задачі дисертаційного дослідження.

В другому розділі побудовано теоретичні моделі, які дозволяють обґрунтувати конструктивні та технологічні параметри розглядуваних систем. На першому етапі дослідження розроблено теоретичну модель на основі безмоментної теорії оболонок, яка дозволяє оцінити напружено-деформований стан циліндричного бака обприскувача, що працює у пневмогідравлічній системі живлення розпилюючих пристроїв штанги. На основі таких досліджень були визначені колові та меридіональні напруження у циліндричній стінці бака, встановлено допустимий внутрішній тиск з умови міцності конструкції, він склав $[p] = 1,07$ МПа.

Циліндрична частина бака обприскувача обмежена півеліптичними днищами. Утворену оболонку описано теоретичною моделлю, яка дозволяє оцінити напружений стан днищ з врахуванням впливу краєвого ефекту на загальний напружено-деформований стан бака.

Розвинуто теоретичні моделі та отримано вирази, які описують та враховують вплив гідростатичного тиску робочої рідин, що міститься у баку машини, на загальний напружений стан оболонки.

Описано принципову схему утворення маятникової підвіски зі штучно збільшеною масою штанги та на цій основі побудовано теоретичну модель, яка описує коливні процеси штанги. Розвинуті теоретичні моделі дозволяють дослідити кінематичні параметри кутових та вертикальних коливань штанги при різних її положеннях по висоті та ступеня заповненості бака робочою рідиною як доданої маси штанги.

У третьому розділі описано конструктивні особливості дослідного зразка виготовленого обприскувача, складено його технічну характеристику. Серед виділених основних параметрів машини є: ширина захвату – 5 м; діапазон висоти встановлення штанги – 350-1100 мм; діапазон зміни ширини колії – 900-1500 мм; продуктивність за годину основного часу – 1,8-2,7 га/год.

Складено програму та описано методику проведення експериментальних досліджень.

Для підтвердження результатів теоретичних розрахунків в окресленій постановці завдання прийнято план та побудовано матрицю повного факторного експерименту типу $N = 3^2$.

У четвертому розділі наведено результати польових та експериментальних досліджень дослідного зразка малогабаритного обприскувача. При виконанні польових випробувань на чистих парах при внесенні ґрунтового гербіциду, при обробці просапних культур, роботі у садах із застосуванням додаткової ручної штанги – обприскувач засвідчив свою високу технологічну ефективність. При проведенні експериментальних досліджень, які були розділені на кілька етапів, отримали результати напруженого стану бака обприскувача при різних його навантаженнях. Результати експерименту підтвердили теоретичні розрахунки. Розбіжність значень отриманих напружень у циліндричній стінці бака склали: для колових напружень – відносна похибка $\Delta\sigma_1 = 5,39 \%$; для меридіональних – $\Delta\sigma_2 = 3,5 \%$.

Аналогічним чином були проведені експериментальні дослідження кінематичних параметрів коливання штанги на розробленій маятниковій підвісці. Отримані значення прискорень на краю секції штанги добре корелюють з прискореннями, що знайдені за результатами теоретичного моделювання коливного процесу. Розбіжність результатів теоретичного розрахунку та експериментальних даних складає 8,8%.

Також при проведенні експериментальних досліджень було виконано порівняльний аналіз, за прискореннями, ефективності роботи підвіски штанги при закріпленні штанги на маятниковій підвісці та при умовно жорсткому кріпленні (робота маятника була заблокованою). Отриманий ефект використання маятнкової підвіски для даного режиму експлуатації обприскувача (повний бак, швидкість 4,5 км/год, рельєф умовно складний) знижує вертикальні прискорення у 1,7 рази. Це позитивно відображається на стабільності положення штанги, зниженні дії на неї динамічних сил та збереженні ресурсу роботи.

У п'ятому розділі дисертаційного дослідження наведено ряд методик для оцінки напружено-деформованого стану бака обприскувача при повному його навантаженні. Виокремлено вплив дії гідростатичного тиску робочої рідини на загальний напружений стан бака та встановлено, що його питома частка не перевищує 1,51%. Це означає, що визначальним для роботоздатності бака як оболонки, що працює під тиском, є тільки значення внутрішнього надлишкового тиску. В цьому розділі отримано ряд графічних залежностей оцінки напружено-деформованого стану бака в цілому. Крім того, аналогічні результати отримано при використанні прикладних програм 3-D моделювання, таких як SolidWorks2019 у модулі Simulation. Збіжність результатів складає більше 99%.

При дослідженні ефективності використання маятнкової підвіски штанги обприскувача отримано ряд графічних залежностей, які характеризують кінематичні параметри роботи такої підвіски. Для отримання окремих результатів було змодельовано таку систему у програмі SolidWorks,

звідки отримано як вихідні дані моменти інерції для теоретичного розрахунку. Тоді за результатами дослідження отримано амплітуди, швидкості та прискорення для кутових та вертикальних коливань штанги. Визначено частоти власних та вимушених коливань штанги на маятниковій підвісці, зроблено висновки про неможливість виникнення резонансних режимів. Частоти власних та вимушених коливань відрізняються на різних режимах по-різному, але не менше як у 3,6 рази.

Також пророблене питання економічної ефективності розробленого малогабаритного обприскувача, річний економічний ефект складає 15111,4 грн/рік на одну машину, розрахунковий термін окупності – 2,84 роки.

Конструкцію підвіски штанги малогабаритного самохідного обприскувача захищено деклараційним патентом на корисну модель №157047 U, результати дисертаційного дослідження використовуються ТОВ «Плотича Агро» при проектуванні сільськогосподарських машин, а також в навчальному процесі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Ключові слова: хімічний захист; штанга обприскувача; конструкція маятникової підвіски; розпилююча насадка; польові випробування; методика планування експерименту; норма внесення; обробка даних; програмне забезпечення; напружено-деформований стан оболонки; дослідження коливань; процес моделювання; напруження; параметри; швидкість.

ABSTRACT

Levitskyi B.B. Justification of structural and technological parameters of a small-sized self-propelled sprayer. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 13 Mechanical Engineering, specialty 133 Industrial Engineering.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University MES of Ukraine, Ternopil, 2025.

In the dissertation, a new scientific task was solved to increase the efficiency of chemical plant protection by improving the design of a small-sized sprayer with the justification of the structural and technological parameters of the pneumohydraulic power supply system for spraying devices and stabilizing the rod.

The introduction substantiates the relevance of the topic, formulates the goal and sets the task of the study. The scientific novelty, practical significance of the obtained results are described and the personal contribution of the applicant in the conducted studies is given. Information on testing and publication of the results of scientific research, the structure and volume of the dissertation work are provided.

To realize the purpose of the dissertation research, the following tasks are set and solved in the work. On the basis of known designs of small-sized sprayers, an improved structural scheme of a self-propelled sprayer with a pendulum suspension of a rod is proposed. Theoretical models have been developed that describe the stress-strain state of the sprayer tank, transporting the working fluid and displacing it in the presence of excess pressure, as well as dynamic models of angular and vertical vibrations of the sprayer rod in the pendulum suspension system with added mass. For the implementation of scientific research, a small-sized self-propelled rod sprayer was manufactured and its field tests were carried out. Experimental studies of tank strength and kinematic parameters of the sprayer rod were implemented, which work well with similar theoretical studies performed, including the use of simulation modeling.

The object of the study is the spraying processes of a small-sized self-propelled rod sprayer with a pendulum suspension and a pneumohydraulic power supply system for the spraying devices.

The subject of the study is the relationship between the parameters and operating modes of the sprayer, their effect on the strength of the tank and the stabilization properties of the rod suspension, which ensures uniform application of

the working preparation to the treated surface.

Carrying out outlined scientific researches made it possible to increase efficiency of chemical protection of plants through substantiation of rational structural and technological parameters of pneumohydraulic power supply system of spraying devices and stabilization of the sprayer rod.

On this basis, dynamic models of oscillation of the rod of a small-sized self-propelled sprayer in a pendulum suspension system with an artificially increased rod mass were first developed;

a mathematical model describing the stress-strain state of the vertically oriented cylindrical sprayer tank in the pneumohydraulic power supply system of the rod spraying devices and allowing to investigate the effect on the general stress-strain state of the shell of the edge effect when loading the bottoms;

theoretical dependencies substantiating the influence of the rod position on the uniformity and efficiency of spraying were further developed.

In the first section of the dissertation, an analysis of the feasibility of creating a small-sized self-propelled sprayer for servicing the technological processes of growing crops in small farms or subsidiary farms was carried out. An analysis of the available small-sized sprayers, which differ in the method of aggregation, functional purpose, indicated the scope of their application, manual labor costs, advantages and disadvantages. Such an analysis made it possible to form the idea of creating a small self-propelled sprayer, for which criteria for implementation were put forward. Also in this section, the designs of key units of small-sized sprayers are considered and a theoretical analysis of dependencies is carried out, which show the influence of the position of the rod on the possibility of applying the working preparation to the treated area. Dependencies are developed, on the basis of which it is possible to establish the degree of unevenness of spraying, depending on the position of the rod in height above the object of processing.

All these factors made it possible to formulate the main tasks of the dissertation research.

The second section builds theoretical models that make it possible to justify the design and technological parameters of the systems under consideration. At the first stage of the study, a theoretical model was developed on the basis of a moment-free theory of shells, which allows us to assess the stress-strain state of the cylindrical sprayer tank operating in the pneumohydraulic power supply system of the rod spraying devices. Based on such studies, circular and meridional stresses were determined in the cylindrical wall of the tank, the permissible internal pressure was established based on the strength of the structure, it was $[p]=1.07$ MPa.

Cylindrical part of the sprayer tank is limited by semi-elliptical bottoms. The resulting shell is described by a theoretical model, which makes it possible to assess the stress state of the bottoms, taking into account the influence of the edge effect on the overall stress-strain state of the tank.

Theoretical models have been developed and expressions have been obtained that describe and take into account the influence of the hydrostatic pressure of the working fluids contained in the machine tank on the general stressed state of the shell.

The basic scheme of formation of the pendulum suspension with artificially increased mass of the rod is described and on this basis a theoretical model is built that describes the oscillatory processes of the rod. Developed theoretical models allow us to explore the kinematic parameters of angular and vertical vibrations of the rod at its various positions in height and the degree of filling of the tank with working fluid as the added mass of the rod.

The third section describes the design features of the prototype of the manufactured sprayer, its technical characteristics are compiled. Among the selected main parameters of the machine are: the width of the capture - 5 m; bar installation height range – 350-1100 mm; gauge range – 900-1500 mm; performance per hour of normal time -1.8-2.7 ha/h.

A program has been compiled and the methodology for conducting experimental studies has been described.

To confirm the results of theoretical calculations in the outlined statement of the problem, a plan was adopted and a matrix of a complete factor experiment, such as, $N = 3^2$.

The fourth section presents the results of field and experimental studies of a prototype of a small-sized sprayer. When performing field tests on pure vapors when applying a soil herbicide, when processing hoed crops, working in gardens with the use of an additional hand rod - the sprayer proved its high technological efficiency. During experimental studies, which were divided into several stages, the results of the stressed state of the sprayer tank were obtained at different loads. The results of the experiment confirmed the theoretical calculations. The difference in the values of the obtained stresses in the cylindrical wall of the tank was: for circular stresses - relative error $\Delta\sigma_1 = 5.39\%$; for meridional – $\Delta\sigma_2 = 3.5\%$.

Similarly, experimental studies of the kinematic parameters of the rod oscillation on the developed pendulum suspension were carried out. The obtained values of accelerations at the edge of the bar section are well crowned with accelerations found from the results of theoretical modeling of the oscillatory process. The discrepancy between the results of theoretical calculation and experimental data is 8.8%.

Also, during experimental studies, a comparative analysis was carried out, according to accelerations, of the effectiveness of the rod suspension when the rod was fixed on the pendulum suspension and conditionally rigidly attached (the pendulum was blocked). The obtained effect of using a pendulum suspension for this mode of operation of the sprayer (full tank, speed 4.5 km/h, the relief is conditionally complex) reduces vertical acceleration by 1.7 times. That positively affects the stability of the position of the bar, reducing the action of dynamic forces on it and preserving the resource of work.

The fifth section of the dissertation study provides a number of methods for assessing the stress-strain state of the sprayer tank at its full load. The influence of the hydrostatic pressure of the working fluid on the general stressed state of the tank is allocated and it is established that its specific share does not exceed 1.51%.

This means that only the value of internal overpressure is decisive for the operability of the tank as a pressure shell. In this section, a number of graphical dependencies of the assessment of the stress-strain state of the tank as a whole are obtained. In addition, similar results are obtained using 3D modeling applications, such as SolidWorks2019 in the Simulation module. The convergence of the results is more than 99%.

When studying the effectiveness of the pendulum suspension of the sprayer rod, a number of graphic dependencies were obtained that characterize the kinematic parameters of the operation of such a suspension. To obtain individual results, such a system was modeled in the SolidWorks program, from where the moments of inertia for the theoretical calculation were obtained as initial data. Then, according to the results of the study, amplitudes, velocities and accelerations for angular and vertical oscillations of the rod were obtained. The frequencies of natural and forced oscillations of the rod on the pendulum suspension were determined, conclusions were drawn about the impossibility of resonance modes. Natural and forced oscillation frequencies differ at various modes in different ways, but not less than 3.6 times.

Also worked out the question of the economic efficiency of the developed small-sized sprayer, the annual economic effect is 15111.4 UAH/year per car, the estimated payback period is 2.84 years.

The design of the suspension rod of a small-sized self-propelled sprayer is protected by a declaration patent for a utility model No. 157047 U, the results of the dissertation research are used by Plotycha Agro LLC in the design of agricultural machines, as well as in the educational process of Ternopil Ivan Puluj National Technical University.

Key words: chemical protection, sprayer boom, design of the pendular suspension, spray nozzle, field tests, experimental design methodology, rate of application, data processing, software, the stress-strain state of the shell, study of oscillations, modeling process, stress, parameters, speed.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації, які відображають основні наукові результати дисертації

1. Babii A., Levytskyi B., Dovbush T., Babii M., Khomuk N., Dovbush A., Valiashek V. Mathematical model of sprayer tank loading. Procedia Structural Integrity, 2024. No 59, 609-616. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.086>. **(Scopus)** *(Здобувач провів аналіз навантаження бака малогабаритного обприскувача за способом горизонтального розміщення його на опорах).*

2. Babii A.; Aulin V.; Babii M.; Levytskyi B. (2022) Investigation of the working capacity of the operating body suspension functional-transporting machine. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 105, no 1, pp. 5–12. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2022.01.005. **(Фахове видання України)** *(Здобувач проаналізував динамічну модель та визначив критерії зниження коливань штанги обприскувача).*

3. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Аналіз конструктивних особливостей мініобприскувачів для невеликих фермерських господарств. Центральнотернопільський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.ІІ. С. 116-125. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.116-125](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.116-125). **(Фахове видання України)** *(Здобувач провів огляд та зробив критичний аналіз конструктивних особливостей малогабаритних обприскувачів).*

4. Babii A., Levytskyi B. (2024) Research of stress-strain state of tank of small-size self-propelled sprayer. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 115, no 3, pp. 91–99. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.03.091. **(Фахове видання України)** *(Здобувач розробив теоретичну модель та провів оцінку напруженого стану бака обприскувача).*

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

5. Левицький Б. Причини зниження ефективності обприскування. Матеріали III Міжнародної студентської науково-технічної конференції /

Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 23-24 квітня 2020 р.), 2020. С.33.

6. Бабій А.В., Левицький Б.Б. Аналітична модель збурення вертикальних коливань штанги сільськогосподарського обприскувача. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої пам'яті професора Гевка Богдана Матвійовича „Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин“. ФОП Паляниця ВА. 23-24 вересня 2021. С. 57-58 *(Здобувач змодельовав роботу штанги обприскувача при збуренні вертикальних коливань)*.

7. Левицький Б., Вовк І. Виокремлення задач, вирішення яких підвищує якість хімічного захисту рослин обприскувачами. V Міжнародна студентська науково-технічна конференція «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». ТНТУ. 2022. С.10-11 *(Здобувач аргументовано виділив проблему ефективності внесення засобів хімічного захисту просапних рослин штанговими обприскувачами)*.

8. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Концептуальні рішення для проектування малогабаритного обприскувача. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики». Тернопіль 29-30 вересня 2022. С.51-52 *(Здобувач запропонував концептуальні рішення для створення малогабаритного самохідного обприскувача)*.

9. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Дослідження опору переміщенню обприскувача. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 13-15 квітня 2022 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. С.106-107 *(Здобувач розробив модель та оцінив опір переміщенню для проєктованого обприскувача)*.

10. Бабій А.В., Левицький Б.Б. Підвищення ефективності хімічного захисту рослин при використанні міні обприскувачів. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і

ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 19-21 квітня 2023 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. С.158-159 *(Здобувач обґрунтував критерії, які підвищують ефективність малогабаритного обприскувача).*

11. Бабій А.В., Левицький Б.Б., Гамрач В.О. Норма внесення робочого препарату як чинник ефективності хімічного захисту рослин. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції, 7-8 червня 2023 р., м. Луцьк [Електронний ресурс] – Луцьк: ЛНТУ, 2023. С.5-6 *(Здобувач розвинув проблематику та проаналізував залежності, що пов'язують положення штанги по висоті з нормою внесення робочого препарату у міжряддя рослин).*

12. Левицький Б.Б., Бабій В.А. Система стабілізації штанги малогабаритного обприскувача. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. С. 98-99 *(Здобувач запропонував принципову схему підвіски штанги обприскувача з доданою масою).*

Публікації, які додатково відображають результати дисертації

13. Бабій А.В., Левицький Б.Б., Гладь Ю.Б., Андрейків О.Є. Підвіска штанги обприскувача. Деклараційний патент на корисну модель ua 157047 U A01M 7/00. Заявлено 09.01.2024, u 2024 00132, опубліковано 04.09.2024, Бюл. № 36. *(Здобувач запропонував принципову схему підвіски штанги обприскувача з доданою масою та обґрунтував її переваги).*

ЗМІСТ

ВСТУП	19
РОЗДІЛ 1	25
ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ МАЛОГАБАРИТНОГО САМОХІДНОГО ОБПРИСКУВАЧА.....	25
1.1 Аналіз ефективності роботи засобів хімічного захисту рослин на невеликих оброблюваних ділянках.....	25
1.2 Аналіз конструктивно-технологічних параметрів малогабаритних обприскувачів та обґрунтування висоти розміщення штанги	36
1.3 Аналіз конструкцій функціонально-несучих елементів малогабаритних обприскувачів.....	46
1.4 Висновки, мета та задачі дослідження.....	55
РОЗДІЛ 2	57
ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНО- ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МАЛОГАБАРИТНОГО САМОХІДНОГО ОБПРИСКУВАЧА	57
2.1 Аналіз напружено-деформованого стану бака при його використанні у пневмогідролічній системі живлення розпилюючих органів штанги обприскувача.....	57
2.2 Дослідження впливу краєвого ефекту при навантаженні днищ бака на загальний напружено-деформований стан оболонки	62
2.3 Дослідження напружено-деформованого стану бака обприскувача під дією внутрішнього надлишкового тиску та дії гідростатичного тиску робочої рідини.....	69
2.4 Дослідження коливного процесу штанги обприскувача при використанні маятникової підвіски	79
2.5 Висновки до 2 розділу	90

РОЗДІЛ 3	91
ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МАЛОГАБАРИТНОГО ОБПРИСКУВАЧА	91
3.1 Конструктивні особливості малогабаритного самохідного штангового обприскувача	91
3.2 Програма, об'єкт і предмет дослідження малогабаритного обприскувача	97
3.3 Технічне обладнання для проведення експерименту	99
3.4 Планування експериментальних досліджень обприскувача	104
3.5 Висновки до 3 розділу	107
РОЗДІЛ 4	108
ПРОВЕДЕННЯ ТА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МАЛОГАБАРИТНОГО САМОХІДНОГО ОБПРИСКУВАЧА	108
4.1 Польові випробування та підготовка до проведення експериментальних досліджень	108
4.2 Результати експериментального дослідження міцності бака обприскувача	112
4.3 Результати експериментального дослідження прискорень, що виникають на штанзі обприскувача	121
4.4 Висновки до 4 розділу	125
РОЗДІЛ 5	126
АНАЛІЗ РОБОТОЗДАТНОСТІ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ САМОХІДНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО ОБПРИСКУВАЧА	126
5.1 Аналіз напруженого стану бака обприскувача при дії робочого навантаження	126
5.2 Аналіз параметрів конструкції обприскувача з використанням прикладних програм	136

5.3 Дослідження ефективності використання маятникової підвіски штанги обприскувача	140
5.4 Економічна ефективність від використання малогабаритного самохідного штангового обприскувача.....	157
5.5 Висновки до 5 розділу	158
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ.....	159
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	162
ДОДАТКИ.....	178
ДОДАТОК А.....	179
ДОДАТОК Б	182
ДОДАТОК В.....	186
ДОДАТОК Г	190
ДОДАТОК Д.....	192

ВСТУП

Актуальність теми. Серед багатьох відомих способів захисту рослин хімічний займає одне з ключових місць. Цей метод не є найбезпечнішим, але на даний час він є найефективнішим. Негативні наслідки хімічного захисту рослин, перш за все, лежать у площині порушення технології внесення робочого препарату. Тому одне з ключових питань, яке потребує розвитку, – це забезпечення рівномірності та норми внесення машинами для хімічного захисту. Понад 80 % площ польових культур обробляється штанговими обприскувачами. Якщо питання дотримання агротехнічних вимог до внесення для тракторних обприскувачів різних типів є на належному рівні вирішеним, то для малогабаритних штангових обприскувачів ця проблема є відкритою. Якраз брак ефективної малогабаритної техніки для підсобних чи малих фермерських господарств спонукає до недотримання технологій вирощування сільськогосподарських культур в частині захисту рослин. Наявні технічні засоби в певній мірі мають обмежені функціональні можливості щодо кліренсу, регулювання ширини колії, відсутність пристроїв стабілізації штанги, є потреба у додатковому енергетичному засобі для агрегування тощо.

Вирішенням поставленої проблематики є створення малогабаритного самохідного штангового обприскувача з маятниковою підвіскою штанги, що має штучно збільшену масу. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів такої машини дозволить підвищити ефективність хімічного захисту рослин на невеликих площах підсобних чи фермерських господарств.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження за темою дисертаційної роботи виконано на базі кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та в розрізі науково-дослідної роботи кафедри на тему: «Розроблення технічних засобів

агровиробництва з покращеними техніко-експлуатаційними параметрами» (№ державної реєстрації 0124U003479).

Мета і завдання досліджень.

Метою роботи є підвищення ефективності хімічного захисту рослин шляхом удосконалення конструкції малогабаритного обприскувача з обґрунтуванням конструктивно-технологічних параметрів пневмогідравлічної системи живлення розпилюючих пристроїв та стабілізації штанги.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі дослідження:

- враховуючи відомі конструкції малогабаритних обприскувачів, запропонувати удосконалену конструктивну схему самохідного обприскувача з маятниковою підвіскою штанги;
- розробити теоретичні моделі, які описують напружено-деформований стан бака обприскувача, що транспортує робочу рідину та витісняє її при наявності надлишкового тиску;
- розробити динамічні моделі кутових та вертикальних коливань штанги обприскувача у системі маятнкової підвіски з доданою масою;
- виготовити малогабаритний самохідний штанговий обприскувач та провести його польові випробування;
- провести експериментальні дослідження міцності бака та кінематичних параметрів штанги обприскувача;
- виконати дослідження напруженого стану бака, кінематичних параметрів штанги, в тому числі, застосовуючи імітаційне моделювання.

Об'єкт дослідження – процес обприскування малогабаритним самохідним штанговим обприскувачем з маятниковою підвіскою та пневмогідравлічною системою живлення розпилюючих пристроїв.

Предмет дослідження – взаємозв'язки між параметрами і режимами експлуатації обприскувача, їх вплив на міцність бака та стабілізаційні

властивості підвіски штанги, яка забезпечує рівномірне нанесення робочого препарату на оброблювану поверхню.

Методи дослідження.

Теоретичні дослідження міцності бака обприскувача ґрунтуються на безмоментній теорії оболонок, коливні процеси штанги на маятниковій підвісці досліджувалися при застосуванні класичних теорій механічних коливань.

Експериментальні польові дослідження проводилися на основі розробленої програми та із застосуванням стандартних методиках планування багатофакторного експерименту та обробки даних.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в отриманні нових теоретичних залежностей, на основі яких встановлено раціональні конструктивно-технологічні параметри пневмогідравлічної системи живлення розпилюючих пристроїв та стабілізації штанги, що дозволяють підвищити ефективність хімічного захисту рослин обприскувачем.

На цій підставі:

– *вперше розроблено:*

динамічні моделі коливання штанги малогабаритного самохідного обприскувача у системі маятникової підвіски із штучно збільшеною масою штанги;

математичну модель, що описує напружено-деформований стан циліндричного вертикально розміщеного бака обприскувача у пневмогідравлічній системі живлення розпилюючих пристроїв штанги та дозволяє встановити вплив на загальний напружено-деформований стан оболонки краєвого ефекту при навантаженні півеліптичних його днищ;

– *отримали подальший розвиток* теоретичні залежності, що обґрунтовують вплив положення штанги на рівномірність та ефективність обприскування.

Практичне значення отриманих результатів. За розробленими аналітичними моделями розроблено методики, якими обґрунтовано раціональні конструктивні параметри та на їх основі виготовлено дослідний зразок малогабаритного самохідного штангового обприскувача з маятниковою підвіскою штанги. За результатами польових випробувань та експериментальних досліджень підтверджено високу ефективність застосування маяткової підвіски штанги із штучно збільшеною її масою за рахунок використання маси бака з робочою рідиною та його кріпильних елементів. Встановлено закономірності положення штанги по висоті від оброблюваного об'єкту, а також заповненості бака обприскувача на можливість виникнення і затухання кутових та вертикальних коливань штанги. Виконано порівняльний аналіз ефективності використання демпферних механізмів та досліджено можливості виникнення резонансних режимів роботи підвіски штанги обприскувача.

Отримані результати наукових досліджень впроваджено у ТОВ «Плотича Агро» при проектуванні та вдосконаленні сільськогосподарських машин.

Теоретичні обґрунтування та дослідний зразок обприскувача використовуються у наукових дослідження кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, а також в навчальному процесі при підготовці бакалаврів та магістрів спеціальності «Агроінженерія» в якості окремих тем дисциплін «Сільськогосподарські машини: конструкції та розрахунок», «Методологія та організація науково-прикладних досліджень».

Особистий внесок здобувача.

Основні теоретичні та експериментальні результати дисертаційної роботи здобувачем отримано самостійно.

Постановка завдання, аналіз і трактування результатів досліджень виконано спільно з науковим керівником.

У працях, які опубліковано у співавторстві, дисертантові належить:

[14] – здобувач провів аналіз навантаження бака малогабаритного обприскувача за способом горизонтального розміщення його на опорах; [15] – здобувач проаналізував динамічну модель та визначив критерії зниження коливань штанги обприскувача; [103] – здобувач провів огляд та зробив критичний аналіз конструктивних особливостей малогабаритних обприскувачів; [13] – здобувач розробив теоретичну модель та провів оцінку напруженого стану бака обприскувача; [101] – здобувач проаналізував основні причини зниження ефективності проведення обприскування та вказав на шляхи вирішення даної проблематики; [66] – здобувач змодельював роботу штанги обприскувача при збуренні вертикальних коливань; [102] – здобувач аргументовано виділив проблему ефективності внесення засобів хімічного захисту для просапних рослин штанговими обприскувачами; [105] – здобувач запропонував концептуальні рішення для створення малогабаритного самохідного обприскувача; [104] – здобувач розробив модель та оцінив опір переміщенню для проєктованого обприскувача; [67] – здобувач обґрунтував критерії, які підвищують ефективність малогабаритного обприскувача; [68] – здобувач розвинув проблематику та проаналізував залежності, що пов'язують положення штанги по висоті з нормою внесення робочого препарату у міжряддя рослин; [106] – здобувач запропонував принципову схему підвіски штанги обприскувача з доданою масою; [69] – здобувач запропонував принципову схему підвіски штанги обприскувача з доданою масою та обґрунтував її переваги.

Особистий внесок здобувача у працях, які опубліковано у співавторстві складає 45-55 %.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення та результати досліджень доповідались і отримали позитивну оцінку на: III-й Міжнародній студентській науково-технічній конференції. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет

ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 23-24 квітня 2020 р.); Міжнародній науково-технічній конференції присвяченої пам'яті професора Гевка Богдана Матвійовича «Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин». 23-24 вересня 2021 р.; V-й Міжнародній студентська науково-технічна конференція «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», ТНТУ. 2022 р.; Міжнародній науково-практичній конференції «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики». Тернопіль, 29-30 вересня 2022 р.; IV-й Міжнародній науково-практичній конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 13-15 квітня 2022 р. м. Кропивницький; V-й Міжнародній науково-практичній конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 19-21 квітня 2023 р. м. Кропивницький; IX-й Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології в АПК», 7-8 червня 2023 р., м. Луцьк; XII-й Міжнародній науково-практичній конференції. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи відображено у 13 публікаціях, з них: 4 статті у фахових виданнях, в тому числі 1 стаття, що індексується у наукометричній базі Scopus, 8 тез доповідей та 1 патент України на корисну модель.

Структура й обсяг дисертації.

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 139 найменувань і 5 додатків.

Основні результати роботи викладено на 145 сторінках, де містяться 76 рисунків і 14 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 199 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІ МАЛОГАБАРИТНОГО САМОХІДНОГО ОБПРИСКУВАЧА

1.1 Аналіз ефективності роботи засобів хімічного захисту рослин на невеликих оброблюваних ділянках

Серед багатьох способів захисту рослин – хімічний захист залишається одним з найбільш ефективних та рентабельних [114]. Це викликано тим, що вплив хімічних препаратів має досить швидку дію і результату можна добитися за відносно короткий проміжок часу. Попри ризики негативних наслідків дії хімічних препаратів альтернативи, яка була би доступною пересічному виробнику сільськогосподарської продукції, поки не запроваджено [18]. Технологічна операція хімічного захисту рослин є практично у кожній технології вирощування культур. Але, разом з тим, якщо розглядати невеликі підсобні чи фермерські господарства, то із-за низького ресурсного забезпечення, спостерігається і низька культура виробництва. Це позначається на тому, що часто виробниками опускаються або мінімізуються окремі технологічні операції. Саме до таких і належить хімічний захист рослин.

До прикладу, за статистичними даними [95] та результатами досліджень інших авторів [92] більше 90% картоплі виробляється у господарствах населення. Загалом, така площа станом на кінець 2022 року тільки по виробництву картоплі складає 1187,7 тис.га [92]. Також зрозумілим є те, що у підсобних господарствах вирощують і інші культури, тобто наведене значення площ є значно більшим. Приклад щодо виробництва картоплі наведено з тою метою, що у західному регіоні України у підсобних господарствах ця культура є однією з основних і вирощується практично у кожному домогосподарстві. Якщо проаналізувати розміри орних земельних ділянок, які є у приватній власності домогосподарств, не перевищують 2 га.

Тут не враховано розпайовані земельні наділи колишніх колгоспів, які, переважно, здані в оренду більш крупним виробникам сільськогосподарської продукції, де спостерігається високе ресурсне забезпечення виробництва та застосовуються і реалізуються передові технології. Тому найчастіше в підсобних господарствах спостерігаються площі під посадкою однієї культури, наприклад картоплі, 0,1 га, 0,2 га, рідше – 0,3 га. Для таких невеликих площ недоцільно використовувати «великі» тракторні обприскувачі [20, 49, 56], та й не кожен виробник має трактор, щоб агрегатувати обприскувач, тому, переважно, використовують найпростіші ранцеві обприскувачі. Серед багатьох конструкцій, що є у пропозиції на ринку, розглянемо на прикладі двох моделей таких обприскувачів, рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Ранцеві обприскувачі

На рис. 1.1, а показано ранцевий обприскувач українського виробника – торгової марки «Леміра» [116]. Це 12-ти літровий резервуар, який має власну (суху) масу 3,5 кг, ручним насосом нагнітають робочий тиск повітря до 0,3 МПа, яким витісняють робочу рідину і вона через штангу та розпилюючий пристрій транспортується на оброблювану поверхню.

На рис. 1.1, б представлено ранцевий акумуляторний обприскувач FERMER OCA-16 польського виробника «Фермер» [60]. Такий обприскувача має ємність бака 16 л. Робочий тиск 0,15–0,45 МПа в напірній магістралі нагнітається діафрагмовим насосом, який живиться від свинцево-кислотного

акумулятора. Власна маса обприскувача складає 5,5 кг.

Наведені ранцеві обприскувачі можна використовувати для хімічного захисту рослин на невеликих ділянках (городах), у садах, для дезінфекції приміщень тощо. Це прості і надійні знаряддя. Але поряд з тим, їх використання на площах в межах 0,2 га, про які мова йшла вище, має певні недоліки. Наприклад, обприскувач на рис. 1.1, а заправленим буде мати масу приблизно 15,5 кг і для обробки 0,2 га, наприклад тої самої картоплі, потребуватиме мінімум 4-5 заправки при нормі виливу приблизно 250 л/га. Меншої витрати робочої рідини важко досягнути при роботі з таким знаряддям, оскільки виробники хімічних препаратів вказують на упаковках «2 мл на 10 л води на 3-4 сотих» і т.д. Крім того, якщо піти шляхом збільшення концентрації розчину для зменшення об'єму вилитої рідини, то потрібно збільшити швидкість обробки. Це, в свою чергу, провокує нерівномірність обробки та значно підвищує втому людини, що здійснює цю обробку. Тут потрібно зважити на те, що, крім швидко рухатись людині у міжряддях культури, їй потрібно переміщати масу 15,5 кг на спині, періодично (для інших подібних конструкцій обприскувачів) чи постійно підкачувати ручним насосом, заправляти – це все провокує втому оператора.

Питання підтримки тиску у напірній магістралі вирішено у акумуляторному обприскувачі, що на рис. 1.1, б. Але його конструкція складніша, він дорожчий, а саме основне – він значно важчий. Його маса при повній заправці становитиме 21,5 кг і переміщатись полем, обробляючи певну культур, не кожному буде просто. Тут не є метою вказати на недоліки конструкцій розглядуваних конструкції обприскувачів. Виробники представили на ринок достатньо оптимальні конструкції таких знарядь, вони мають свою високу ефективність у певному секторі використання, за вартістю доступні широкому загалу виробників сільськогосподарської продукції, але потребують значної затрати ручної праці, особливо на площах більше 0,1 га. Тому їх використання у технологічних процесах вирощування культур може бути поштовхом до зменшення кількості хімічних обробок

культури внаслідок високої трудомісткості процесу, зниження якості обробки, особливо це позначається на площах, де потрібне суцільне внесення робочого препарату тощо. Тому, займаючись виробництвом сільськогосподарської продукції на описаних площах, потрібно шукати альтернативу ранцевим обприскувачам.

Зменшуючи питому частку ручної праці при виконанні хімічного захисту, виробники сільськогосподарських машин дрібним фермерам пропонують варіант тачкових (візкових) обприскувачів. Тут маса обприскувача та заправленої робочої рідини перенесена на його шасі-візок і це частково вирішує загострену проблему.

Серед множини таких машин, наведемо кілька варіантів сучасних машин, які є у пропозиції на ринку, рис. 1.2 –1.4.



Рисунок 1.2 – Електричний (акумуляторний) обприскувач на колесах 80 л Stocker 303

Італійський виробник Stocker пропонує електричний (акумуляторний) обприскувач на колесах 80 л Stocker 303, рис. 1.2 [33].

Цей мініобприскувач має міцне шасі тачкового типу, на якому змонтовано 80 л пластиковий бак. Напір робочої рідини створюється електричним насосом потужністю 100 Вт та може досягати тиску від 0,1 МПа до 1,0 МПа при витраті 1,5-6 л/хв. Довжина шланга 50 м, максимальна відстань розпилення до 8 м. Маса незаправленого обприскувача 62 кг, рис. 1.2, а.

В іншому варіанті (рис. 1.2, б) цей обприскувач обладнується навісною штангою, ширина якої регулюється від 1,5 м до 2,5 м, що дозволяє забезпечити максимальну ширину обробки до 3,5 м. При використанні змінного причіпного дишла його можна агрегувати мініенергозасобами.

Такі обприскувачі використовують у садах, теплицях та невеликих ділянках для обприскування сільськогосподарських культур та інших господарських роботах.

На рис. 1.3 наведено модель тачкового обприскувача MasterCut OS60T/25 німецько-китайського виробництва [21].

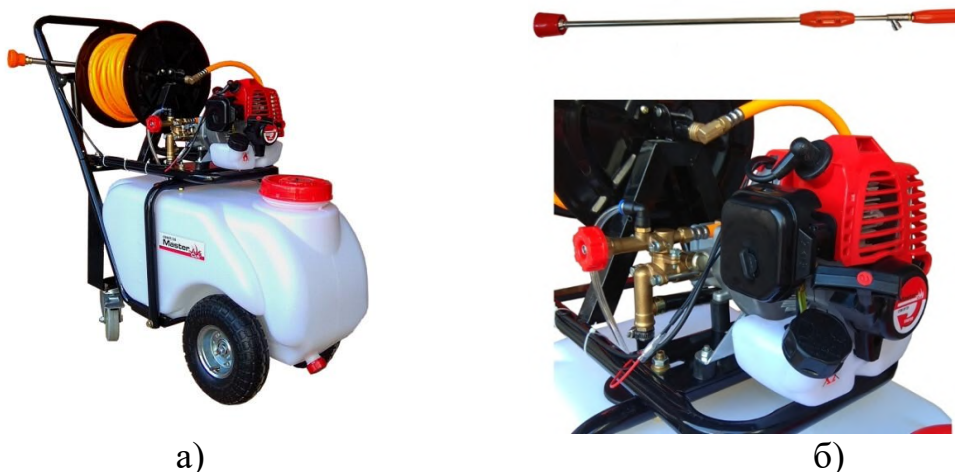


Рисунок 1.3 – Обприскувач MasterCut OS60T/25

Подібно до попередньої моделі обприскувач MasterCut OS60T/25 обладнаний 60-ти літровим баком (рис. 1.3, а), замість простої підставки має керовані опорні колеса, що дозволяє легше переміщати його по ділянках з твердим покриттям. Головною відмінністю є те, що такий обприскувач обладнаний двигуном внутрішнього згоряння (рис. 1.3, б), який приводить в дію поршневий насос, що може створювати тиск робочої рідини у напірній магістралі до 2,5 МПа при продуктивності 6-8 л/хв. Він обладнаний шлангом штанги довжиною 25 м. Маса обприскувача складає 30 кг. Такий мініобприскувач можна використовувати у садах, теплицях, інших ділянках, де не буде утруднене його переміщення.

Український виробник машин для хімічного захисту рослин – «ЛьвівАгромашпроект» також пропонує тачковий обприскувач УД-100, який рекомендує використовувати у теплицях [108], рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Обприскувач для теплиць

Технологічна схема такого обприскувача аналогічна до наведених вище. Тут варто відзначити, що виробник на замовлення може виготовляти такі обприскувачі з використанням ємностей від 100 л до 420 л. Привод насоса, який має продуктивність 30 л/хв, може здійснюватися від двигуна внутрішнього згорання або мати електропривод.

Обприскувачі, що наведені на рис. 1.2-1.4, це вже більш професійні машини у порівнянні з ранцевим, вони не перекладають свою масу на плечі оператора, у прямому сенсі, але їх використання для обробки польових культур є дещо обмеженим. Такі машини доволі проблематично пересувати на підйом навіть по твердій поверхні, а із-за малого діаметра коліс і як наслідок – великого опору перекочуванню, вони нездатні рухатись по розпушеній поверхні поля. Крім того, якщо такі обприскувачі використовувати для обробки просапних культур, то тут виникають нові проблеми – малий кліренс та фіксована ширина колії, що не завжди співпадає з кратністю ширини міжрядь. Тобто їх ефективність доведена при роботі у садах, теплицях, при дезінфекції у складських приміщеннях тощо.

Знову ж таки, цю проблему частково вирішують мініобприскувачі причіпні чи навісні на мініенергозасоби. Найбільш популярними є навісні обприскувачі. На рис. 1.5 представлено обприскувач 130 л на мототрактор [57].

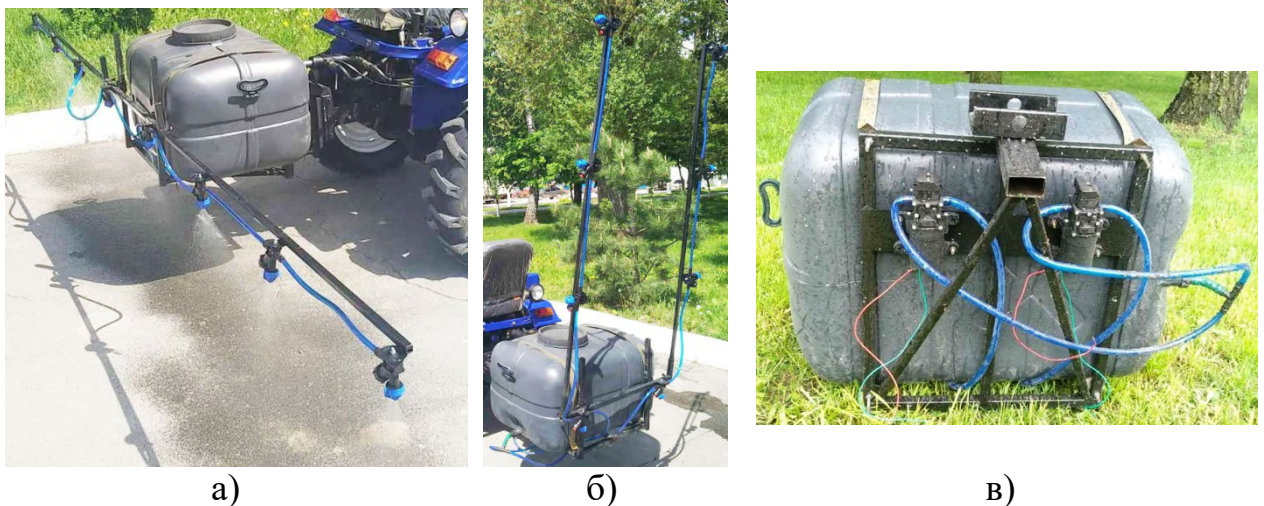


Рисунок 1.5 – Обприскувач на мототрактор 130 літрів (Агрокрам)

Це компактний навісний обприскувач, що має ширину штанги 4 м, на якій встановлено 8 розпилюючих пристроїв, рис. 1,5, а. Бак місткістю 130 л з робочою рідиною (рис. 1,5, в) живить напірну магістраль за допомогою двох мембранних електронасосів прямої подачі на розпилювачі. Штанга має можливість регулювання за висотою та переводу з робочого у транспортне положення. Суха маса обприскувача 25 кг. Агрегатується з енергозасобами малої потужності при наявності у них системи навіски. Заявлена виробником продуктивність – 1 га/год.

Інша система нагнітання робочого тиску в напірній магістралі використана на обприскувачі української фірми Agrofaste [1] – це витіснення робочої рідини з використанням надлишкового тиску, що створюється компресором.



а)



б)

Рисунок 1.6 – Обприскувач для мінітрактора 80 л (Agrofast)

В якості резервуара тут використано бак 80 л від гідроаккумулятора насосної установки, де робочий тиск допускається до 0,8 МПа. Електричний компресор Ураган продуктивністю 35 л/хв створює надлишковий тиск, що витискає робочу рідину через вісім розпилювачів, що встановлені на штанзі. Ширина захоплення, при врахуванні кута розпилення розпилювачами, складає 5,5 м. Сама штага по висоті може на рамі фіксуватися у кількох положеннях. Перевід у транспортне положення здійснюється за допомогою часткового розбирання секцій та фіксування їх у спеціальному консольному тримачі.

Якщо аналізувати ці дві моделі обприскувачів (рис. 1.5 і 1.6), то вони дуже подібні між собою, відрізняються тільки системами витіснення рідини. За такого конструктивного виконання ці навісні обприскувачі будуть добре працювати при обприскуванні польових культур, але тільки за певних умов.

Тут зі зростанням технологічного рівня машини більш прискіпливо ставимося до забезпечення нею агротехнічних вимог при обприскуванні.

Найперше, це норма внесення робочого препарату на оброблювану площу. Щоб забезпечити задану норму внесення потрібно правильно

узгодити тиск в напірній магістралі з витратою через визначене число розпилювачів та швидкістю руху агрегату. Викликає сумнів чітке забезпечення заданої норми виливу, оскільки тиск в напірній магістралі не підтримується сталим – в наведених конструкціях відсутні будь-які регулятори тиску. Задану швидкість руху важко підтримувати на різних енергозасобах, оскільки не всі мототрактори, а тим більше мотоблоки з адаптерами, мають спідометри чи тахометри. При роботі у міжряддях різних просапних культур ширина колії трактора не співпадає з міжряддями культури або важко її змінити, виникають проблеми при обробці відносно високорослих культур (наприклад обробка картоплі до чи після фази цвітіння) із-за малого кліренсу енергозасобу тощо. Крім того, жорстке закріплення штанги на рамі обприскувача не сприяє її стабілізації при русі енергозасобу польовими нерівностями. За таких умов динамічно змінюється відстань до об'єкту обробки, а від того і норма внесення, а також це має суттєвий вплив на ресурс роботи каркасів і рами самого обприскувача [2, 3, 6, 7, 15, 65].

Що стосується причіпних обприскувачів, ринок таких машин має значно менше пропозицій, але розглянемо деякі конструкції, рис. 1.7.



Рисунок 1.7 – Обприскувач для мотоблока і мототрактора

На рис. 1.7, а представлений обприскувач для мотоблока і мототрактора українського виробника ПП Крючков [28].

Даний причіпний обприскувач приєднується до мотоблока з допомогою адаптера. Випускається у трьох варіантах об'ємів баків: 85 л, 150 л та 250 л. Робочий тиск 0,25-0,30 МПа нагнітається за допомогою мотопомпи або відцентрового насоса (рис. 1.7, б). Такі обприскувачі мають можливість регулювання висоти і ширини колії (мінімальна ширина – 0,8 м), а також регулювання висоти встановлення штанги. На штанзі змонтовано 8 розпилювачів, що дозволяє забезпечити ширину захоплення до 3,5 м. Маса обприскувача з порожнім баком (без насоса) – 39 кг.

Іншим прикладом може слугувати обприскувач причіпний до мінітрактора NorthStar (79 л) (США), рис. 1.8 [117].



а)



б)

Рисунок 1.8 – Обприскувач причіпний до мінітрактора NorthStar (79 л)

Даний обприскувач може використовуватися у різних варіантах використання розпилюючих пристроїв – навісної штанги з шістьма розпилювачами або ручної штанги. Він призначений, в основному, для роботи у садах, можна ним обробляти газони, інші подібні ділянки. Напір робочої рідини до 0,48 МПа створюється електричним насосом (12 В), що має продуктивність 8,3 л/хв. Загальна маса незаправленого обприскувача складає 27,2 кг.

Таким чином, наведені причіпні обприскувачі (рис. 1.7 і 1.8) мають свої переваги та недоліки. Наприклад, причіпний обприскувач ПП Крючков (рис. 1.7) має достатньо великий кліренс та можливість зміни ширини колії,

подібно як запропоновано у роботах [70, 71, 72, 75, 109, 110, 124, 127, 128, 129, 131, 138], але у агрегаті із мотоблоком його функціональні можливості обмежені. Це обмеження пов'язане з тим, що мотоблок немає такого кліренсу та можливості легко змінювати ширину колії, наприклад, при переїзді на іншу площу. Крім того, в обприскувачі відсутня система стабілізації штанги, що сприяє її значним коливанням, які збурюються колесами обприскувача і це погіршує якість нанесення робочого препарату на поверхні рослин. Витрата робочої рідини залежить від тиску, що створюється електричним мембранним насосом, але значення цього тиску невизначене та не контрольоване, що також негативно може впливати на дотримання норми виливу отрутохімікатів.

В конструкції обприскувача причіпного до мінітрактора NorthStar, рис. 1.8 вже передбачено регулювання та контроль тиску, що створюється в напірний магістралі, але теж відсутнє стабілізування штанги, не регулюється ні кліренс, ні ширина колії, що значно обмежує його використання для хімічного захисту польових культур.

Підсумовуючи проведений аналіз конструктивних особливостей наведених мініобприскувачів, робимо наступні висновки.

Для окреслених площ (в межах 0,2 га) обробки польових культур ранцеві обприскувачі потребують значної затрати фізичної праці оператора: на переміщення маси обприскувача з робочою рідиною, підкачування ручним насосом (для варіанту без електричного насоса), часті заправки. Крім того, ручне переміщення штанги не може гарантувати рівномірності нанесення робочого препарату на всю площу.

Маса тачкових обприскувачів перенесена на їх шасі, але оператор повинен штовхати її для переміщення. Якщо говорити про міжряддя рослин, то пухкий ґрунт чинить певний опір, внаслідок утворення колії, що значно утруднює переміщення. До того ж малий кліренс та нерегульована колія не дозволяють рух міжряддями просапних культур. У варіанті використання навісної штанги – важко витримати постійною швидкістю переміщення, якщо

обприскувач рухати вручну, а при використанні мініенергозасобу виникають ті ж проблеми – малий кліренс енергозасобу, нездатність регулювати ширину колії. Також відсутня система стабілізації штанги.

Навісні обприскувачі в більшій мірі залежать від параметрів шасі енергозасобу. Тут, переважно, виникають ті ж проблеми – обмежені регулювання ширини колії та фіксований кліренс, що звужує їх використання у певних фазах розвитку рослин, коли вже дорожнього просвіту енергозасобу недостатньо, щоб не пошкоджувати рослини при обробці. Крім того, тут спостерігається відсутність системи стабілізації штанги, що призводить до її коливань, які передаються від коліс енергозасобу при русі польовими нерівностями, і це має вплив на рівномірність внесення робочого препарату та ресурс роботи.

Щодо причіпних мініобприскувачів, то в їх конструкціях можна усунути ряд описаних недоліків, але їх функціональність в значній мірі є обмеженою параметрами енергозасобів, з яким вони агрегуються. Для підвищення ефективності нанесення робочого препарату на оброблювані площі слід використовувати хоча б найпростіші маятникові підвіски для стабілізації штанги

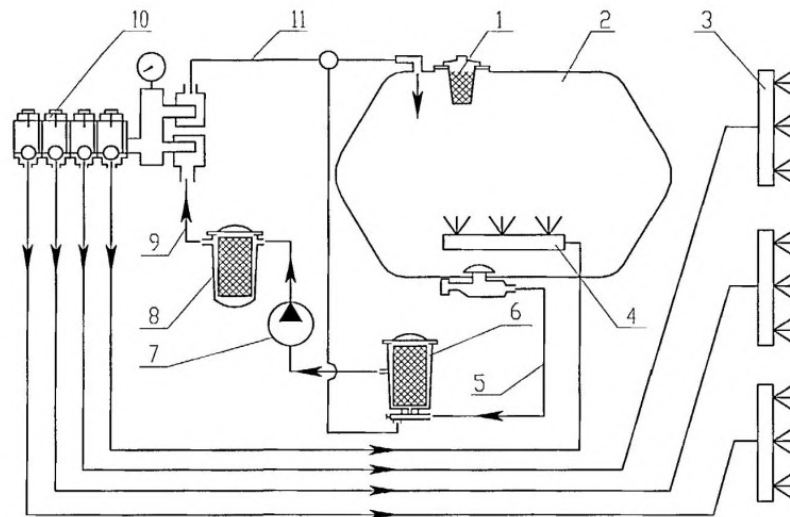
1.2 Аналіз конструктивно-технологічних параметрів малогабаритних обприскувачів та обґрунтування висоти розміщення штанги

Виконання аналізу конструктивно-технологічних параметрів обприскувачів поряд з агротехнічними вимогами до таких машин дає можливість зрозуміти наскільки та чи інша конструкція машини для хімічного захисту може забезпечити ефективну роботу обприскування сільськогосподарських культур. Крім того, треба розуміти, що технологічна операція обприскування виконується для різних культур та при різних умовах[133].

Особлива специфіка використання на практиці малогабаритних обприскувачів, оскільки вони призначені для виконання операцій захисту рослин на невеликих площах. Але разом з тим такі обприскувачі не повинні поступатися великим в якості нанесення робочого прелату на оброблювану поверхню рослини чи поля, вони повинні бути маневреними, економічними тощо.

Окреслені чинники спонукають до віднаходження нових рішень, які повинні бути втілені при вдосконаленні чи конструюванні такого роду машин.

Наведемо спрощену класичну принципову схему обприскувача, рис. 1.9 [93].



1 – фільтр заливної горловини; 2 – бак для робочої рідини; 3 – секції штанги; 4 – мішалка (гідравлічна); 5 – живильна магістраль з фільтром 6; 7 – насос; 8 – фільтр напірної магістралі 9; 10 – блок регулювальний; 11 – магістраль переливу

Рисунок 1.9 – Класична принципова схема обприскувача

Одним із ключових складових обприскувача є резервуар (бак) для робочої рідини. Для малогабаритних обприскувачів його об'єм буде визначати в певній мірі продуктивність та маневреність машини. Величина об'єму бака повинна бути такою, щоб обприскувач міг без дозаправки обробляти середньостатистичну площу, для робіт на якій він розраховується. Що стосується таких площ для малогабаритних обприскувачів, то як вже

згадувалося, що такі площі складають до 0,3 га [92]. Зважаючи, що середня норма виливу робочого препарату при звичайному обприскуванні складає в межах 200 л/га, що мінімальний об'єм бака для малогабаритного обприскувача повинен бути 60-80 л.

Можна, звичайно, закладати і більші об'єми – до 150-200 л з огляду на специфіку використання машини та типу самого обприскувача [62, 127, 129].

Більші об'єми бака можуть підвищити продуктивність обприскувача, якщо є потреба в послідовній обробці кількох полів зазначених невеликих площ. Але поряд з тим збільшений об'єм бака вимагає посиленої конструкції рами та його кріпильних елементів, що підвищує масу обприскувача в цілому та знижує маневреність, рис. 1.5, 1.6 .

Іншим, критично важливим елементом для роботи будь-якого обприскувача є пристрій для нагнітання тиску робочої рідини у напірній магістралі. Такими пристроями є або насоси різних типів, які рідину безпосередньо всмоктують з бака та нагнітають її в напірну магістраль, або на деяких обприскувачах застосовують пневмогідравлічну систему, тобто робочим пристроєм є компресор. Особливістю пневмогідравлічної системи є те, що бак повинен працювати в умовах надлишкового внутрішнього тиску, тобто як посудина під тиском, а це вимагає певних особливостей його розрахунку та конструювання. Про переваги та недоліки реалізації ідеї використання пневмогідравлічної системи розглянемо окремо.

Структуризуючи наведену принципову схему обприскувача (рис. 1.9), далі виділимо систему розпилювання робочого препарату. В технологічному плані це є основна система, яка забезпечує якість нанесення робочого препарату на оброблювані поверхні. Тут важливими елементами є розпилюючі пристрої (розпилювачі або форсунки), які закріплені на несучому елементі секції штанги. Від типу розпилювача залежить дисперсність розпилу робочої рідини та можливість її осідання на оброблювану поверхню. Найчастіше використовують щілинні розпилювачі, рис. 1.10, наприклад польського виробника Агропласт [58].



Рисунок 1.10 – Щілинні розпилювачі польської фірми Агропласт

Також дуже часто в системах нанесення робочого препарату використовують інжекторні розпилювачі, які ще ефективніше утворюють факел розпилу, утворюючи рівномірну дрібнодисперсну структуру. Провідним виробником таких розпилювачів є компанія TeeJet [43], рис. 1.11.



Рисунок 1.11 – Інжекторні розпилювачі фірми TeeJet

Відцентрові розпилювачі мають конусний факел розпилу робочого препарату, вони добре осаджують утворені частинки розпилу. Серед багатьох виробників таких розпилюючих пристроїв виділимо українського виробника фірму ECOJet [19], рис. 1.12.



Рисунок 1.12 – Відцентрові розпилювачі ECOJet

Тут наведено тільки кілька основних типів розпилюючих пристроїв, які використовуються в системі нанесення робочого препарату. Фірма-виробників та типів розпилювачів на ринку є дуже багато. Вони відрізняються ефективністю виконання технології нанесення робочого препарату за певних умов роботи, вартістю тощо.

Далі в технологічному ланцюзі реалізації принципової схеми обприскувача йде штанга. Це несучий елемент конструкції, де з певним кроком розміщені розпилюючі пристрої, що охоплюють певну ширину захвату машини при виконанні нею технологічного процесу. На перший погляд це простий елемент, який має втримувати розпилювачі на певній відстані між собою. Але це тільки одна із функцій штанги обприскувача. Щоб забезпечити високоякісне обприскування секції штанги мають забезпечувати стабільну відстань між розпилювачами та об'єктом обробки. І дане питання в конструкціях малогабаритних обприскувачів практично не вирішене.

Зробимо обґрунтування того, що зміна відстані від розпилювачів до оброблюваної поверхні при обприскуванні має суттєве значення.

Скористаємося схемою, що наведена в роботі [61, 73]

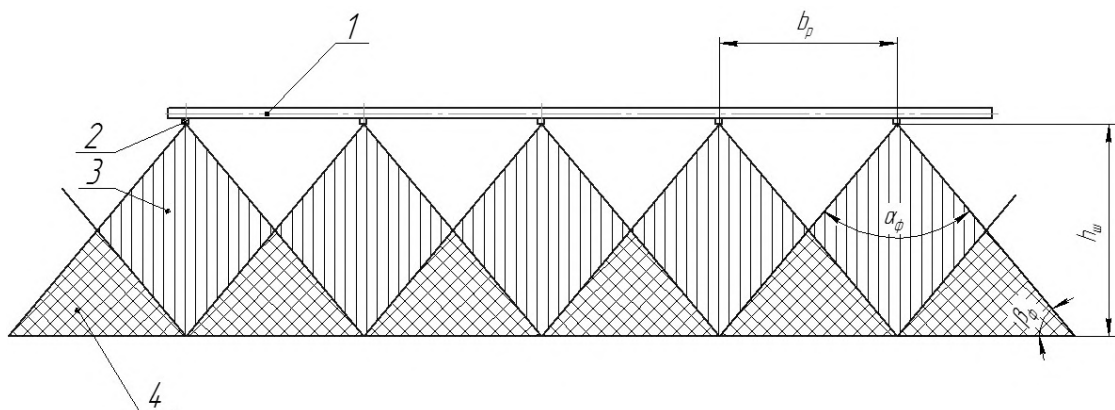


Рисунок 1.13 – Схема утворення факела розпилу робочої рідини

На цьому рисунку показано, що на несучому елементі штанги 1 (рис. 1.13) розпилювачі 2 розміщені з кроком b_p та утворюють факел розпилу 3. На певній відстані від розпилювачів 2 факели розпилу 3

перекриваються та утворюють зону 4, де концентрація робочого препарату забезпечена роботою двох чи більше розпилювачів. Автором [61] запропоновано розрахункову залежність, яка регламентує висоту встановлення штанги над об'єктом обробки за умови подвійного перекриття факелів розпилу для надійного та рівномірного нанесення робочого препарату.

$$h_u = \frac{b_p \sin \beta_\phi}{\sin \frac{\alpha_\phi}{2}}, \quad (1.1)$$

де b_p – крок розміщення розпилюючих пристроїв на несучому елементі штанги;

α_ϕ – кут розпилу робочого препарату, що утворює розпилювач;

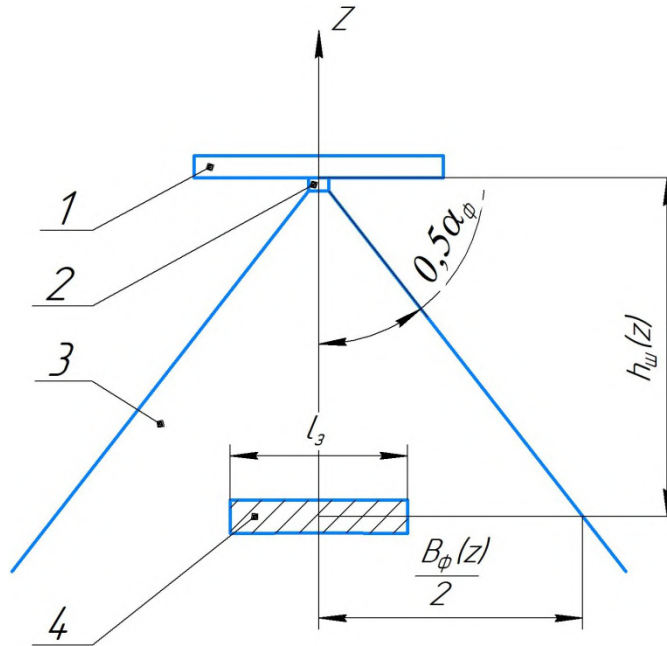
β_ϕ – кут умовної твірної факела розпилу робочої рідини до горизонталі.

З рис. 1.13 видно, що при зміні висоти встановлення штанги концентрація робочого розчину є також різною. Дану проблему тут доцільно розділити на дві: вплив зміни висоти штанги при суцільному обприскуванні; при обробці просапних культур у міжряддях. Для першого випадку дана проблема є менш критичною, оскільки висота штанги майже в кожному випадку забезпечується до рівня перекриття двох факелів розпилу і рівномірність нанесення робочого препарату лежить в межах агротехнічних вимог. Допустиме відхилення рівномірності нанесення робочого препарату за шириною захвату штанги не повинно перевищувати 30% [91] або за іншим джерелом 25% [59]. Навіть з того, що такі значні відсотки відхилення рівномірності допускають агротехнічні вимоги допускають, це означає, що проблема суттєва [76, 77, 88].

Значно більшим таке відхилення можна є при виконанні обприскування у міжряддях просапних культур. І тут можна спостерігати нерівномірність внесення не тільки за шириною штанги, а й внесення норми загалом.

Покажемо залежність впливу висоти встановлення штанги над об'єктом обробки на забезпечення заданої норми внесення.

Для виведення такої залежності припустимо, що факел розпилю робочого препарату має трикутний профіль з кутом α_ϕ при вершині, основа має ширину B_ϕ , рис. 1.14.



1 – фрагмент штанги; 2 – розпилювач; 3 – профіль факела розпилю; 4 – ширина зони обробки просапної культури

Рисунок 1.14 – Схема для визначення нерівномірності обприскування від висоти встановлення штанги

Запишемо основні співвідношення:

$$\frac{B_\phi}{2} = z \operatorname{tg} \frac{\alpha_\phi}{2},$$

де z – вертикальна змінна координата, що визначає положення висоти штанги h_w ;

тоді

$$B_\phi = 2 z \operatorname{tg} \frac{\alpha_\phi}{2}. \quad (1.2)$$

Якщо вважати, що в будь-якому перетині горизонтальною площиною профілю факелу розпилу виливається норма, що визначена на ширину питомої площі, яка відповідає крокові встановлення розпилювачів, то ступінь обробки δ може бути визначена за співвідношенням (1.3), причому, це співвідношення справедливе, коли $B_\phi \leq b_p$ при n розпилювачів на штанзі

$$\delta = \frac{l_z}{B_\phi} = \frac{l_z}{2z \operatorname{tg} \frac{\alpha_\phi}{2}}, \quad (1.3)$$

де l_z – ширина зони обприскування просапної культури.

За аналізом виразу (1.3) можна зробити висновок, що повна норма виливу робочого препарату на об'єкт обробки буде забезпечена тільки у двох випадках: коли ширина зони обприскування l_z буде рівною ширині основи факелу розпилу B_ϕ , а з іншого боку ця ширина відповідатиме кроку b_p розстановки розпилювачів на штанзі, рис. 1.15, а. За таких умов фактично матимемо суцільне обприскування; у другому випадку ширина зони обприскування l_z повинна бути рівною ширині основи факелу розпилу B_ϕ в деякому перетині, де ці величини співпадають, рис. 1.15, б. Схематично це повинно виглядати наступним чином, рис. 1.15.

На рис. 1.15, а штанга розміщена на висоті h_u , що забезпечує можливість утворити факели розпилу, основа яких є не меншою від кроку встановлення розпилювачів b_p . Це граничний випадок, коли розпил робочої рідини покриває всю площу за шириною захвату штанги. Подальше збільшення висоти дозволить утворити зони перекриття факелів розпилу, що дозволяє вважати витримуванням норми виливу розпилювачами, але на ширину, що відповідає кроку встановлення розпилювачів. Тобто, якщо говорити про суцільне внесення робочого препарату на оброблювані площі, то при висоті штанги $\geq h_u$ як показано на рис. 1.15, а можна стверджувати,

що за решту відповідних умов – норма витримується. Причому висоту штанги не можна піднімати на будь-яку висоту, оскільки її значення обмежують інші чинники – можливість осадження краплин, випаровування, знос повітряними тощо.

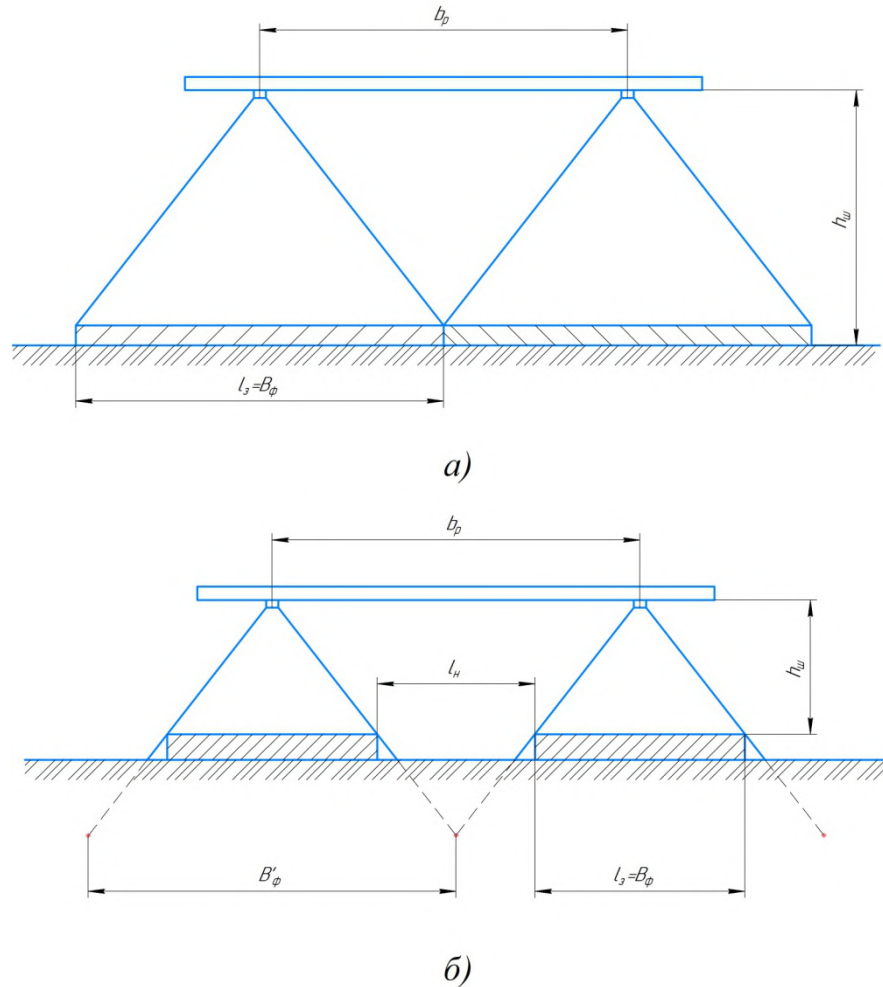


Рисунок 1.15 – Схема до визначення ступеня обробки δ
ширина зони обприскування l_z

А тепер на це питання поглянемо під іншим кутом. Якщо висота встановлення штанги така як на рис. 1.15, а, але ширина зони обробітку l_z є значно меншою від ширини основи факелу розпилу B_ϕ , то це означає, що на зону обробітку потрапить в стільки раз менше робочого препарату у скільки разів є меншою ширина зони обробітку l_z у порівнянні до ширини основи факелу розпилу B_ϕ (залежність (1.3)). Це в свою чергу призведе до неякісного обробітку рослин. Такий випадок можна спостерігати при обробці

просапних культур, коли ширина листової частини ще не зникається у міжряддях або культура є низькорослою чи міжряддя великими. Якщо ж агрономи враховують цей момент і збільшують загальний вплив робочої рідини на гектар, щоб на листову зону потрапляла норма, то тоді будемо спостерігати значну перевитрату препарату у «чорні» міжряддя шириною l_n , де такий обробіток є непотрібним. І як було вже відзначено вище, якщо розрахунок йде на гектар в надії, що весь препарат потрапляє на листову частину рослин, то ефект протилежний – рослини значно недобирають норми, що при рівномірній концентрації розчину у факелі розпилу на їх поверхні попадає тільки частина. За таких умов норма є значно зменшеною.

На рис. 1.15, б приведено випадок, коли висота встановлення штанги h_u забезпечує можливість співпадання ширини зони обробітку l_z з основою факелу розпилу B_ϕ в даному перетині (уявна геометрична ширина основи буде B'_ϕ). З такої умови норма виливу робочого препарату буде повністю перенесена на поверхню рослин. Зміна положення штанги призведе до зміни норми виливу: збільшення висоти – зменшить норму виливу, настане випадок, який описаний на основі рис. 1.15, а; зменшення висоти встановлення штанги над об'єктом обробки призведе до нерівномірності обприскування в зоні обробітку l_z . Тут можна буде спостерігати перевищення концентрації робочого препарату в зоні ширини основи факела розпилу, а решту ширини зони обробітку будуть піддані значно меншій нормі або взагалі будуть необробленими.

Як видно з наведеного обґрунтування, що висота встановлення штанги над об'єктом обробки має пряме відношення щодо забезпечення норми виливу робочого препарату. Тут під висотою встановлення висоти штанги мається на увазі і її зміну при переміщенні обприскувача полем, тобто питання стабілізації штанги впливає не тільки міцності та ресурсу такої конструкції, а, найперше, на дотримання норми внесення при обприскуванні, тобто з технологічної точки зору. Для мініобприскувачів питання стабілізації

штанги практично не вирішене на жодній моделі, по крайній мірі для основних конструкцій таких машин, що є на ринку.

В цілому, на основі проведеного аналізу конструктивно-технологічних параметрів малогабаритних обприскувачів, зроблено певні обґрунтування щодо основних складових обприскувача, на основі яких будуть прийняті рішення при створенні нової конструкції малогабаритного обприскувача.

1.3 Аналіз конструкцій функціонально-несучих елементів малогабаритних обприскувачів

Виробництво малогабаритних обприскувачів в Україні носить характер тільки фактичної збірки таких конструкцій зі складових, які мають універсальне призначення. Системне виробництво мініобприскувачів в Україні фактично відсутнє. Фірми-виробники обприскувачів – це ТДВ Львівагромашпроект та ПрАТ «Богуславська сільгосптехніка» не спеціалізуються на малогабаритній техніці, окрім поодиноких моделей. Наприклад, ТДВ Львівагромашпроект виробляє візкові тепличні обприскувачі УД-100. Наше дослідження спрямоване на конструкції малогабаритних обприскувачів навісних, причіпних, самохідних тощо, які призначені для роботи на відкритих площах при обробці різних сільськогосподарських культур, в тому числі і просапних. Тобто для порівняльного аналізу вибрану малогабаритні штангові обприскувачі класичної схеми. Такі обприскувачі відрізняються від тракторних тільки планованою продуктивністю, оскільки вони розраховуються на невеликі площі.

Короткий огляд малогабаритних обприскувачів різних виробників було зроблено у п. 1.1. Переходячи до розробленої конструкції малогабаритного обприскувача, що пропонується у роботі, загостримо увагу на системі

живлення розпилюючих пристроїв та способів навішування штанги на типових обприскувачах, які є у пропозиції на ринку таких машин.

На рис. 1.16 наведено конструкцію типового навісного на мотоблок обприскувача, який продається інтернет-магазином «Зелена лінія» [115]



а – загальний вигляд; б – бак пластиковий;
в – кріпильні елементи штанги

Рисунок 1.16 – Обприскувач для мотоблока 105 л (2 насоси, 10 форсунок)

Даний обприскувач має ширину захвату 5 м; бак – 105 л; пристроєм для нагнітання тиску робочої рідини служать два електричні (12 В) насоси високого тиску.

Одним з основних елементів конструкції є пластиковий бак об'ємом

105 л. Такі баки вимовляються для господарських цілей і основними виробниками є: Одеські виробники УкрПласт [135], ПП «Євро Пласт», ПП «Пласт бак»; Київський виробник ТМ «Укрхімпласт» [137]; Львівський виробник Укрпромсвіт [136] і т.д.



Рисунок 1.17 – Баки, які найбільше підходять до використання в конструкціях малогабаритних обприскувачів

При застосуванні вказаних баків в конструкціях малогабаритних обприскувачів виникає потреба у використанні насосів високого тиску для живлення робочою рідиною напірної магістралі. Одночасно з цим енергозасіб повинен мати достатньої потужності генератор чи акумуляторну батарею для живлення насосів.

З іншого боку, якщо малогабаритний обприскувач робити самохідним (привод від невеликої потужності ДВЗ), то там відсутній потрібної потужності генератор чи акумуляторна батарея. Транспортувати ж окрему заряджену акумуляторну батарею як джерело живлення насосів є також недоцільним.

Використання насосів малої продуктивності з механічним приводом, наприклад від ВВП енергозасобу, обмежене їх дефіцитом та дороговизною. Прикладом такої конструкції обприскувача може бути причіпний обприскувач, що наведений в працях [70, 71, 75, 88, 128, 129, 131].



а)



б)

Рисунок 1.18 – Малогабаритний причіпний обприскувач

Місткість бака наведеного обприскувача 150 л, ширина захвату штанги 4 м. Тут використано мембранно-поршневий насос серії МР 30, що має порівняно велику продуктивність відповідно до потреби даного обприскувача.

Деякі виробники як напірну магістраль для живлення розпилюючих пристроїв використовують пневмогідравлічну систему. За такою схемою роботи обприскувача потрібно мати резервуар (бак), який може працювати під тиском. Оскільки, як було обґрунтовано, для таких обприскувачів можна використовувати баки 60-80 л, то їх можна запозичити з систем автоматичної подачі води – гідроаккумулятори.

Приклад такого типу обприскувачів показано на рис. 1.19 [120].



Рисунок 1.19 – Обприскувачі з пневмогідравлічною системою

Даний обприскувач має ширину захвату 4,5 м, він обладнаний автомобільним компресором, що дозволяє при його живленні від мережі 12 В енергозасобу нагнітати тиск в резервуар, з якого витісняється робоча рідина.

Використання різних типів баків потребує різних способів їх закріплення, що має велике значення щодо виникнення локальних навантажень та напружень, які позначаються на ресурсі роботи такої конструкції. В роботі [14] розглянуто вплив локальних навантажень на напружено-деформований стан бака обприскувача та зроблено висновки щодо питомих значень таких впливів. Це дало нам можливість надалі скористатися цією методикою для вибору способу закріплення бака у розробленому обприскувачі.

Також підсумуємо щодо можливостей використання різних систем нагнітання тиску в напірній магістралі у конструкціях малогабаритних обприскувачів. Кожна з них має право на існування. Тут потрібно виходити з конкретних можливих умов його експлуатування в агрегаті чи виконання як самохідної машини.

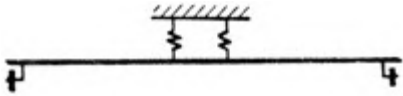
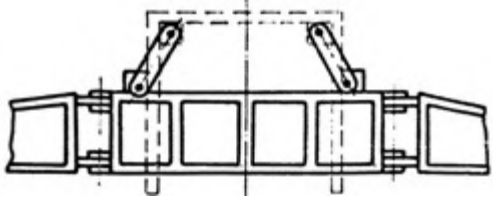
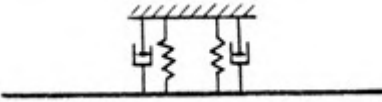
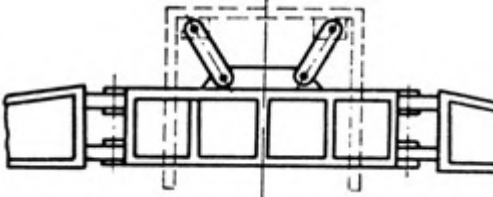
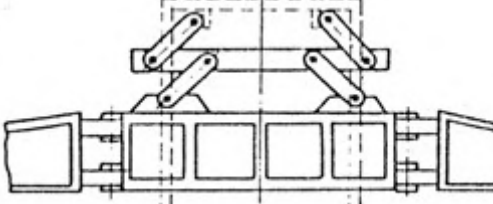
Другим ключовим аспектом в конструкції такого обприскувача є його штанга з розпилюючими пристроями та система її навіски чи просто кріплення. Основні конструкції штанг наведені на рис. 1,2, б; 1,5; 1,6; 1,7, а; 1,9; 1,17; 1,19. Всі ці конструкції штанг об'єднує те, що вона кріпиться до рами обприскувача жорстким з'єднанням, а це означає, що збурення, які виникають від коліс передаються на раму і відповідно на штангу. За такої компоновки обприскувача, будь-яке збурення від польової нерівності передасться безпосередньо на штангу. А в силу того, що ширина колії обприскувача чи енергетичного засобу, у випадку навісної конструкції обприскувача, є невеликою, то при незначній перешкоді під їх колесом вся система матиме значний кут поворот у поперечно-вертикальній площині, що спричинить значне відхилення секції штанги від горизонтального.

Таке збурення, найперше, спричиниться до зміни норми виливу робочого препарату на об'єкт обробки і в же в другу чергу – це динамічне

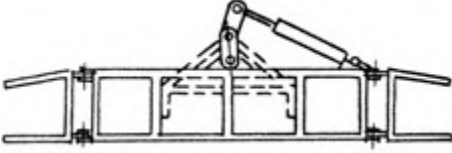
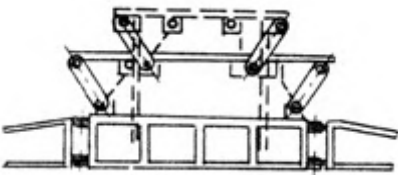
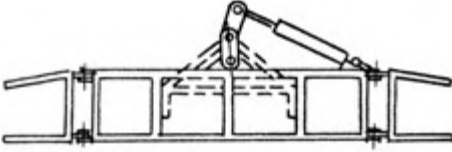
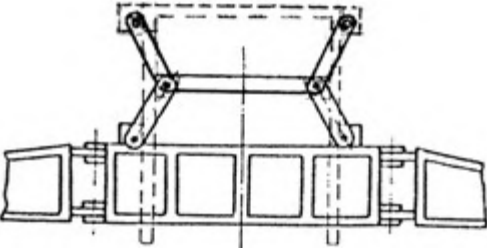
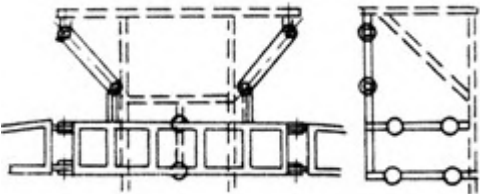
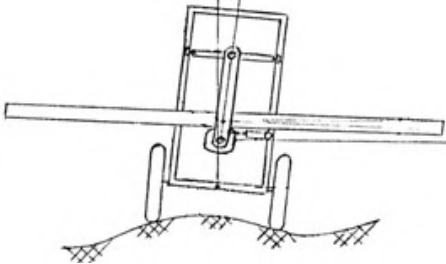
навантаження, яке має вплив на виникнення в характерних перетинах пікових напружень, що регламентують ресурс металоконструкції секції штанги [4, 5, 11, 12, 29, 42].

Питання зниження коливань штанги обприскувача від дії збурень таких коливань агрофоном поля в певній мірі вирішується при використанні різних типів підвісок штанг [10, 15, 80, 82, 84, 87]. Але проблема ще полягає в тому, що наведені конструкції підвісок штанг та ефекти зниження виникаючих коливань наведені для широкозахватних штанг та їх підвісок для «великих обприскувачів». Теоретичне підґрунтя до розрахунку таких конструкцій наведено в роботах Бабія А.В., Віковича І.А., Дівєєва Б.М., Афтаназіва І.С., Строгана О.І., Дороша І.Р., Дмитриченко М.Ф. [15, 65, 79, 81, 83, 85, 86, 96].

Таблиця 1.1 – Основні типи підвісок штангових обприскувачів [112]

Принципові схеми підвісок штангових обприскувачів			
1.	 З опорним колесом - копіром	7.	 A - подібна маятникова
2.	 Пружно - демпфуюча	8.	 V - подібна маятникова
3.	 Одношарнірна - маятникова	9.	 Чотиришарнірна маятникова типу Демаре

Закінчення таблиці 1.1

4.	 Одношарнірна - маятникова з регулюванням бокових секцій	10.	 Чотиришарнірна (V - подібна) маятникова
5.	 Маятникова з важелем - балансиrom	11.	 Чотиришарнірна (Ж - подібна) маятникова
6.	 Універсальна двошарнірна	12.	 З опорним барабаном (DOUVEN)

Представлені конструкції підвісок обприскувачів, переважно зорієнтовані на масивні металоконструкції секцій штанги, які займають стабільне положення при кінематичному збуренні вимушених коливань. В таблиці 1.1 наведені, в основному, різновиди маятникових підвісок. Застосувати їх функціональні схеми до реалізації в конструкції малогабаритного обприскувача можна, але очікувати ефективної роботи не доведеться. Причина в тому, що для малогабаритного обприскувача закладена невелика ширина захвату (в межах 5 м), а це означає, що маса, момент інерції такої штанги буде досить малим. Така конструкції не зможе реагувати адекватно на імпульси кінематичного збурення від опорних елементів обприскувача [30, 40, 41, 50,].

Для більш ефективної роботи штанги необхідно якимось чином

збільшити її масу, але не звичайним чином – вибрати масивні профілі, з яких зробити секції, чи зробити ферму з величезним запасом міцності та ресурсом роботи тощо. Збільшення маси повинно нести ефект підвищеної її стабілізації при коливаннях.

За оглядом літературних джерел автори наводять деякі рішення.

Наприклад, у патенті SU 1064932A, 7.01.84 р. [80] для збільшення маси штанги використано додаткову масу, яка знаходиться на спеціальному підвісі та розміщена так, що суттєво зміщує (понижує) центр ваги штанги, рис. 1.20. При цьому утворюється стабілізуючий момент, який постійно «повертає» штангу у горизонтальне положення (динамічний гасник коливань). Таке рішення для легких штанг може мати практичне використання, але тут є один суттєвий недолік – додаткова маса збільшує в цілому вагу обприскувача. З її наявністю зростають і всі інші показники затрат.

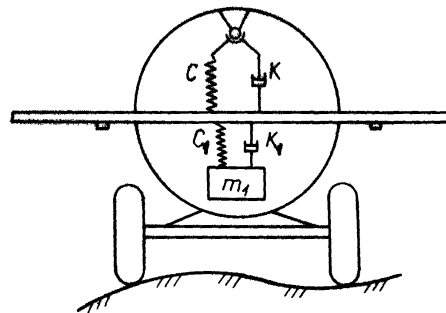
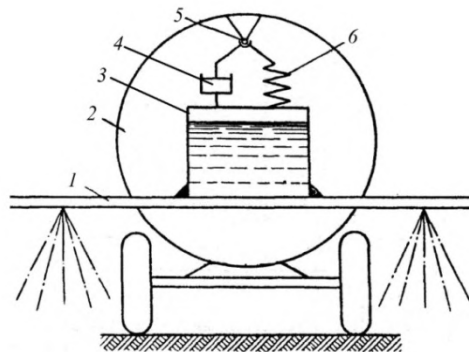


Рисунок 1.20 – Підвіска штанги з додатковою масою

Іншим прикладом може бути подібна схема, рис. 1.21 [80].



1 – несучий елемент штанги; 2 – основний бак; 3 – додатковий бак; 4 – демпфер; 5 – шарнірний підвіс; 6 – пружний елемент

Рисунок 1.21 – Конструкція механізму стабілізації штанги з штучним збільшенням її маси

У такій конструкції додатковий резервуар шарнірно закріплений через пружний та демфуючий елементи, що дозволяють гасити коливання штанги у вертикальній площині. Резервуар з рідиною виконує роль штучного збільшення маси штанги та динамічного гасника коливань. Проте, використання такого додаткового елемента значно ускладнює конструкцію, збільшує її габарити тощо.

Аналогічним чином конструкція, що наведена на рис. 1.22, є порівняно складною в реалізації на практиці та ефект згладжувати коливання знижується зі зменшенням рівня рідини у резервуарах як в основному так у додатковому резервуарах.

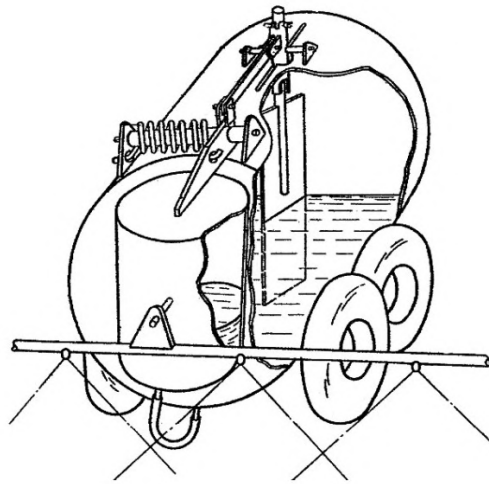


Рисунок 1.22 – Система стабілізації штанги з використанням додаткових пластин [80]

Таким чином, розглянувши основні типи простих підвісок, приходимо до висновку, що складні багатоланкові маятникові підвіски недоцільно використовувати у конструкції малогабаритного обприскувача, оскільки маса штанги є досить невеликою і тому ефект стабілізації не буде забезпеченим. А от ідея зі штучним збільшенням маси штанги може мати розвиток та втілення у пропонованій конструкції малогабаритного обприскувача.

1.4 Висновки, мета та задачі дослідження

Аналіз конструкцій малогабаритних обприскувачів показав, що при використанні ранцевих обприскувачів попри їх універсальність спостерігаються значні затрати фізичної праці та неможливість забезпечення рівномірності обприскування із-за ручного керування штангою; начіпні обприскувачі – потребують додаткового енергозасобу для навішування та транспортування і тут є обмеження щодо кліренсу машини та можливості змінювати ширину колії; причіпні обприскувачі також потребують енергетичного засобу для транспортування, який може обмежувати їх застосування із-за кліренсу та ширини колії. Крім того, всі розглядувані конструкції обприскувачів об'єднує – відсутність системи стабілізації штанги, що позначається на якості нанесення робочого препарату на оброблювану площу.

Тому, з метою підвищення якості нанесення робочого препарату на оброблювані поверхні, універсального використання щодо обробки різних сільськогосподарських культур, в тому числі робота у садах, зменшення ручної праці оператора тощо, необхідно розробити самохідний малогабаритний обприскувач, аналогів якому на ринку України не спостерігається.

До розробленої конструкції висуваються наступні вимоги:

- самопересувний (з допомогою двигуна);
- можливість змінювати ширину колії з допомогою сервісних механізмів;
- мати достатній кліренс або його регулювати;
- навісна штанга повинна мати систему стабілізації та регулюватися за висотою встановлення;
- в напірній магістралі повинен підтримуватися постійний і контрольований тиск робочої рідини;
- розроблена модель самохідного обприскувача повинна бути

доступною по вартості для середньостатистичного виробника сільськогосподарської продукції у підсобних господарствах.

При врахуванні цих вимог та реалізації конструкції обприскувача на практиці отримаємо високоефективну та конкурентоздатну машину на ринку мініобприскувачів.

На основі проведеного аналізу сформовано мету дисертаційного дослідження.

Метою роботи є підвищення ефективності хімічного захисту рослин шляхом удосконалення конструкції малогабаритного обприскувача з обґрунтуванням конструктивно-технологічних параметрів пневмогідравлічної системи живлення розпилюючих пристроїв та стабілізації штанги.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі дослідження:

- враховуючи відомі конструкції малогабаритних обприскувачів, запропонувати удосконалену конструктивну схему самохідного обприскувача з маятниковою підвіскою штанги;
- розробити теоретичні моделі, які описують напружено-деформований стан бака обприскувача, що транспортує робочу рідину та витісняє її при наявності надлишкового тиску;
- розробити динамічні моделі кутових та вертикальних коливань штанги обприскувача у системі маятнкової підвіски з доданою масою;
- виготовити малогабаритний самохідний штанговий обприскувач та провести його польові випробування;
- провести експериментальні дослідження міцності бака та кінематичних параметрів штанги обприскувача;
- виконати дослідження напруженого стану бака, кінематичних параметрів штанги, в тому числі, застосовуючи імітаційне моделювання.

Основні наукові результати розділу опубліковані у працях [14, 67, 68, 69, 101, 102, 103, 104, 106].

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МАЛОГАБАРИТНОГО САМОХІДНОГО ОБПРИСКУВАЧА

2.1 Аналіз напружено-деформованого стану бака при його використанні у пневмогідравлічній системі живлення розпилюючих органів штанги обприскувача

Для реалізації ідеї штучного збільшення маси штанги при використанні в системі стабілізації маси основного резервуару з рідиною, спочатку необхідно довести його функціональну здатність забезпечувати процес обприскування.

Однією із задач дисертаційного дослідження було провести розрахунок напружено-деформованого стану бака обприскувача при його роботі у пневмогідравлічній системі живлення розпилюючих органів штанги.

На даному етапі дослідження є необхідність у попередній оцінці напружено-деформованого стану бака обприскувача як посудини, що працює під надлишковим внутрішнім тиском. Для виконання такої оцінки спочатку потрібно застосувати найпростіший математичний апарат, який дає адекватний результат. На основі такої попередньої оцінки можна буде виявити слабкі сторони конструкції та врахувати це при способі закріплення бака на рамі обприскувача, вибрати його режим експлуатації тощо.

Розрахунок оболонок при різному їх навантаженні впливає із загальної теорії пластин, основні гіпотези якої були розроблені Робертом Кірхгофом. Пізніше Августом Лявом трансформовані у загальну теорію оболонок. Різні дослідники розглядають часткові випадки цієї теорії, де враховується особливості навантаження, геометрія оболонок, властивості її матеріалу тощо [14, 23, 25, 51, 52, 53, 54, 55, 98, 119, 122, 139]. Це призвело до виникнення ще ряду спеціальних теорій оболонок, які зорієнтовані на певну специфіку. Тому на стадії розрахунку варто правильно вибрати теорію,

яка б не була переобтяженою складністю математичних залежностей.

Якщо розглядати оболонки, які працюють під тиском, то тут витримується осесиметрична деформація як для оболонок обертання [119, 122], а їх безмоментне навантаження добре описується безмоментною теорією оболонок [122], яка для практичних розрахунків дає добрі результати та є простою у реалізації.

Також практичний інтерес представляють дослідження локальних конструктивних елементів оболонок чи специфіка їх навантаження [14]. Саме ці чинники можуть бути визначальними для міцності та стійкості оболонки в цілому.

Як було зазначено вище, що попередньо навантаження бака обприскувача буде тільки у вигляді внутрішнього тиску, яким витісняється робоча рідина. Це частковий випадок робочого режиму роботи обприскувача, коли бак має мінімальну кількість робочого препарату або порожній, а створений компресором тиск повітря до кінця витісняє всі залишки.

Покажемо схематично конструкцію бака обприскувача та вкажемо на його основні розміри, рис. 2.1.

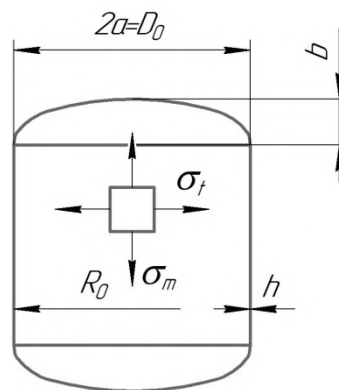


Рисунок 2.1 – Схема бак малогабаритного обприскувача

Використання залежностей для оцінки НДС завжди супроводжується певними припущеннями щодо вибору теорії, за якою цю процедуру можна реалізувати. Найдоцільніше було б виконати таку оцінку, спираючись на

безмоментну теорію оболонок, але спочатку потрібно встановити межі її використання.

Вчений Бідерман В.Л. в своїй книзі «Механіка тонкостінних конструкцій. Статика» вказує на те, що застосування безмоментної теорії оболонок має межі застосування. Це пов'язано з тим, що навантаження вздовж меридіана повинно суттєво повільніше змінюватись, ніж краєвий ефект; радіус кривизни меридіана утворених днищ оболонки не повинен мати порівняно велике значення (тип днищ наближається чи є плоскими), бо за таких умов на ці елементи буде діяти поперечна сила, яка для безмоментної теорії приймається рівною нулю. Тоді, за другою умовою, не можуть бути знайдені переміщення.

Тепер умовно розділимо таку оболонку на дві структурні частини – циліндричну обичайку та днища. Оцінимо НДС кожної з них.

Якщо обичайку розділити умовною січною площиною, що перпендикулярна до поздовжньої осі симетрії, то її рівновага буде в тому випадку, якщо прикласти внутрішні силові фактори, які визначимо, склавши рівняння рівноваги.

Пригадаємо, що оболонка знаходиться у плоскому напруженому стані (рис. 2.1), оскільки її товщина h у порівнянні з радіусом серединної лінії R_0 набагато менша і розподіл напружень в стінці σ_3 не розглядаємо, вважаємо, що $\sigma_3 = 0$, а $\sigma_1 = \sigma_t$ – напруження в коловому напрямку, $\sigma_2 = \sigma_m$ – в меридіональному.

Тоді, щоб зрівноважити відсічену частину складемо рівняння рівноваги у меридіональному напрямку

$$2\sigma_m \pi R_0 h = P, \quad (2.1)$$

де P – сила, що розтягує оболонку в осьовому напрямку, незалежно від форми днища,

$$P = \pi R_0^2 p, \quad (2.2)$$

де p – внутрішній надлишковий тиск, Па.

Тоді неважко записати вираз для меридіонального напруження

$$\sigma_m = \frac{pR_0}{2h}. \quad (2.3)$$

Для знаходження колового напруження в циліндричній частині оболонки скористаємося формулою Лапласа [119]

$$\frac{\sigma_t}{\rho_t} + \frac{\sigma_m}{\rho_m} = \frac{p}{h}, \quad (2.4)$$

тут $\rho_t = R_0$, $\rho_m = \infty$.

Звідки визначаємо вираз для колового напруження в циліндричній частині оболонки

$$\sigma_t = \frac{pR_0}{h}. \quad (2.5)$$

Для плоского напруженого стану оболонки доцільно використовувати четверту теорію міцності для віднаходження еквівалентних напружень в розглядуваних перетинах [119]

$$\sigma_{IV} = \sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_t^2 - \sigma_m \sigma_t} \leq [\sigma]. \quad (2.6)$$

де $[\sigma]$ – допустиме напруження для матеріалу оболонки, Па.

Виконаємо практичний розрахунок для циліндричної частини бака обприскувача з метою оцінки максимально допустимого тиску при експлуатаванні його в системі живлення розпилюючих пристроїв.

Пропонована до використання конструкція бака має наступні параметри: радіус обичайки $R_0 = 0,225$ м, товщина стінки $h = 0,001$ м, максимальний робочий тиск (визначається як параметр роботи розпилюючих пристроїв [19, 58]) – $0,6$ МПа; матеріал бака – нержавіюча сталь AISI 304 ($\sigma_T = 310$ МПа).

Результатом розрахунку є:

- меридіональне напруження за виразом (2.3)

$$\sigma_m = 67,5 \text{ МПа};$$

- колове напруження (2.5)

$$\sigma_t = 135 \text{ МПа};$$

- еквівалентне напруження (2.6)

$$\sigma_{IV} = 116,9 \text{ МПа}.$$

Максимальний допустимий внутрішній тиск при розрахунку циліндричної обичайки буде складати $[p] = 1,07$ МПа при допустимому напруженні $[\sigma] = 206,7$ МПа з врахуванням коефіцієнта запасу міцності $n = 1,5$.

Отримане значення допустимого тиску повністю задовольняє умову створенні надлишкового тиску у напірній магістралі для живлення робочих органів – розпилювачів. У переважній більшості випадків при використанні різних типів розпилювачів робочий тиск не перевищує $0,6$ МПа. Але тут варто розуміти, що попередня оцінка міцності бака зроблена при розрахунку її циліндричної обичайки і не є вичерпною. Крім навантаження внутрішнім надлишковим тиском оболонка ще сприймає гідростатичний тиск рідини. І ще тут існує один досить критичний момент – конструктивно циліндрична частина бака замикається днищами певної геометрії, ще можуть виникати краєві ефекти, які мають суттєвий вплив на міцність всієї конструкції. Враховуючи в теоретичному розрахунку всі ці чинники, можна говорити про певну об'єктивність оцінки напружено-деформованого стану такої оболонки – бака обприскувача.

2.2 Дослідження впливу краєвого ефекту при навантаженні днищ бака на загальний напружено-деформований стан оболонки

Перш, ніж перейти до виведення основних залежностей, що характеризують НДС днищ та околів їх приєднання, потрібно почати з теоретичного підґрунтя – загальної теорії тонкостінних оболонок.

Відомо [24, 118, 119, 122], що при виготовленні оболонки з ізотропного матеріалу нормальні напруженні з деформаціями пов'язані між собою законом Гука:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_{1z} + \mu\varepsilon_{2z}); \\ \sigma_2 &= \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_{2z} + \mu\varepsilon_{1z}),\end{aligned}\tag{2.7}$$

де E – модуль пружності матеріалу оболонки (днищ);

μ – коефіцієнт Пуассона;

$\varepsilon_{1z}, \varepsilon_{2z}$ – відносні деформації (видовження) еквідистантного шару оболонки;

Нехтуючи дуже незначною зміною напруження в товщині стінки оболонки як тонкостінного елементу, що лежить в межах похибки самих гіпотез Кіргоффа-Лява, напруження в оболонці можуть бути представлені залежностями

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{E}{1-\mu^2}[\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2 + (\chi_1 + \mu\chi_2)z]; \\ \sigma_2 &= \frac{E}{1-\mu^2}[\varepsilon_2 + \mu\varepsilon_1 + (\chi_2 + \mu\chi_1)z],\end{aligned}\tag{2.8}$$

де χ_1, χ_2 – параметри зміни кривизни серединної поверхні.

Тут маємо

$$\chi_1 = \frac{d\vartheta}{ds}; \quad (2.9)$$

$$\chi_2 = \frac{\cos \theta}{r} \vartheta, \quad (2.10)$$

де ϑ – кут повороту нормалі;

ds – елементарна дуга;

θ – кут між нормаллю до серединної поверхні оболонки та її віссю симетрії;

r – радіус кривизни в даній точці.

Тоді на основі рис. 2.2

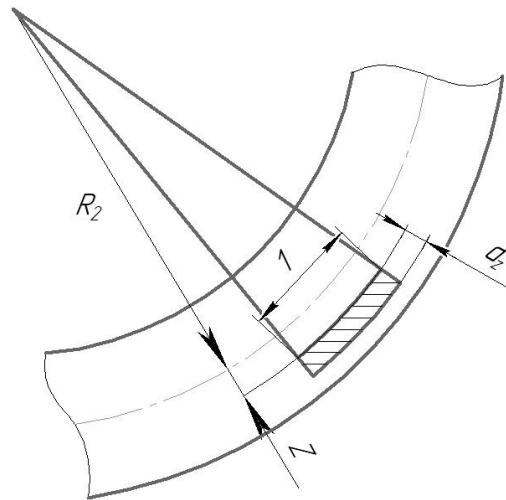


Рисунок 2.2 – Фрагмент оболонки для визначення дії внутрішніх сил

Внутрішні зусилля, що виникають у меридіональному напрямку

$$T_1 = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_1 \left(1 + \frac{z}{R_2} \right) dz, \quad (2.11)$$

згинний момент

$$M_1 = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_1 \left(1 + \frac{z}{R_2} \right) z dz. \quad (2.12)$$

Якщо врахувати, що $\frac{z}{R_2} \ll 1$, то після інтегрування (2.11) та (2.12) та підставити у (2.8), отримаємо:

$$T_1 = \frac{Eh}{1 - \mu^2} (\varepsilon_1 + \mu \varepsilon_2); \quad (2.13)$$

$$M_1 = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)} (\chi_1 + \mu \chi_2). \quad (2.14)$$

Інтенсивність поперечної сили, що діє в перетині, який є нормальним до меридіана

$$Q = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{1z} \left(1 + \frac{z}{R_2} \right) dz, \quad (2.15)$$

де τ_{1z} – дотичне напруження в перетині нормальному до меридіана.

Аналогічним чином можна представити внутрішні сили та моменти у перетині вздовж меридіана:

$$T_2 = \frac{Eh}{1 - \mu^2} (\varepsilon_2 + \mu \varepsilon_1); \quad (2.16)$$

$$M_2 = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)} (\chi_2 + \mu \chi_1). \quad (2.17)$$

Поперечна сила в цьому перетині відсутня.

Далі записують рівняння рівноваги, враховують діюче навантаження та вишукують найпростіший спосіб розв'язку.

Якщо перейти до безмоментної теорії, де виключаємо вплив поперечної сили, то умова рівності нулю суми проекцій діючих сил в напрямку меридіана на елементарну площадку становитиме

$$\frac{1}{r} \frac{d}{ds} \left(\frac{F(s)}{2\pi \sin \theta} \right) - \frac{\cos \theta}{r} \left(q_n R_2 - \frac{F(s)}{2\pi r \sin \theta} \frac{R_2}{R_1} \right) + q_1 = 0, \quad (2.18)$$

де $F(s)$ – сумарне навантаження на розглядуваний елемент оболонки

$$F(s) = P_0 + \int_{s_0}^s (q_n \cos \theta - q_1 \sin \theta) 2\pi r ds, \quad (2.19)$$

тут P_0 – осьове навантаження;

q_1, q_n – розподілене навантаження.

Тоді деформації серединної поверхні оболонки будуть становити:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{Eh} \left[\frac{F(s)}{2\pi r \sin \theta} - \mu \left(q_n R_2 - \frac{F(s)}{2\pi r \sin \theta} \frac{R_2}{R_1} \right) \right]; \quad (2.20)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{Eh} \left[q_n R_2 - \frac{F(s)}{2\pi r \sin \theta} \left(\frac{R_2}{R_1} + \mu \right) \right]; \quad (2.21)$$

Радіальне переміщення серединної поверхні оболонки становитиме

$$\omega = r \varepsilon_2; \quad (2.22)$$

Поворот нормалі

$$\mathcal{G} = -\frac{1}{\sin \theta} \left(\cos \theta (Eh)^{-1} \left[\begin{aligned} &\mu \left[R_2 q_n - \frac{R_2 [P_0 + 2\pi r (s - s_0) (q_n \cos \theta - q_1 \sin \theta)]}{2\pi r R_1 \sin \theta} \right] - \\ &-\frac{P_0 + 2\pi r (s - s_0) (q_n \cos \theta - q_1 \sin \theta)}{2\pi r \sin \theta} \end{aligned} \right] - \frac{r (q_n \cos \theta - q_1 \sin \theta) \left(\mu + \frac{R_2}{R_1} \right)}{Eh \sin \theta} \right). \quad (2.23)$$

Аналізуючи пропоновану конструкцію бака обприскувача (рис. 2.1), бачимо, що це циліндрична оболонка з півеліптичними днищами. Перша та друга умови використання безмоментної теорії виконуються: навантаження (внутрішній тиск є постійним в кожній точці оболонки); закон зміни меридіана утворює півеліптичні днища.

Для оцінки НДС днища оболонки – бака обприскувача, спочатку необхідно описати його геометрію. Як було зазначено, що такі днища є півеліптичними, для яких потрібно встановити співвідношення між величинами півосей a і b еліпсоїда. За фізичною конструкцією днища бака (рис. 2.1) маємо : $a = \frac{1}{2} D_0$, $b = \frac{1}{4} D_0$.

Тоді для тіла обертання другого порядку – півеліптичного днища радіуси кривизни можуть бути описані залежностями (2.24) та (2.25):

$$R_1 = \frac{D_0}{\sqrt{\left(1 + \left(\frac{a^2}{b^2} - 1\right) \sin^2 \theta\right)^3}}; \quad (2.24)$$

$$R_2 = \frac{D_0}{\sqrt{\left(1 + \left(\frac{a^2}{b^2} - 1\right) \sin^2 \theta\right)}}. \quad (2.25)$$

Радіуси R_1 та R_2 , що описують геометрію днища і лежать в діапазоні зміни кута θ : $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$.

Тоді напруження у днищі у меридіональному напрямку буде становити

$$\sigma_{md} = \frac{1}{2h} \frac{pD_0}{\sqrt{\left(1 + \left(\frac{a^2}{b^2} - 1\right) \sin^2 \theta\right)}}; \quad (2.26)$$

колове напруження в днищі –

$$\sigma_{td} = \frac{1}{2h} pD_0 \frac{1 - \left(\frac{a^2}{b^2} - 1\right) \sin^2 \theta}{\sqrt{\left(1 + \left(\frac{a^2}{b^2} - 1\right) \sin^2 \theta\right)}}. \quad (2.27)$$

Еквівалентні напруження, що виникають в днищах будемо знаходити за аналогічною залежністю до виразу (2.6).

За результатами аналітичного розрахунку встановлено, що максимальні еквівалентні напруження в днищах спостерігаються в околі їх приєднання до циліндричної частини резервуара ($\theta = \pm \frac{\pi}{2}$) – 178,6 МПа. Це викликано ефектом стиснення циліндричної частини від дії внутрішнього тиску на днище. Колові стискуючі напруження в цьому перетині складають – 135 МПа, меридіональні – 67,5 МПа. В центральній частині днища всі напруження мають значення – 135 МПа.

Графічна інтерпретація отриманих результатів розрахунку показана на рис. 2.3. Тут суцільною лінією показані еквівалентні напруження, штрих-пунктирною – колові та лінією, що утворена крапками – меридіональні.

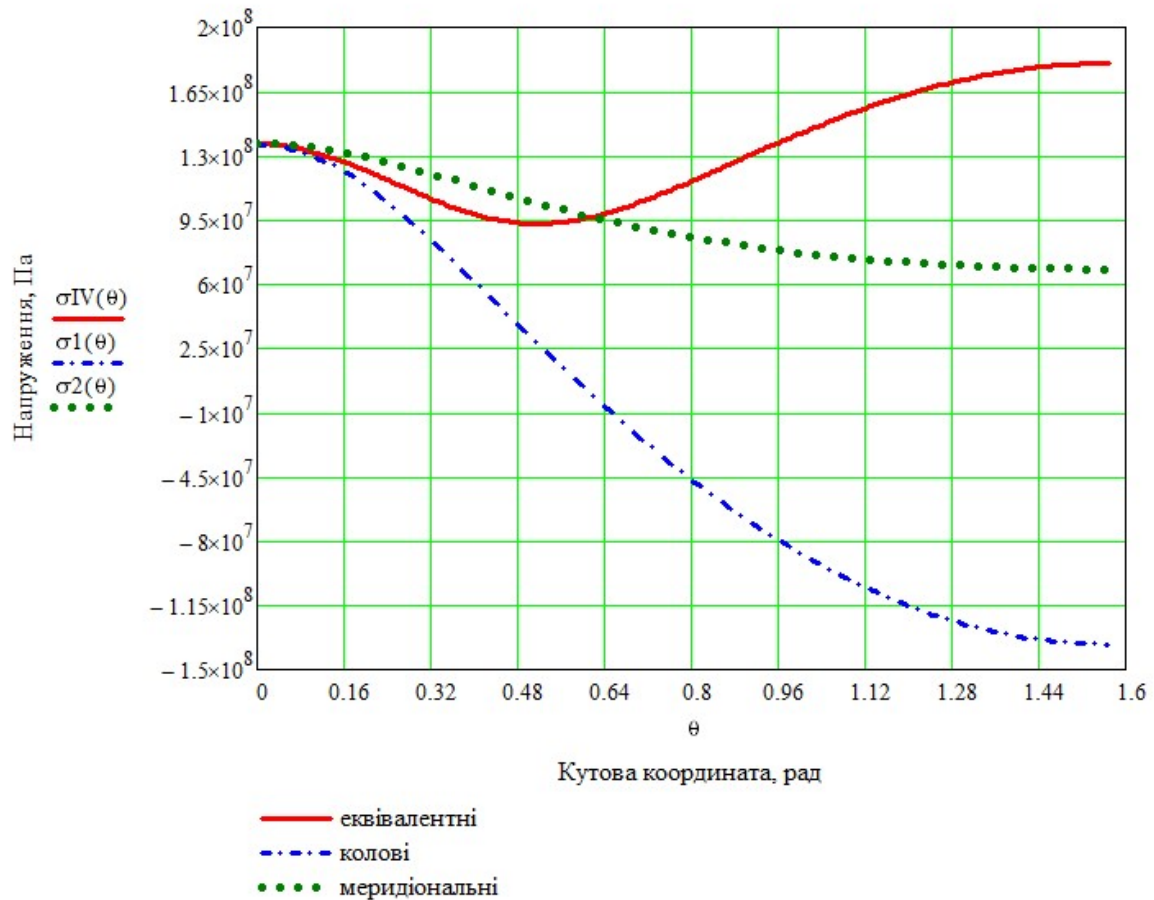


Рисунок 2.3 – Розподіл напружень в днищах бака

При дослідженні напружено-деформованого стану бака як оболонки, що працює при дії на неї внутрішнього тиску використано безмоментну теорію оболонок, для якої зазначені межі її застосування. На цій основі описані вирази напружень, що виникають в циліндричній частині оболонки, описано зміну радіусів кривизни, якими описуються днища та записано вирази меридіональних та колових напружень. За проведеним теоретичним розрахунком НДС оболонки при дії на неї максимального внутрішнього робочого тиску 0,6 МПа та з врахуванням краєвих ефектів встановлено наступне:

в циліндричній частині оболонки виникають меридіональні напруження $\sigma_m = 67,5$ МПа; колові – $\sigma_t = 135$ МПа; еквівалентні – $\sigma_{IV} = 116,9$ МПа; максимальний допустимий внутрішній тиск для циліндричної обичайки буде складати $[p] = 1,07$ МПа; для днищ еквівалентні напруження в околі їх приєднання до циліндричної частини резервуара ($\theta = \pm \frac{\pi}{2}$) – 178,6 МПа; колові стискуючі напруження (проявляється краєвий ефект) в цьому перетині складають – 135 МПа, меридіональні – 67,5 МПа; в центральній частині днищ всі напруження мають значення – 135 МПа; максимальний допустимий внутрішній тиск на днища не повинен перевищувати 0,7 МПа.

Таким чином, для безпечного експлуатування бака обприскувача, робочий внутрішній тиск, не повинен перевищувати 0,7 МПа і це без врахування гідростатичного тиску від дії рідини та способу закріплення. Для підвищення значення допустимого внутрішнього тиску до значення за критерієм міцності циліндричної частини околі приєднання днищ потрібно підсилити розпірним кільцями чи іншими конструктивними елементами, що унеможливають втрату стійкості оболонки.

2.3 Дослідження напружено-деформованого стану бака обприскувача під дією внутрішнього надлишкового тиску та дії гідростатичного тиску робочої рідини

За виконаними дослідженнями, результати яких наведені в роботі [14], встановлено, що залежно від величини внутрішнього надлишкового тиску в оболонці питома частка виникнення НДС оболонки від гідростатичного тиску робочої рідини є досить незначною для такого об'єму бака і вона в більшій мірі залежить від способу закріплення бака на рамі обприскувача та використання інших кріпильних елементів таких як бандажі. Для

забезпечення кращого ефекту штучного збільшення маси штанги при її стабілізації через використання маси бака з робочою рідиною, прийнято рішення про його вертикальне розміщення як на рис. 2.1. Такий спосіб буде реалізовано при вільному обпиранні бака днищем на підготовлену кругову опору. Стійке його положення буде забезпечуватись іншими кріпильними елементами, які не чинять дії на стінки бака.

Далі проведемо моделювання дії гідростатичного тиску робочої рідини на циліндричну частину бака та його півеліптичні днища.

Питання, що стосуються руху рідин, процесів змішування та розпилення компонентів робочої суміші, моделювання та експериментальне дослідження наведених процесів добре розвинуті у роботах [8, 16, 17, 27, 31, 32, 34, 37, 38, 123].

Для визначення залежностей дії гідростатичного тиску робочої рідини на стінки бака обприскувача підготуємо деяке теоретичне підґрунтя [100, 107].

Щоб встановити дію тиску p_p в точці, то його середнє значення повинно бути зосередженим на площадці ΔF , величина площі якої прямує до нуля.

У математичному значенні таке твердження можна описати виразом

$$p_p = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P_p}{\Delta A} = \frac{dP_p}{dA}, \quad (2.28)$$

де ΔP_p – сила гідростатичного тиску.

Таким чином, з виразу (2.28) можна знайти силу тиску в точці чи на елементарній площадці стінки бака

$$dP_p = p_p dA. \quad (2.29)$$

Потрібно виділити дві важливі властивості гідростатичного тиску: він завжди діє по нормалі (нормальний) до поверхні; гідростатичний тиск у будь-якій точці простору однаковий у всіх напрямках.

Друга властивість дає розуміння того, що незалежно від кута нахилу площини на яку він діє, значення має тільки її просторове розташування, тобто гідростатичний тиск це функція $p_p = f(x, y, z)$.

Визначення дії гідростатичного тиску на стінки бака базується на основному диференціальному рівнянні гідростатики, яке випливає з рівняння Ейлера [100].

$$\frac{\partial p_p}{\partial x} dx + \frac{\partial p_p}{\partial y} dy + \frac{\partial p_p}{\partial z} dz = \rho(Xdx + Ydy + Zdz), \quad (2.30)$$

де ρ – щільність рідини;

X, Y, Z – проекції питомих масових сил на відповідні осі координат.

Або (2.30) можна переписати у вигляді (основне диференціальне рівняння гідростатики)

$$dp_p = \rho(Xdx + Ydy + Zdz), \quad (2.31)$$

Якщо $p_p = const$, $\rho = const$, то $dp_p = 0$, тобто отримуємо з (2.31) рівняння для поверхні рівного тиску

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0. \quad (2.32)$$

З цього рівняння випливає, що для обмежених об'ємів, яким є бак обприскувача, вільна поверхня рідини буде горизонтальною поверхнею, для якої

$$Z = \text{const.} \quad (2.33)$$

Це дає розуміння того, що проекції питомих масових сил на відповідні координатні осі становитимуть: $X = 0$, $Y = 0$, $Z = -g$.

Тоді рівняння Ейлера (2.31) набуде вигляду

$$dp_p = -\rho g dz. \quad (2.34)$$

Після інтегрування (2.34) отримаємо залежність – вираз гідростатичного напору

$$H_s = z_1 + \frac{p_{p1}}{\rho g} = z_2 + \frac{p_{p2}}{\rho g} = \dots z_n + \frac{p_{pn}}{\rho g} = \text{idem.} \quad (2.35)$$

Звідси випливає, що гідростатичний тиск у будь-якій точці посудини залежатиме тільки від висоти стовпа рідини над цією точкою, тобто

$$p_{pn} = p_0 + \rho g h_n, \quad (2.36)$$

де p_0 – тиск, що діє на вільну поверхню рідини;

h_n – глибина розміщення точки, де визначається тиск (висота стовпа рідини).

На основі залежності (2.36) можна знайти силу тиску рідини на плоске днище резервуара або зусилля у меридіональному напрямку, що буде передаватися циліндричним стінкам бака при умові закріплення бака вище площини нижнього днища

$$P_p = (p_0 + \rho g h_n) A, \quad (2.37)$$

де A – площа поперечного перетину резервуара на глибині h_n відносно вільної поверхні.

Виходячи із другої властивості гідростатичного тиску, його дія на циліндричні стінки резервуара буде визначатись аналогічною залежністю як дія на днища (2.36). Відмінністю буде лише те, що еп'юра гідростатичного тиску матиме лінійну залежність, оскільки є змінною висота стовпа рідини h_n , рис. 2.4

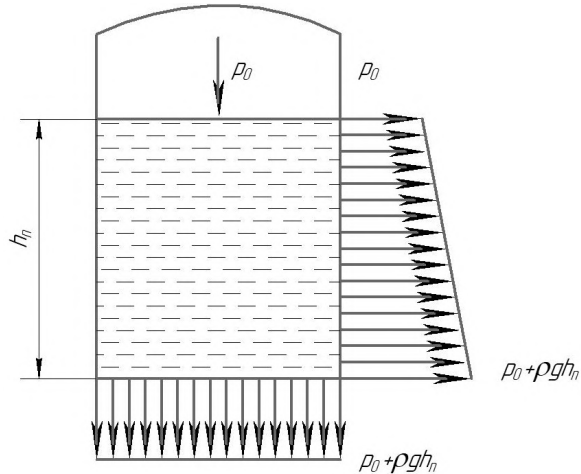


Рисунок 2.4 – Еп'юри гідростатичного тиску на стінки резервуара

Ще одним елементом бака обприскувача є його днища – це криволінійні поверхні, на які діє гідростатичний тиск робочої рідини.

Відомо, що у загальному випадку при дії гідростатичного тиску на криволінійні поверхні його можна привести до однієї рівнодіючої сили, рис. 2.5.

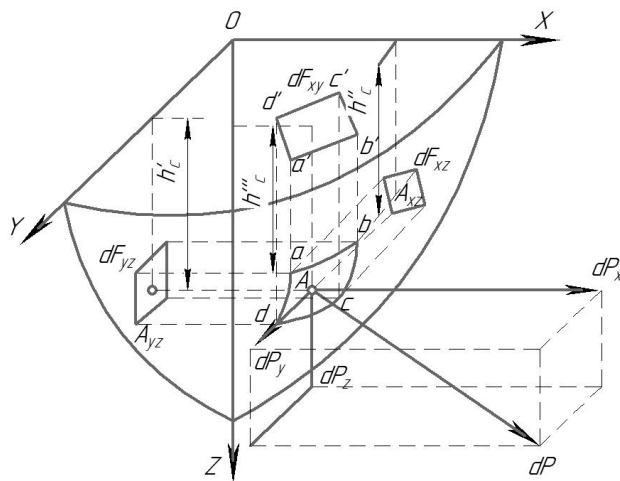


Рисунок 2.5 – До обґрунтування дії гідростатичного тиску на криволінійну поверхню днища бака [100]

Вираз рівнодіючої сили тиску на криволінійну поверхню буде геометричною сумою складових

$$P_{pd} = \sqrt{P_{pdx}^2 + P_{pdy}^2 + P_{pdz}^2}, \quad (2.38)$$

де $P_{pdx}, P_{pdy}, P_{pdz}$ – складові на відповідні осі рівнодіючої сили гідростатичного тиску.

Відповідно до виразу (2.29) горизонтальна складова сили тиску буде визначатись [100]

$$dP_{pdx} = \rho g h_n dA \cos(dP_{pd}, x), \quad (2.39)$$

де $\cos(dP_{pd}, x)$ – напрямний косинус сили dP_{pdx} .

Проекція елементарної площадки на площину yOz

$$dA_{yz} = dA \cos(dP_{pd}, x), \quad (2.40)$$

тоді

$$dP_{pdx} = \rho g h_n dA_{yz}. \quad (2.41)$$

Для віднаходження складових сили гідростатичного тиску на криволінійну поверхню бака, потрібно інтегрувати по визначеній площині

$$P_{pdx} = \rho g \int_{A_{yz}} h_n dA_{yz} = \rho g h'_n A_{yz}, \quad (2.42)$$

де h'_n – розташування центру тиску;

A_{yz} – проекція поверхні $abcd$ (рис. 2.5) на площину yOz .

Решту складових визначаються аналогічним чином

$$P_{pdy} = \rho g \int_{A_{xz}} h_n dA_{xz} = \rho g h_n'' A_{xz}; \quad (2.43)$$

$$P_{pdz} = \rho g \int_{A_{xy}} h_n dA_{xy}. \quad (2.44)$$

За аналізом (2.44), ця складова буде ніщо інше як сила ваги рідини G_p у виділеному об'ємі V , тобто

$$P_{pdz} = \rho g V = G_p. \quad (2.45)$$

Наведені залежності дії сили гідростатичного тиску на криволінійну поверхню днища бака обприскувача дозволяє записати вирази складових, що діють на криволінійну поверхню днища бака оприскувача у меридіональному та коловому напрямках.

На основі викладених теоретичних основ безмоментної теорії оболонок, що наведені у попередньому пункті запишемо вирази для віднаходження меридіональних та колових напружень у днищах оболонки.

Це в свою чергу, є також частковим випадком навантаження бака обприскувача, наприклад, коли машина транспортує робочу рідину до місця обприскування і на той час у резервуарі відсутній надлишковий тиск.

Розглядаємо спочатку дію гідростатичного тиску робочої рідини на циліндричну частину бака, вважаючи, що він повністю заправлений.

На основі отриманої залежності гідростатичного тиску на циліндричні стінки бака (2.36), колові напруження будуть становити

$$\sigma_{tpu} = \frac{R_0 \rho g h_n}{h}. \quad (2.46)$$

При закріпленні бака обприскувача на рамі машини в околі нижнього днища, то вага рідини не діє на циліндричні стінки резервуара у меридіональному напрямку, тобто

$$\sigma_{m\pi} = 0. \quad (2.47)$$

Дія гідростатичного тиску робочої рідини на криволінійні поверхні нижнього днища бака, викликає в ньому меридіональні та колові напруження.

Для зручності представлення результатів, кут θ , що характеризує зміну радіуса R_1 кривизни днища будемо відкладати від горизонталі, тобто його максимальне значення буде при $\theta = \frac{\pi}{2}$.

Тоді меридіональне напруження в днищі бака становитиме

$$\sigma_{m\rho} = \frac{k_o \rho g R_1 [2R_1 + 3h_n (\cos\theta)^2 - 3R_1 (\cos\theta)^2 - 2R_1 (\sin\theta)^3]}{6h (\cos\theta)^2}, \quad (2.48)$$

де k_o – коефіцієнт динамічності.

Тут справедливо можна вводити коефіцієнт динамічності k_o , який збільшує вагу робочої рідини при русі обприскувачами польовими нерівностями, він показує у скільки разів дія динамічних сил є більшою від статичної. Його значення приймемо $k_o = 1,5$ на основі власних експериментальних досліджень обприскувача та за рекомендаціями, які наведені у ряді праць [70, 71, 124, 125, 126, 128, 129].

Аналогічним чином запишемо вираз для колового напруження в днищі бака від дії сили гідростатичного тиску робочої рідини

$$\sigma_{tp\theta} = \frac{k_0 \rho g R_1 [3h_n (\cos\theta)^2 - 2R_1 - 3R_1 (\cos\theta)^2 + 2R_1 (\sin\theta)^3 + 6R_1 (\cos\theta)^2 \sin\theta]}{6h (\cos\theta)^2}, \quad (2.49)$$

Таким чином, було отримано всі ключові вирази для знаходження напружень в стінках циліндричної частини бака та його днищах, від дії внутрішнього надлишкового тиску та дії гідростатичного тиску робочої рідини.

Зусилля, що виникають від наведених тисків робочого середовища можна розглядати окремо (принцип суперпозиції) або арифметично сумувати.

Повне навантаження бака обприскувача буде сумою внутрішнього надлишкового тиску p_0 та гідростатичного тиску робочої рідини p_{pn} . З врахування відліку кута θ від горизонталі запишемо повні вирази для визначення напружень як в циліндричній частині бака так і для його днищ.

Для циліндричної частини бака:

– колові напруження

$$\sigma_{t\theta} = \frac{R_0 (p_0 + \rho g h_n)}{h}; \quad (2.50)$$

– меридіональні (за умови вільного обпирання бака в околі нижнього днища, $\sigma_{m\theta} = 0$)

$$\sigma_{m\theta} = \frac{p_0 R_0}{2h}. \quad (2.51)$$

Для нижнього днищ будемо мати наступний розподіл:

– меридіональні напруження

$$\sigma_{m\partial} = \frac{1}{2h} \frac{D_0 p_0}{\sqrt{\left(1 + \left(\frac{a^2}{b^2} - 1\right) \cos^2 \theta\right)}} + \frac{k_{\partial} \rho g R_1 \left[2R_1 + 3h_n (\cos \theta)^2 - 3R_1 (\cos \theta)^2 - 2R_1 (\sin \theta)^3\right]}{6h (\cos \theta)^2}. \quad (2.52)$$

– для колового напруження

$$\sigma_{t\partial} = \frac{1}{2h} p_0 D_0 \frac{1 - \left(\frac{a^2}{b^2} - 1\right) \cos^2 \theta}{\sqrt{\left(1 + \left(\frac{a^2}{b^2} - 1\right) \cos^2 \theta\right)}} + \frac{k_{\partial} \rho g R_1 \left[3h_n (\cos \theta)^2 - 2R_1 - 3R_1 (\cos \theta)^2 + 2R_1 (\sin \theta)^3 + 6R_1 (\cos \theta)^2 \sin \theta\right]}{6h (\cos \theta)^2}. \quad (2.53)$$

Варто зауважити, що дії гідростатичного тиску рідини піддається тільки нижнє днище бака, оскільки він буде мати вертикальне розміщення.

Отримані залежності (2.50) – (2.52) є основними для визначення напружень від внутрішнього надлишкового тиску та дії гідростатичного тиску робочої рідини на циліндричні стінки бака та його днища. Це також дасть можливість встановити питому вагу кожної зі складових навантаження, що має вплив на напружено-деформований стан бака.

Таким чином, отримано всі ключові залежності, що дозволяють виявити вплив діючого навантаження на напружено-деформований стан обприскувача з метою такої оцінки та вибору відповідного технологічного режиму експлуатації обприскувача у виробничих умовах.

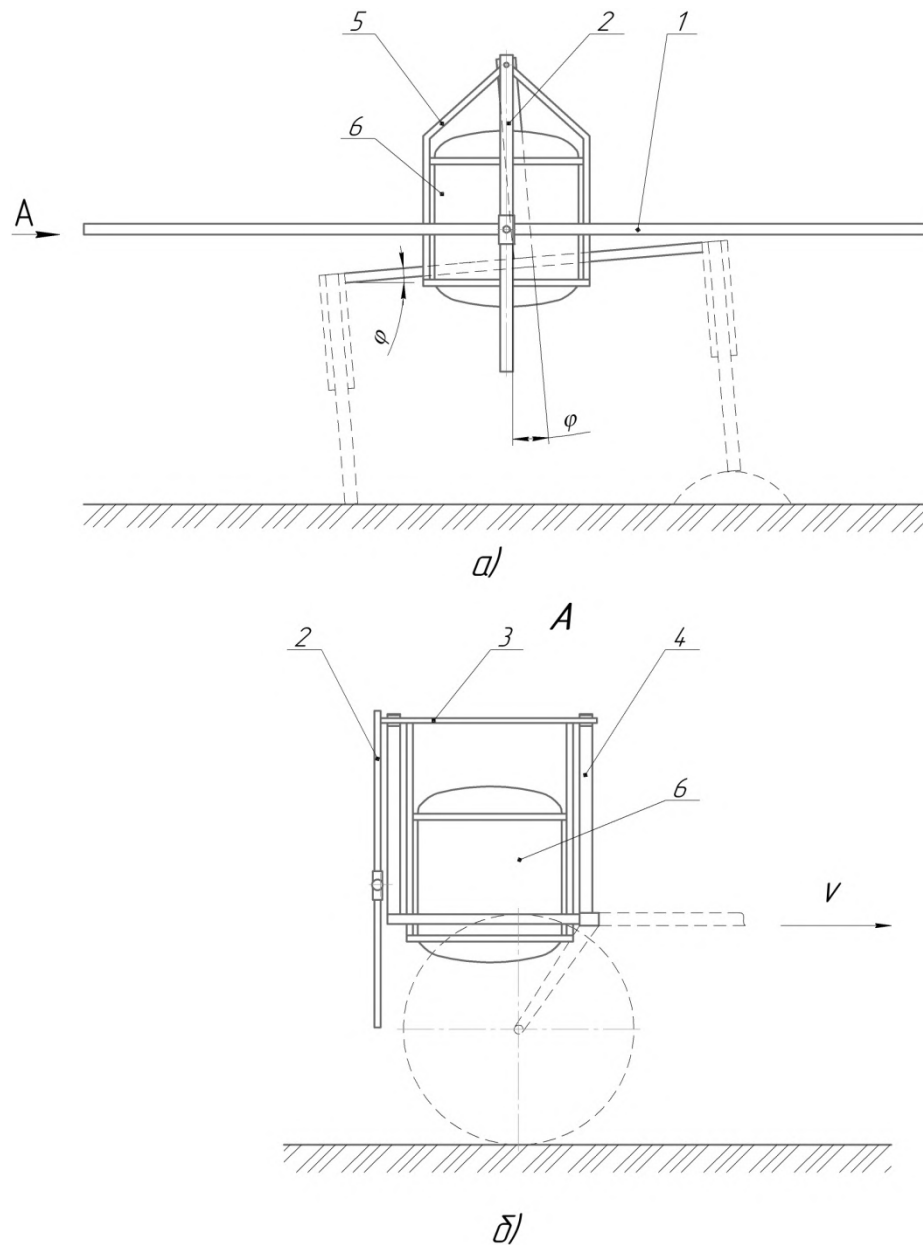
2.4 Дослідження коливного процесу штанги обприскувача при використанні маятникової підвіски

Процес обприскування сільськогосподарських культур повинен чітко відповідати агротехнічним вимогам. Зокрема, на якість цього процесу в значній мірі мають коливання його штанги та вплив повітряних потоків [35, 36, 89, 90]. Зміна відстані до оброблюваного об'єкту напряму впливає на якісні та кількісні показники норми виливу робочого препарату. Кількісна оцінка для окремих конструкцій обприскувачів та їх розпилюючих пристроїв зроблена у ряді робіт [61, 62, 63, 65, 66, 67, 68, 102]. Крім того, виникнення динамічних перевантажень на елементи конструкції штанги позначаються на її довговічності, що також має негативний вплив. Тому конструктори розробляють різні стабілізаційні пристрої – різного типу підвіски, де, наприклад, використовуються важільні, пружні, демпферні елементи чи механізми тощо [22, 64, 74, 80, 82, 84].

Дане питання для малогабаритних обприскувачів розвинуте недостатньо і, переважно, в їх конструкції якась спеціальна підвіска штанги відсутня. Тут майже у всіх випадках використано відносно жорстке закріплення штанги до рами обприскувача. А це, в свою чергу, спричиняється до того, що всі динамічні сили від опорних коліс передаються на секції штанги, кутові переміщення коліс такі ж як кутові переміщення штанги. Оскільки, за таких умов відсутня «проміжна ланка» – підвіска, яка б ці імпульси збурення вбирала та згладжувала, тобто відгук на секціях штанги був би мінімальним чи взагалі відсутнім

З цією метою було розроблено спеціальну підвіску, саме для малогабаритного, обприскувача, яка здатна цей недолік усунути. Принципова схема такої підвіски наведена на рис. 2.5 та запатентована [69].

Ознайомимося з основними елементами та принципом роботи самої підвіски [106].



а – вигляд спереду; б – вигляд збоку

Рисунок 2.6 – Принципова схема підвіски штанги обприскувача [69]

На рис. 2.6 маємо, що начіпна штанга 1 закріплена на балці, що виконана у вигляді вертикальної направляючої 2. Начіпна штанга 1 має можливість переміщення по ній та може бути зафіксованою у заданому положенні. Вертикальна направляюча 2 у верхній частині має перпендикулярно приєднану вісь 3, яка шарнірно обперта на основній рамі 4. До осі 3 нерухомо приєднано рамку 5, в середині якої вмонтовано бак 6, з можливістю вільного обертання разом з віссю 3 відносно основної рами 4.

Робота підвіски штанги описується наступним чином.

В залежності від біологічного розвитку рослин, які підлягають, наприклад хімічному захисту, начіпну штангу 1 горизонтально встановлюють на заданій висоті над оброблювальною поверхнею, переміщуючи та фіксуючи її на вертикальній направляючій 2. При виконанні технологічного процесу штанговий обприскувач рухається зі швидкістю V польовими нерівностями, які збурюють коливання начіпного обладнання, зокрема начіпної штанги 1, у поперечно-вертикальній площині. Кінематичне збурення передається від шасі обприскувача, якщо розглядати варіанти причіпного чи самохідного обприскувачів або шасі енергозасобу у варіанті начіпного обприскувача на основну раму 4, яка змінює своє положення у цій же площині, відхиляючись на кут φ , а відповідним чином і на начіпну штангу 1, провокуючи її коливання. Але за рахунок того, що вісь 3 шарнірно приєднана до основної рами 4 та має нерухомо приєднану рамку 5 із вмонтованим баком 6 (коливання рідини в середині бака не розглядаємо, бо там є заспокоювачі), центр ваги яких значно віддалений від осі 3 їх обертання, що разом дозволяє утворити фізичний маятник, який завжди буде прагнути займати вертикальне положення, тоді і вертикальна направляюча 2 займе вертикальне положення, а начіпна штанга 1 зберігатиме горизонтальне положення.

Звідси випливає, що при русі обприскувача польовими нерівностями і збуренні коливань у поперечно-вертикальній площині начіпна штанга 1 зберігатиме горизонтальне положення, що дозволить витримати більш сталою відстань до об'єкту обробки і тим самим значно підвищить якість технологічного процесу обприскування рослин. Крім того, стабільне горизонтальне положення начіпної штанги 1 зменшить динамічні перевантаження, що дозволить підвищити ресурс її роботи у порівнянні з базовим варіантом.

Це ми описали концептуальне рішення щодо утворення конструкції маятникової підвіски.

На основі цього розроблено фізичну конструкцію підвіски, де спостерігаються ще й наступні ефекти. Добра стабілізація штанги можлива у випадку достатньої маси такої металоконструкції, а із-за невеликих габаритів

маса штанги незначна і як би тільки вона утворювала фізичний маятник, то ефект стабілізації дещо би губився. А тому це рішення дозволило до маси штанги додати ще й масу бака з рідиною та кріпильну рамкою, що значно збільшило масу (момент інерції), яка утворює маятник.

Таким чином, бачимо, що за такого конструктивного рішення можна збільшити масу системи штанги, причому, не збільшуючи масу машин та отримати більш ефективну маятникову підвіску для малогабаритного обприскувача.

Тепер наша задача полягає в тому, щоб переконатися теоретичним дослідженням як дана конструкція підвіски штанги буде реагувати на збурення польового агрофону, тобто як будуть згладжуватися коливання штанги при наїзді колеса обприскувач на перешкоду.

В літературних джерелах є досить багато праць дослідників, які моделюють польові нерівності, якими рухається обприскувач, розглядають це як кінематичне збурення та вивчають потім коливні процеси окремих елементів [15, 22, 74, 82, 84, 85, 86, 87, 96].

Практика ж показує, що відтворити закон збурення агрофоном поля в теоретично є досить проблематичним і це фактично є окремим самодостатнім дослідженням. Але навіть якщо так, то все одно в кінцевому результаті оцінюють степінь згладжування виникаючих коливань підвіскою. Тому задачу можна спростити, прийнявши як частковий випадок, один із добре описаних законів рух колеса польовими нерівностями або задаючи певної амплітуди сили збурення на динамічній систему та перевіряють відгук цієї системи на дане збурення. Це в першому наближенні дозволить прослідкувати ефект від використання розробленої підвіски. Надалі ці ефекти перевіряються при виконанні експериментальних досліджень у польових умовах.

Тому при моделюванні коливних процесів штанги малогабаритного самохідного обприскувач з використанням розробленої підвіски для такого збурення використаємо гармонійну силу за законом « $\sin$ ».

Амплітуда цієї сили визначалася з міркувань руху обприскувача польовими нерівностями оброблюваної площі, а динамічні сили мали вплив на складові обприскувача чим викликали відхилення маятникової підвіски зі штангою з положення рівноваги. Дані щодо величин сил отримані при проведенні експериментальних досліджень у польових умовах.

Виходячи з цього, в якості збурюючої сили взято гармонійний закон

$$P = P_o \sin \gamma t, \quad (2.54)$$

де P_o – амплітуда збурюючої сили;

γ – частотна характеристика збурення;

t – час.

Ця сила, звичайно, що не описує всі можливі збурення, які виникають при русі обприскувача, але вона є частковим випадком, що можна спостерігати на окремих ділянках поля, якщо аналізувати отримані осцилограми записів визначення віброприскорень для окремих елементів обприскувача.

Частотна характеристика збурення визначається з умов руху обприскувача та буде рівною

$$\gamma = \frac{\pi \vartheta_m}{a_n}, \quad (2.55)$$

де ϑ_m – поступальна швидкість руху обприскувача;

a_n – протяжність перешкоди.

Тоді можна записати вираз частоти збурення

$$\gamma_{зб} = \frac{\gamma}{2\pi}. \quad (2.56)$$

В нашому випадку вказана сила викликає відхилення маятника на кут φ , рис. 2.7.

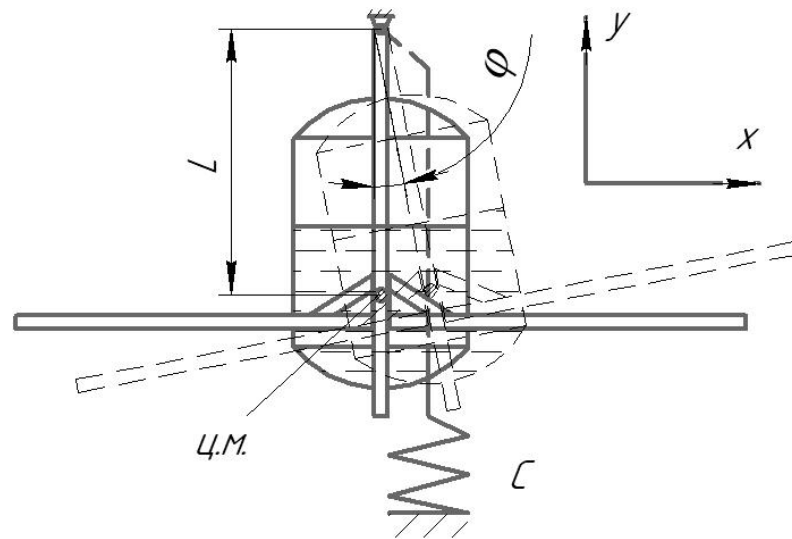


Рисунок 2.7 – Розрахункова схема маятникової підвіски штанги обприскувача

Аналізуючи конструкцію обприскувача на основі принципової схеми, рис. 2.6, бачимо, що основні коливання будуть виникати у вертикальній площині та у поперечно-вертикальній, коливаннями у поздовжньо-вертикальній площині нехтуємо. Це обґрунтовується тим, що їх значення будуть відносно малими, вважаючи, що переднє опорне колесо рухається на тому самому рівні, що і задні, а якщо перешкоди будуть на одному рівні, то відстань від миттєвого центру обертання задніх коліс до вершини перешкоди буде значною, а тому кут збурення в цій площині буде незначним. Крім того, кутові коливання штанги у поздовжньо-вертикальній площині не мають негативного впливу на процес обприскування сільськогосподарських культур.

Тому виділяємо тільки вертикальні та кутові коливання штанги.

Для запису рівнянь вертикальних коливань [94] вважаємо, виходячи з конструктивних міркувань, що колеса жорстко приєднані до рами обприскувача та мають пружну шину, жорсткістю c ; точка підвісу рамки бака геометрично повторює вертикальні та кутові переміщення рами;

враховуючи малі кутові коливання утвореного маятника, приймаємо що $\sin \varphi = \varphi$. Такі припущення для виконання такого роду інженерних розрахунків є цілком виправданими та дозволяють отримати розв'язки належної точності.

Спираючись на другий закон Ньютона, можемо записати коливання даної системи у вертикальній площині

$$m\ddot{y} + 2\mu\dot{y} + cy = P_y, \quad (2.57)$$

де m – маса штанги, бака з рамкою та робочою рідиною;

$y, \dot{y}, \ddot{y}$ – переміщення, швидкість та прискорення у вертикальній площині;

μ – коефіцієнт аналогічний коефіцієнту в'язкого опору;

c – коефіцієнт пружності.

Коливання штанги-маятника у поперечно вертикальній площині

$$I\ddot{\varphi} + 2\beta\dot{\varphi} + mgL\varphi = P_xL, \quad (2.58)$$

де I – момент інерції штанги-маятника (це момент інерції конструкції куди входить штанга з направляючою, рамка бака, бак та робоча рідина в ньому відносно точки підвісу утвореного маятника; величина цього моменту інерції є змінною та залежить від положення штанги по висоті та заповненості бака);

β – коефіцієнт опору при виникненні кутових коливань;

$\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}$ – кутове переміщення, швидкість та прискорення;

L – довжина маятника;

$P_x = P_{ox} \sin \gamma t, P_y = P_{oy} \sin \gamma t$ – складові збурюючої сили.

Для кутових коливань φ запишемо характеристичне рівняння

$$K^2 + \frac{2\beta}{I}K + \frac{mgL}{I} = 0. \quad (2.59)$$

Знайдемо K

$$K_{1/2} = -\frac{\beta}{I} \pm \sqrt{\frac{\beta^2}{I^2} - \frac{mgL}{I}}. \quad (2.60)$$

Підкореневий вираз визначає частоту власних коливань маятника

$$\omega = \sqrt{\frac{mgL}{I} - \frac{\beta^2}{I^2}}, \quad (2.61)$$

де коефіцієнт $\frac{\beta}{I}$ описує згасання.

Відповідно загальний розв'язок має вигляд

$$\varphi_3 = (A \sin \omega t + B \cos \omega t) e^{-\frac{\beta}{I}t}. \quad (2.62)$$

Частковий розв'язок для сили виду гармонічного коливання шукаємо у вигляді

$$\begin{aligned} \varphi_q &= (C \sin \gamma t + D \cos \gamma t); \\ \dot{\varphi}_q &= \gamma (C \cos \gamma t - D \sin \gamma t); \end{aligned} \quad (2.63)$$

$$\ddot{\varphi}_q = -\gamma^2 (C \sin \gamma t + D \cos \gamma t).$$

Підставимо φ_q , $\dot{\varphi}_q$ і $\ddot{\varphi}_q$ у рівняння (2.58) і після зведення і групування отримаємо

$$-I\gamma^2 C - 2\beta\gamma D + mgLC = P_{ox}L; \quad (2.64)$$

$$-I\gamma^2 D + 2\beta\gamma C + mgLD = 0. \quad (2.65)$$

Після підстановок

$$D = \frac{2\beta\gamma C}{I\gamma^2 - mgL} = \frac{2\beta\gamma C / I}{\gamma^2 - \omega^2 - \frac{\beta^2}{I^2}}, \quad (2.66)$$

$$C = \frac{P_{ox}L / I}{\left(\omega^2 - \gamma^2\right) + \frac{\beta^2}{I^2} \left(1 + \frac{\varphi\gamma^2}{\omega^2 - \gamma^2 + \frac{\beta^2}{I^2}}\right)}. \quad (2.67)$$

Повний розв'язок

$$\varphi = (A \sin \omega t + B \cos \omega t) e^{\frac{-\beta}{m}t} + C \sin \gamma t + D \cos \gamma t. \quad (2.68)$$

Кутова швидкість

$$\begin{aligned} \dot{\varphi} = & (A \sin \omega t + B \cos \omega t) e^{\frac{-\beta}{m}t} \cdot \left(-\frac{\beta}{I}\right) + e^{\frac{-\beta}{m}t} \times \\ & \times \omega (A \cos \omega t - B \sin \omega t) + \gamma (C \cos \gamma t - D \sin \gamma t). \end{aligned} \quad (2.69)$$

Початкові умови: $t = 0$, $\varphi = 0$; $\dot{\varphi} = 0$. Після підстановки і перетворень, отримаємо

$$B = -D; \quad (2.70)$$

$$A = -\frac{C\gamma + D\frac{\beta}{I}}{\omega}. \quad (2.71)$$

Підставимо A, B, C, D у залежність (2.68) і отримаємо рух маятника у часі, поки діє сила P_x .

На етапі вільних коливань після того, як зникне сила P_x , матимемо $C = 0$, $D = 0$, початкові умови при $t = 0$, $\varphi = \varphi_{\text{кінц}}$; $\dot{\varphi} = \dot{\varphi}_{\text{кінц}}$, тоді

$$B = \varphi_{\text{кінц}},$$

$$A = \left(\dot{\varphi}_{\text{кінц}} + B \frac{\beta}{I} \right) / \omega,$$

тоді підставляємо в (2.68) і коливання будуть продовжуватись як вільні.

Коливання у вертикальній площині – суть розв’язку рівняння (2.57) подібна до характеристичного рівняння (2.59)

$$p^2 + \frac{2\mu}{m}p + \frac{c}{m} = 0, \quad (2.72)$$

тоді

$$p_{1/2} = -\frac{\mu}{m} \pm \sqrt{\frac{\mu^2}{m^2} - \frac{c}{m}}; \quad (2.73)$$

затуханням $\frac{\mu}{m}$ частота коливань

$$\nu = \sqrt{\frac{c}{m} - \frac{\mu^2}{m^2}}. \quad (2.74)$$

Аналогічно, загальний розв’язок

$$y_{\text{заг}} = (A_1 \sin \gamma t + B_1 \cos \gamma t) e^{-\frac{\mu}{m}t}. \quad (2.75)$$

Частковий розв’язок у формі гармонійної сили:

$$y_q = C_1 \sin \gamma t + D_1 \cos \gamma t, \quad (2.76)$$

$$\dot{y}_q = \gamma (C_1 \cos \gamma t - D_1 \sin \gamma t); \quad (2.77)$$

$$\ddot{y}_q = -\gamma^2 (C_1 \sin \gamma t + D_1 \cos \gamma t). \quad (2.78)$$

Після підстановки у рівняння (2.57)

$$-m\gamma^2 C_1 + 2\mu\gamma D_1 + cC_1 = P_{oy}. \quad (2.79)$$

$$-m\gamma^2 D_1 + 2\mu\gamma C_1 + cD_1 = 0. \quad (2.80)$$

Тут маємо:

$$D_1 = \frac{2m\gamma C_1}{\mu\gamma^2 - c}; \quad (2.81)$$

$$C_1 = \frac{P_{oy} / m}{\left(\nu^2 - \gamma^2 \right) + \frac{\mu^2}{m^2} \left(1 + \frac{4\gamma^2}{\nu^2 - \gamma^2 + \frac{\mu^2}{m^2}} \right)}. \quad (2.82)$$

Аналогічно визначимо залежність для повного розв'язку:

$$y = (A_1 \sin \nu t + B_1 \cos \nu t) e^{\frac{\mu}{m} t} + C_1 \sin \gamma t + D_1 \cos \gamma t, \quad (2.83)$$

$$\begin{aligned} \dot{y} = & (A_1 \sin \nu t + B_1 \cos \nu t) e^{\frac{\mu}{m} t} \cdot \left(-\frac{\mu}{m} \right) + e^{\frac{\mu}{m} t} \times \\ & \times \nu (A_1 \cos \nu t - B_1 \sin \nu t) + \gamma (C_1 \cos \gamma t - D_1 \sin \gamma t). \end{aligned} \quad (2.84)$$

Початкові умови $t = 0$, $\varphi = 0$; $\dot{\varphi} = 0$.

Аналогічно попередньому, запишемо:

$$B_1 = -D_1;$$

$$A_1 = -\frac{C_1\gamma + D_1\frac{\mu}{m}}{\nu}.$$

Підставимо у (2.83) і отримаємо вертикальні коливання під час дії сили P_y .

Частота γ для складових вимушеної сили P_x і P_y однакова, тобто залежності для φ і y подібні, але власні частоти різні.

Таким чином, було описано модель коливного процесу штанги обприскувача при використанні маятникової підвіски із штучно збільшеною масою. Надалі проведемо візуалізацію отриманих результатів при теоретичному моделювання цього процесу.

2.5 Висновки до 2 розділу

На основі розробленої теоретичної моделі, яка описує напружено-деформований стан бака обприскувача та базується на засадах безмоментної теорії оболонок проведено оцінку щодо визначення напруженого стану при максимальному робочому внутрішньому тиску та визначено максимально допустимий тиску при експлуатуванні бака в системі живлення розпилюючих пристроїв.

Розроблено модель коливного процесу штанги обприскувача при використанні маятникової підвіски із штучно збільшеною масою.

Основні наукові результати розділу опубліковані у працях [13, 14, 15, 66, 69, 106].

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МАЛОГАБАРИТНОГО ОБПРИСКУВАЧА

3.1 Конструктивні особливості малогабаритного самохідного штангового обприскувача

За результатами теоретичних розрахунків, обґрунтовано основні параметри малогабаритного самохідного штангового обприскувача. Представимо загальний вигляд даного обприскувача та наведемо основні його технічні характеристики, рис. 3.1.



1 – штанга; 2 – опорно-приводні колеса; 3 – направляюча рамки штанги; 4 – бак з робочою рідиною; 5 – напірна комунікація; 6 – розпилювачі
Рисунок 3.1 – Загальний вигляд (спереду) обприскувача

Даний обприскувач представляє собою керовану самохідну машину, він відноситься до штангових обприскувачів та має маятникову підвіску. Напірна комунікація виконано двоконтурною, на кожен секцію штанги незалежна вітка, з можливістю відключення крайніх та середнього

розпилювачів. Конструктивна ширина захвату штанги складає 5 м. На штанзі розміщено 11 розпилювачів. В залежності від ширини міжрядь, конструкцією передбачено можливість встановлення розпилюючих пристроїв на міжряддя від 45 см до 75 см, а тому можуть бути задіяні від 8 до 11 розпилювачів. Специфіка машини полягає в тому, що конструкція штанги дозволяє забезпечити умовно дискретне внесення робочого препарату на оброблювану площу. Наприклад, при посадці картоплі з міжряддями 60 см (або іншим міжряддям) перші обробки від шкідників чи підживлення по листовій частині рідким добривом потребує нанесення його саме на нешироку листову частину, а не у ґрунт на міжрядді. І тому на штанзі розміщуємо розпилювачі таким чином, щоб їх робота була чітко спрямованою по осі рядка і на ширину зеленої зони. Розпилюючі пристрої мають певний кут розпилу робочої рідини, а тому встановивши штангу на задану висоту, весь препарат можна спрямувати у цільове місце призначення. Діапазон регулювання висоти встановлення штанги складає від 35 см від поверхні поля до 110 см. Це досягається переміщенням рамки штанги по її направляючій та фіксуванням в одному із отворів. Переміщення по висоті та фіксація у наступному отворі змінює висоту штанги на 30 мм.

Направляюча рамки штанги виконана з профільної труби розміром 60мм×40мм має один кінець вільний, а іншим жорстко з'єднана з віссю, що обпирається на раму машин, а іншим кінцем так само жорстко з'єднана з рамкою бака, рис. 3.2

Рамка, в свою чергу, має посадочне місце для вільного обпирання та закріплення циліндричного бака, а іншою стороною шарнірно обперта на рамі машини. Тобто штанга у певному положенні через направляючу рамки, рамка бака і бак з робочою рідиною утворюють одну жорстку систему, яка шарнірно обперта на опорах рами обприскувача. Інакше кажучи, ця конструкція утворює фізичний маятник, який може коливатися відносно опор



1 – опорно-приводне колесо; 2 – фрикційний приводний ролик; 3 – розсувна консоль механізму регулювання ширини колії; 4 – телескопічна карданна передача; 5 – ланцюгова передача приводу компресора; 6 – розподільчий блок; 7 – мініресивер; 8 – редукційний блок з манометрами та запобіжним клапаном; 9 – опорне самокероване колесо; 10 – важіль управління дросельною головкою ДВЗ; 11 – важелі керування.

Рисунок 3.2 – Основні вузли самохідного обприскувача

на рамі обприскувача. Центра ваги такого маятника завжди нижче від осі опор на рамі обприскувача, а тому така конструкція завжди буде прагнути займати вертикальне положення, а штанга, відповідно, горизонтальне положення. Знову ж таки, особливістю конструкції є те, що маятник утворює не сама штанга разом з направляючою рамки штанги, а ще додатково сюди входить рамка бака та сам бак з робочою рідиною. Це і є додана маса до маси штанги, або це ще називають штучно збільшена маса штанги. Зрозуміло, що маса штанги є порівняно малою, а тому її стабілізування в системі маятнкової підвіски може бути незначним. Тому рішення збільшити її масу через приєднання на одну вісь бака зі своїми кріпильними елементами, дозволяє очікувати більш ефективного стабілізування штанги. Причому, щоб робоча рідина не викликала додаткового збурення коливань штанги, в

середину бака вмонтовані тонкі пластинчасті заспокоювачі з отворами, що розділяють рідину.

Обприскувач має двигун внутрішнього згоряння потужністю 4 кВт, з редуктором та відцентровою муфтою, крутний момент від якого передається ланцюговою передачею до телескопічної карданної передачі, що з'єднана з роликами. Фрикційні ролики контактують з шиною колеса та при замиканні передачі створюють крутний момент на колесі та переміщують обприскувач. Керування замиканням фрикційних передач здійснюється важелями управління, ними ж і здійснюється поворот обприскувача. Наприклад, при відключенні лівого колеса, праве в зачепленні та обганяє ліве колесо через, що здійснюється різкий лівий поворот (розворот). Неповне вимкнення із зачеплення одного із роликів дозволяє здійснювати плавні повороти при русі обприскувача. Вимкнення обох роликів – стоянковий режим роботи обприскувача, наприклад при роботі у садах із застосуванням подовжувача з переносною штангою. Зупинка обприскувача без вимкнення важелів можлива при зниженні обертів двигуна та спрацюванні відцентрової муфти і, навпаки, при збільшенні обертів ДВЗ обприскувач плавно розпочинає рух.

Паралельно з приводом опорно-приводних коліс, крутний момент передається на компресор, який нагнітає повітря через мініресивер та редукційний блок до бака та створює там надлишковий тиск, яким витісняє робочу рідину. Остання через розподільчий блок, яким можна вмикати/вимикати, перерозподіляти потік робочої рідини до лівої чи правої, чи обох секцій обприскувача одночасно, потрапляє до розпилювачів та рівномірно розподіляється по поверхні оброблюваної площі.

Регулятором редукційного блоку з манометрами та запобіжним клапаном можна встановити заданий тиск у системі для забезпечення заданої норми витрати робочої рідини.

Бак для робочої рідин працює як посудина під тиском та одночасно і транспортує цю рідину. Він у верхній частині має заливну горловину з краном та в середину вмонтований сітчастий фільтр. Як було зазначено

вище, бак з робочою рідиною обпертий на рамку та разом з нею шарнірно закріплений на опорах рами та приєднаний до направляючої штанги, де вона в певному положенні і закріплена. Всі ці елементи утворюють маятник, їх центр ваги нижче від осі закріплення. Ці ефекти використано для стабілізування штанги при русі обприскувача польовими нерівностями.

Наведемо коротку технічну характеристику розробленої машини, табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика обприскувача

Тип обприскувача	самопересувний, штанговий
Призначення	для обприскування польових культур, роботи у садах та теплицях, роботи в якості мінімійки або компресорної установки
Ширина захвату, м	5
Кількість секцій штанги	2
Діапазон висоти встановлення штанги, мм	350-1100
Кількість розпилювачів	11
Крок установки розпилювачів, мм	безступенево: від 450 до 750
Кліренс, мм	660
Діапазон зміни ширини колії, мм	900-1500
Місткість бака, л	80
Тип системи витіснення рідини	пневматично-гідравлічна
Робочий тиск в системі, МПа	0,1–0,6
Норма виливу, л/га	50-400
Поступальна швидкість, м/с	1–1,5
Продуктивність за годину основного часу, га/год	1,8–2,7

Порядок роботи обприскувача. При обробці, наприклад просапної культури, встановлюємо гвинтовим механізмом задану ширину колії (додаток В), щоб обприскувач рухався чітко по осях міжрядь. Якщо міжряддя такі, що центр між двома колесами є рядок (наприклад при обробці міжрядь 45 см), то в конструкції передбачено можливість зміщення опорної консолі 3 самокерованої вилки 2 з колесом 1 та фіксації консолі 3 на спеціальному

секторі рами 4 так, щоб колесо могло рухатись зміщеним міжряддям, рис. 3.3



Рисунок 3.3 – Регулювання самокерованого колеса

Попередньо розраховуємо норму витрати робочої рідини на площу, що підлягає обробці. Встановлюємо потрібного типу розпилювачі, розставляємо їх на штанзі, відповідно до міжрядь, та заливаємо розрахункову кількість робочої рідини у бак. Редукційним клапаном виставляємо задане робоче значення тиску у системі. Запускаємо двигун та переміщаємось до місця обробки площі. За час переміщення, працюючий ДВЗ передає крутний момент через фрикційні ролики на опорно-приводні колеса та одночасно приводить у дію компресор, який створює робочий тиск у системі. Після виходу системи на рівень робочого тиску потрібно проконтролювати його значення та за необхідності відкоректувати. Надлишок тиску буде стравлюватися редукційним клапаном. Прибувши до місця обробки, розкладаємо штангу та встановлюємо її висоту в залежності від біологічного розвитку рослин. Далі відкриваємо кран подачі робочої рідини до розпилювачів, коли через всі розпилювачі почне виходити робоча рідина, утворивши однакові факели розпилу, розпочинаємо рівномірний рух міжряддями культури. При досягненні кінця загінки, перекриваємо кран подачі робочої рідини до розпилювачів, здійснюємо розворот, вмикаємо кран

та продовжуємо обробку. Після завершення обприскування систему необхідно промити достатньою кількістю рідини. Чистою водою у бакові помити колеса обприскувача, підключивши до розподільчого блоку додатковий шланг, яким здійснити обслуговування машини.

3.2 Програма, об'єкт і предмет дослідження малогабаритного обприскувача

Аналітичні моделі, що базуються на різного роду теоріях у своїй сутності завжди мають задану точність, яка, в основному, спричинена певними припущеннями та спрощеннями. Дуже складно цілком «теоретично» створити робочу машини та констатувати її високу ефективність, а тому проведення експериментальних досліджень дозволяють підтвердити (уточнити) певні припущення, простішим шляхом, у порівнянні із складними аналітичними моделями, здобути реальні значення вихідних параметрів тощо.

Проведення польових випробувань – це чи не єдиний дієвий варіант, щоб підтвердити технологічну ефективність машин, яка працює в конкретних умовах виробництва і не завжди ця специфіка умов може бути закладеною у теоретичну модель.

Це означає, що проведення різного роду експериментальних та польових випробувань є невід'ємною частиною дослідження сільськогосподарської машини.

Тому, за аналізом конструкції малогабаритного самохідного штангового обприскувача виникає необхідність у проведенні експериментальних досліджень, для яких на першому етапі потрібно розробити програму та методику їх проведення.

Таким чином, **метою** проведення експериментальних досліджень є встановлення відповідності характеристик напружено-деформованого стану

бака обприскувача, який працює у пневогідравлічній напірній системі обприскувача до теоретичних розрахунків та дослідити кінематичні параметри штанги при її коливаннях, що має вплив на якість обприскування.

Об'єктом дослідження є бак для робочої рідини, що виготовлений з нержавіючої сталі AISI 304, об'ємом 80 л, який транспортує рідину та витісняє її внутрішнім надлишковим тиском повітря ($p_{0\max} = 0,6$ МПа), що нагнітається компресором;

металева штанга шириною захвату 5 м, яка змонтована на маятниковій підвісці зі «штучно» добавленою масою, містить розпилюючі пристрої та напірні комунікації.

Предметом дослідження є напружено-деформований стан бака обприскувача при зміні внутрішнього тиску та рівня наповненості бака;

власні та вимушені коливання штанги обприскувача при дії на неї динамічних сил, що виникають при русі обприскувача польовими нерівностями.

Методика проведення випробувань передбачає наступне.

Для бака обприскувача.

Використання тензометричного методу контролю, де використовуються наклеювані тензорезистори на попередньо визначені критичні точки оболонки.

Регульований режим навантаження бака – статичне навантаження від ваги рідини при зміні заповненості бака та дискретна зміна внутрішнього надлишкового тиску.

Робочий режим навантаження – проведення обприскування сільськогосподарських культур чи обробка площ гербіцидами.

Вимірювальними параметрами будуть деформації у визначних точках бака; внутрішній тис, що спостерігається у системі.

Для штанги обприскувача.

Метод контролю передбачає використання одновісних акселерометрів, які змонтовані у крайніх точках секцій штанги, датчиків кутових швидкостей та тензорезисторів для визначення деформацій у характерних точках штанги з передачею електричного сигналу до цифрової реєструючої апаратури.

Режим проведення експерименту – рух обприскувача поверхнею оброблюваної площі з її нерівностями та із робочою швидкістю 4,0 км/год $\pm 0,5$ км/год. Для порівняння режимів роботи штанга в одному випадку повинна працювати в системі розробленої маятникової підвіски, в іншому – підвіска заблокована, штанга жорстко закріплено до рамки.

Параметри, що підлягають фіксації: прискорення точок, де закріплені акселерометри; кутові швидкості секцій штанги; деформації окремих елементів штанги.

3.3 Технічне обладнання для проведення експерименту

Для реалізації проведення експериментальних випробувань малогабаритного самохідного обприскувача використано партію протарованих тензорезисторів типу КФ5П1-15-200-А-12 (КФ5П1-15-200-А-12), які мають номінальний опір 200 Ом, рис. 3.4.

При підготовці експериментальних дослідження до тензорезисторів вже припаяні контактні роз'єми, які приєднуються до роз'ємів вимірювальної апаратури. Далі робимо підготовку місця наклеювання тензорезисторів, проводимо їх наклеювання, фіксуємо проводи і контактні роз'єми.



Рисунок 3.4 – Підготовлені тензорезистори

Для визначення віброприскорень, що виникають у характерних точках обприскувача використовувалося обладнання науково-дослідної лабораторії «Агротехнології, машини та матеріали», що при кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя [113].

Застосування акселерометрів ДН-3-М1, ДН-4-М1 для вимірювання віброприскорень дозволяє знайти їх значення в процесі експлуатації машини, рис. 3.5.



а)



б)

а – ДН-3-М1; б – ДН-4-М1
Рисунок 3.5 – Акселерометри

Наведемо коротку технічну характеристик даних пристроїв [9, 39, 44, 45, 132].

Це п'єзоелектричні датчики – акселерометри, що призначені для реагування зміні прискорення в розглядуваній точці. Ці пристрої є одновісними та можуть працювати у таких діапазонах частот: ДН-3-М1 – 0,1...4800 Гц; ДН-4-М1 – 0,1...12500 Гц. Їх чутливість ($\text{мВ} \cdot \text{с}^2/\text{м}$) складає: ДН-4-М1 – 1; ДН-3-М1 – 10,2. Дані пристрої сумісні з цифровою апаратурою, рис. 3.6.

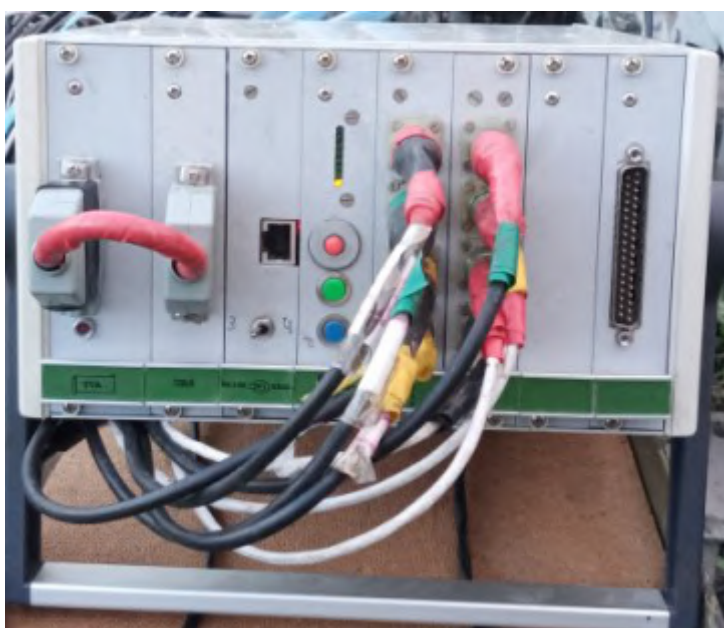


Рисунок 3.6 – Загальний вигляд універсальної реєструючої системи

Основні характеристики апаратури.

Число каналів для вимірювання досліджуваних величин – вісім: 5 каналів приєднуються до тензометричного обладнання типу тензодатчиків (тензорезисторів); 2 канали для з'єднання з акселерометрами; 1 канал для з'єднання з датчиком кутових швидкостей.

Апаратура може працювати з частотою дискретизації в межах від 1 Гц до 2 кГц. Час реєстрації інформації в автономному режимі роботи при максимальній частоті дискретизації складає 52 хвилини.

При роботі з тензометричним обладнанням, вона сумісна з

тензорезисторами з опором 50–400 Ом, номінальний опір 200 Ом за схемою підключення тензорезисторів міст, півміст, чвертьміст.

Живлення: в автономному режимі – від акумуляторної батареї, в стаціонарних умовах – від мережі 220 В.

Для визначення кутової швидкості повороту штанги використано датчик кутової швидкості, рис. 3.7 [113].



Рисунок 3.7 – Датчик кутової швидкості

Характерними параметрами роботи датчика є діапазон його вимірювання, який складає ± 300 град/с; його чутливість – 0,5 мВ/град/с; частотний діапазон роботи – 40 Гц.

Для контролю тиску у напірній магістралі обприскувача та мініресивері системи нагнітання компресора – механічні датчики тиску, рис. 3.8.

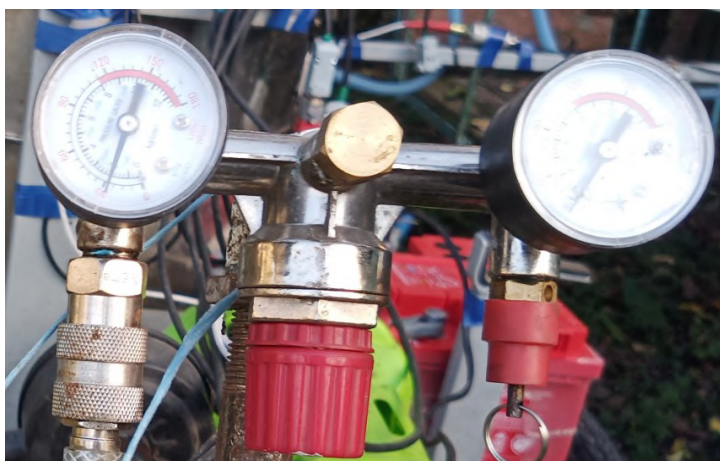


Рисунок 3.8 – Механічні датчики тиску редукційного блоку обприскувача

Умови проведення польових експериментальних досліджень повинні відповідати агротехнічним вимогам до проведення технологічної операції обприскування сільськогосподарських культур. Тут основні критерії: температура навколишнього середовища $\geq 15^{\circ}\text{C}$, швидкість вітру не більше 5 м/с. Для контролю швидкості вітру та температури використовували анемометр НТ-81, рис. 3.9.



Рисунок 3.9 – Анемометр НТ-81

Діапазон вимірювань даного анемометра складає: температура – від 0 до 50°C , швидкість вітру від 1 м/с до 25 м/с.

Очікуваними результатами будуть отримані напруження в стінках бака та перетинах штанги обприскувача, які буде переведено з електричних сигналів деформації тензорезисторів у фізичні величини напружень; аналогічно будуть отримані прискорення у характерних точках конструкції обприскувача та кутові швидкості ланок.

Отримання вказаного комплексу величин при різних режимах роботи обприскувача дозволить реалізувати мету проведених експериментальних дослідження цієї машини та оброблені дані співставити з аналогічними результатами, що розвинуті у теоретичній частині роботи.

3.4 Планування експериментальних досліджень обприскувача

Одним з найвідповідальніших етапів наукового дослідження є планування експерименту. Від якісної організації експериментальних досліджень залежить адекватність та точність отриманих результатів.

Виходячи з постановки завдання, тобто мети та методики проведення експериментальних дослідження планують сам експеримент.

Відповідно до програми досліджень нам потрібно здійснити польові випробування обприскувача: перевірити його функціональну здатність виконувати обприскування культур на різних режимах та в умовах роботи; перевірити відповідність теоретичних розрахунків щодо міцності бака обприскувача відповідним дійсним значенням за умови виконання технологічного процесу, коли у системі є робоча рідина та створюється надлишковий тиск для її витіснення та здійснюється обприскування; перевірити роботу штанги при виникненні в ній коливань, що збуррюються польовими нерівностями, та співставити результати теоретичних розрахунків з експериментальними, перевірити очікувані ефекти на практиці і т.д.

Тоді у експериментатора постає закономірне запитання щодо вибору плану експерименту. Оскільки надмірна деталізація експериментального дослідження веде до суттєвого укрупнення матриці планування експерименту, ускладнює сам процес постановки та реалізації, надто спрощене модель – впливає на точність і об'єктивність очікуваних результатів.

Аналізуючи аналогічні напрацювання вчених [39], приходимо до висновку, що для підтвердження результатів теоретичних розрахунків в окресленій постановці завдання, цілком виправданим буде повнофакторний експеримент типу $N = 3^2$.

Або, якщо формально записати, то

$$N = p^k, \quad (3.1)$$

де p – число рівнів варіювання, $p = 3$;

k – кількість незалежних факторів, $k = 2$.

Це означає, що для досліджуваної величини буде дев'ять комбінацій різних незалежних факторів. Крім того, з теорії експерименту відомо, що задовільна точність очікуваного результату буде тільки тоді, якщо кратність повторюваностей однієї і тої ж комбінації, у тих же умовах складатиме не менше трьох, тобто $n = 3$.

Таким чином, для отримання достовірних результатів досліджуваної величини буде сплановано 9 комбінацій за трьома повторюваностями, тобто загалом буде проведено 27 експериментів при дослідженні однієї величини.

Для чіткої організації експерименту, спочатку складаємо матрицю повного факторного експерименту типу $N = 3^2$, де буде чітко прописані всі комбінації у трьох повторюваностях, табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Матриця планування повного факторного експерименту типу $N = 3^2$

№ досліджу	x_1	x_2	$x_1 \cdot x_2$	x_1^2	x_2^2	Середнє за трьома повторюваностями y_i
1	-1	-1	1	1	1	y_1
2	-1	0	0	1	0	y_2
3	-1	1	-1	1	1	y_3
4	0	-1	0	0	1	y_4
5	0	0	0	0	0	y_5
6	0	1	0	0	1	y_6
7	1	-1	-1	1	1	y_7
8	1	0	0	1	0	y_8
9	1	1	1	1	1	y_9

Загалом потрібно поставити та провести 27 експериментів та узагальнити отримані значення.

Узагальненням отриманого результату є побудова поверхні відгуку, яка добре описується регресійною залежністю другого порядку, наприклад

$$y_i = b_0 + b_1 \cdot x_{1i} + b_2 \cdot x_{2i} + b_{12} \cdot x_{1i} \cdot x_{2i} + b_{11} \cdot x_{1i}^2 + b_{22} \cdot x_{2i}^2, \quad (3.2)$$

де y_i – експериментальне значення досліджуваної величини;

x_{1i}, x_{2i} – нормалізовані значення факторів;

b_0, b_{ji} – коефіцієнти рівняння регресії.

Для визначення коефіцієнтів рівняння регресії використаємо відомі підходи та залежності [9, 39, 44]

$$b_0 = (1/N) \sum y_i;$$

$$b_1 = (1/N) \sum y_i \cdot x_{1i};$$

$$b_2 = (1/N) \sum y_i \cdot x_{1i} \cdot x_{2i};$$

$$b_{12} = (1/N) \sum y_i \cdot x_{1i} \cdot x_{2i};$$

$$b_{11} = (1/N) \sum y_i \cdot x_{1i}^2;$$

$$b_{22} = (1/N) \sum y_i \cdot x_{2i}^2, \quad (3.3)$$

Кодування факторів будемо виконувати за наступними формалізованими залежностями [130, 9, 134]

$$x_j = \frac{z_j - z_j^0}{\Delta z_j}, \quad (3.4)$$

де

$$z_j^0 = \frac{z_j^{\max} + z_j^{\min}}{2}; \quad (3.5)$$

$$\Delta z_j = \frac{z_j^{\max} - z_j^{\min}}{2},$$

$z_j^{\max}$ і $z_j^{\min}$ – верхня і нижня межі варіювання j -фактора.

Точка (z_1^0, z_2^0) називається центром плану або основним рівнем; величини Δz_1 і Δz_2 – інтервалами варіювання вздовж осей z_1 і z_2 .

Таким чином, було отримано план експерименту, який буде прийнято до виконання при його реалізації. Отримані дані в ході експерименту будуть піддаватися статистичній обробці із відповідною оцінкою адекватності моделі, що їх описує.

3.5 Висновки до 3 розділу

При аналізі конструктивних та технологічних властивостей малогабаритного обприскувача складено його технічну характеристику. Серед основних параметрів: ширина захвату – 5 м; діапазон висоти встановлення штанги – 350-1100 мм; діапазон зміни ширини колії – 900-1500 мм; продуктивність за годину основного часу – 1,8-2,7 га/год.

Складено програму та описано методику проведення експериментальних досліджень.

Для підтвердження результатів теоретичних розрахунків в окресленій постановці завдання прийнято план та побудовано матрицю повного факторного експерименту типу $N = 3^2$.

Основні наукові результати розділу опубліковані у працях [69, 104, 105, 106].

РОЗДІЛ 4

ПРОВЕДЕННЯ ТА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МАЛОГАБАРИТНОГО САМОХІДНОГО ОБПРИСКУВАЧА

4.1 Польові випробування та підготовка до проведення експериментальних досліджень

Мета проектування чи удосконалення будь-якої сільськогосподарської машини полягає, перш за все, у підвищенні її функціональної ефективності. Машина розробляється для виконання якоїсь технологічної операції, а отже, вона має спочатку бути ефективною у технологічному плані, а потім є актуальними всі решту показники, які цікавлять експериментатора чи замовника.

Отже, розробка малогабаритного самохідного штангового обприскувача виконана з метою використання його, в основному, для обприскування польових культур на невеликих площах. Його задача замінити рутинну ручну працю при використанні ранцевого обприскувача при догляді за вирощуваними культурами.

У попередньому розділі було описано основні характеристики даного обприскувача. Тут покажемо окремі фрагменти його польових випробувань в реальних умовах.

Варто зазначити, що дана машина має своє застосування від ранньої весни до пізньої осені, та засвідчила високу ефективність.

Перше весняне застосування обприскувача на польових культурах – це внесення ґрунтового гербіциду після посадки картоплі, рис. 4.1.



Рисунок 4.1 – Весняне внесення ґрунтового гербіциду

Як видно з світлини, що тут забезпечується висока рівномірність внесення робочого препарату по всій ширині захвату штанги, факели розпилу перекриваються, штанга має паралельне розміщення до поверхні поля. Рухаючись сталим рухом, буде рівномірно розпилений препарат на всій площі, що забезпечить його високу ефективність у боротьбі з бур'янами.

Як вже зазначалось, що значна частка виробництва картоплі зосереджена у приватних господарствах, а це означає, що боротьба з колорадським жуком – це «одвічна боротьба», рис. 4.2.



Рисунок 4.2 – Картопляна грядка, що уражена колорадським жуком

Цей приклад наведений з тою метою, щоб дати добре розуміння, що несвоєчасна (запізніла) обробка може мати досить негативні наслідки. Тому тут потрібне негайне обприскування від шкідника, інакше втрати урожаю будуть колосальними.

Застосовуючи самохідний обприскувач, таку обробку на площі 0,25 га можна виконати за лічені хвилини, ще приблизно 10 хв при його найменшій продуктивності 1,8 га/год, рис. 4.3.



Рисунок 4.3 – Підготовка обприскувача до роботи та обробка картопляної грядки

В ході проведення польових випробувань була засвідчена висока його технологічна ефективність: можливість адаптування ширини колії до ширини міжрядь, співвісна по осі рядка розстановка розпилювачів на штанзі, можливість встановлення штанги на задану висоту над об'єктом обробки, рівномірність розпилу робочого препарату, стабільний хід штанги при наїзді колеса обприскувача на перешкоду, витіснення робочого препарату без пульсацій, оскільки тут застосовано мініресивер та частина порожнього бака виступає в ролі ресивера і пульсації тиску при нагнітанні компресором повністю згладжуються у порівнянні з пульсаціями насоса у класичній схемі мініобприскувача, обприскувач самопересувний і не потребує прикладання

зусиль на його переміщення, розворот та повороти здійснюються важелями керування тощо.

В технологічному плані машина є досить ефективною, а тепер потрібно пересвідчитись, що її вузли та деталі маю належну міцність та безпечні в експлуатації.

Для цього проводимо серію експериментів, для яких виконуємо деяку підготовку, рис. 4.4.



а)



б)

Рисунок 4.4 – Процедура наклеювання тензорезисторів

Процедура наклеювання тензорезисторів включає підготовку місця наклеювання та сам процес наклеювання тензодатчика з подальшим його ізолюванням та закріпленням з'єднувальних роз'ємів. На рис. 4.4, а показано підготовку та монтаж тензодатчиків на бакові обприскувача у визначених точках. На рис. 4.4, б показано змонтований тензодатчик на елементі штанги.



а)

б)

Рисунок 4.5 – Фіксація результатів експериментів

Далі слідує процес монтажу акселерометрів на штанзі та датчика кутової швидкості на направляючій рамки штанги, рис. 4.5, а. На рис. 4.5, б показано змонтовану і підключену реєструючу апаратуру, яка працює в автономному режимі та фіксує результати показів всіх датчиків.

Наступним етапом є проведення самих експериментів за розробленою програмою та обробка отриманих результатів з їх візуалізацією.

4.2 Результати експериментального дослідження міцності бака обприскувача

Метою дослідження є встановлення закономірностей зміни напруженого стану циліндричної частини бака обприскувача під дією внутрішнього тиску та ступеня його заповнення, шляхом експериментального тензометричного дослідження [78, 99, 111, 121].

Об'єкт дослідження – бак обприскувача об'ємом 80 літрів, виготовлений у формі тонкостінного сталевго циліндра. Робоча рідина витісняється під дією стиснутого повітря. Під час експлуатації бак працює під тиском у діапазоні 0,2 – 0,6 МПа.

Таблиця 4.1 – Фактори та рівні дослідження

Позначення	Фактор	Рівні (-1; 0; +1)
X_1	Тиск у баку, МПа	0,2 – 0,4 – 0,6
X_2	Заповненість бака, л	0 – 40 – 80

Визначаємо напруження у циліндричній стінці бака за розробленим планом експерименту.

Результати визначення напружень, що зведені до таблиць, розділимо окремо – колові напруження у стінці бака та меридіональні.

Спочатку розглянемо результати отриманих значень колових напружень у стінці бака, табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Робоча матриця експерименту

№ досліду	Тиск, МПа	Об'єм, л	x_1	x_2	y_i (σ_1 , МПа)
1.	0,20	0	-1	-1	47,99
2.	0,20	0	-1	-1	46,72
3.	0,20	0	-1	-1	48,30
4.	0,20	40	-1	0	50,40
5.	0,20	40	-1	0	46,88
6.	0,20	40	-1	0	46,88
7.	0,20	80	-1	1	50,86
8.	0,20	80	-1	1	49,24
9.	0,20	80	-1	1	46,77
10.	0,40	0	0	-1	93,09
11.	0,40	0	0	-1	91,07
12.	0,40	0	0	-1	91,07
13.	0,40	40	0	0	93,17
14.	0,40	40	0	0	88,86
15.	0,40	40	0	0	89,24
16.	0,40	80	0	1	92,26
17.	0,40	80	0	1	91,35
18.	0,40	80	0	1	94,01
19.	0,60	0	1	-1	135,18
20.	0,60	0	1	-1	134,18
21.	0,60	0	1	-1	139,93
22.	0,60	40	1	0	137,58

Закінчення табл. 4.2

23.	0,60	40	1	0	138,16
24.	0,60	40	1	0	135,18
25.	0,60	80	1	1	137,97
26.	0,60	80	1	1	139,28
27.	0,60	80	1	1	136,75

Отримані значення напружень в серії експериментів дають можливість визначити коефіцієнти рівняння регресії за залежностями (3.3). При застосуванні методу найменших квадратів встановимо наступні значення коефіцієнтів рівняння регресії (3.2):

$$\begin{aligned}
 b_0 &= 91,077; \\
 b_1 &= 44,453; \\
 b_2 &= 0,609; \\
 b_{12} &= 0,071; \\
 b_{11} &= 1,111; \\
 b_{22} &= 0,738.
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

Але лиш тоді можна визнати, що знайдені коефіцієнти адекватно відображають експериментальні дані і поверхні відгуку їх адекватно відобразить, якщо провести перевірку за критеріями Кохрена, Ст'юдента та Фішера, що передбачає стандартна методика обробки експериментальних даних [46, 134].

Першою є перевірка за критерієм Кохрена на однорідність дисперсії.

Оскільки тут застосовані стандартні методики обробки даних, то приведемо лише результати порівняльного аналізу.

Визначене значення критерію Кохрена складає $G_p = 0,3001$, тоді як табличне $G_m = 0,3346$, якщо їх порівняти

$$G_p = 0,3001 < G_m = 0,3346,$$

то висновок вказує на однорідність дисперсії.

Для остаточної побудови поверхні відгуку за залежністю (3.2) у це рівняння вводять коефіцієнти (4.1), але перед тим перевіряють їх значущість за t-критерієм Ст'юдента.

Методика передбачає закладену ймовірність достовірності результатів 95%.

Для нашого експерименту табличне значення критерію Ст'юдента складає $t_{кр} = 2,08$ при рівню значущості $\alpha = 0,05$, кількості ступенів вільності $f = 27 - 6 = 21$.

Таблиця 4.3 – Перевірка значущості коефіцієнтів регресії

Коефіцієнт	t_{exp}	Значущість, +/-
b_0	105,53	+
b_1	52,55	+
b_2	9,78	+
b_{12}	4,26	+
b_{11}	3,09	+
b_{22}	2,05	-

Тепер перевіримо модель на відповідність отриманої моделі експериментальними даним, тобто чи є модель адекватною. Таку перевірку здійснюють за критерієм Фішера.

Критичне значення критерію Фішера складає $F_{кр} = 3,29$ при $\alpha = 0,05$, $f_1 = 4 : f_2 = 18$, тоді

$$F_p = 0,31 < F_{кр} = 3,29.$$

Звідси висновок – модель адекватна.

Тепер це дає нам право записати остаточний вираз рівняння регресії:

– у кодованих змінних

$$y_i = 91,077 + 44,453 \cdot x_{1i} + 0,609 \cdot x_{2i} + 0,071 \cdot x_{1i} \cdot x_{2i} + 1,1110 \cdot x_{1i}^2; \quad (4.2)$$

– у натуральних одиницях

$$y = 6.89 + 199,68 \cdot P - 0,0253 \cdot V + 0,00885 \cdot P \cdot V + 0,00046 \cdot V^2 + 27,79 \cdot P^2, \quad (4.3)$$

де P – тиск в системі, МПа; V – об'єм робочої рідини у баку, л.

Ізолінії поверхні відгуку показано на рис. 4.6.

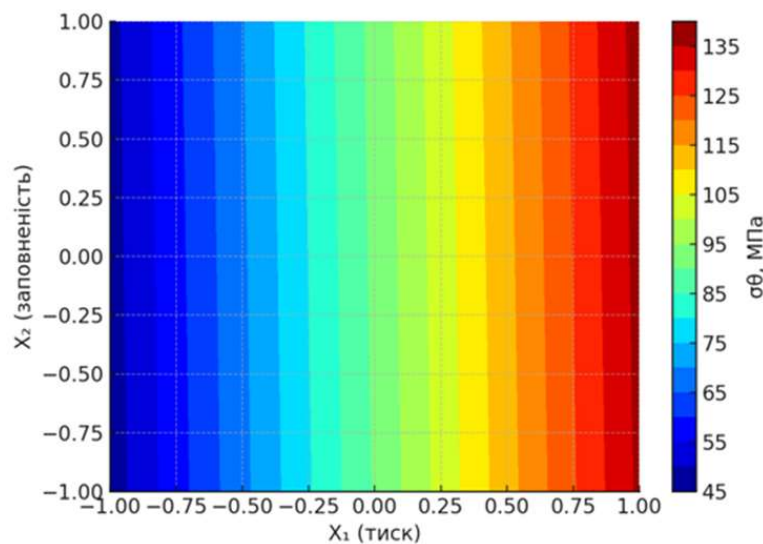


Рисунок 4.6 – Ізолінії поверхні відгуку

Тут чітко прослідковується зміна колових напружень від внутрішнього тиску та рівня заповненості бака робочою рідиною. І якраз останній чинник має мінімальний вплив на загальний напружений стан, а тому поверхня відгуку є майже плоскою. Це добре видно, якщо ми її побудуємо у вигляді 3D графіка та у натуральних одиницях, рис. 4.7.

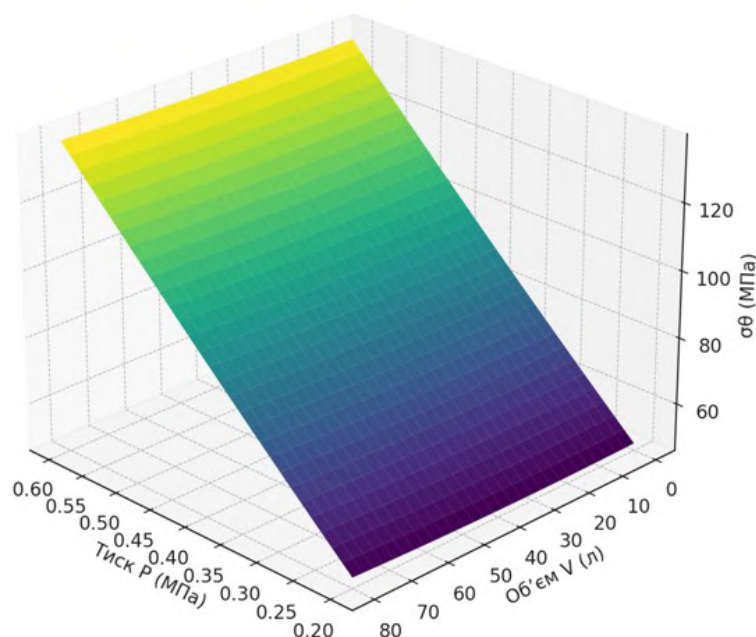


Рисунок 4.7 – Поверхня відгуку, що характеризує колові напруження в циліндричній стінці бака обприскувача

Тепер перейдемо до другої половини того ж експерименту – визначення меридіональних або поздовжніх напружень.

Матриця експерименту матиме вигляд, табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Робоча матриця експерименту

№ досліджу	Тиск, МПа	Об'єм, л	x_1	x_2	y_i (σ_2 , МПа)
1.	0,20	0	-1	-1	23,46
2.	0,20	0	-1	-1	24,50
3.	0,20	0	-1	-1	24,14
4.	0,20	40	-1	0	23,43
5.	0,20	40	-1	0	23,89
6.	0,20	40	-1	0	25,01
7.	0,20	80	-1	1	23,15
8.	0,20	80	-1	1	24,15
9.	0,20	80	-1	1	24,99
10.	0,40	0	0	-1	45,57
11.	0,40	0	0	-1	45,66
12.	0,40	0	0	-1	45,95
13.	0,40	40	0	0	47,09
14.	0,40	40	0	0	46,03
15.	0,40	40	0	0	46,12

Закінчення табл. 4.4

16.	0,40	80	0	1	46,47
17.	0,40	80	0	1	47,79
18.	0,40	80	0	1	47,78
19.	0,60	0	1	-1	69,50
20.	0,60	0	1	-1	69,19
21.	0,60	0	1	-1	69,37
22.	0,60	40	1	0	70,26
23.	0,60	40	1	0	69,05
24.	0,60	40	1	0	70,11
25.	0,60	80	1	1	69,41
26.	0,60	80	1	1	69,72
27.	0,60	80	1	1	70,49

На основі експериментальних даних знаходимо коефіцієнти рівняння регресії та визначаємо їх значущість.

$$\begin{aligned}
 b_0 &= 46,521; \\
 b_1 &= 22,799; \\
 b_2 &= 0,367; \\
 b_{12} &= 0,113; \\
 b_{11} &= 0,381; \\
 b_{22} &= -0,037.
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

Тоді рівняння регресії у кодованих змінних матиме вигляд

$$y_i = 46,521 + 22,799 \cdot x_{1i} + 0,367 \cdot x_{2i} + 0,113 \cdot x_{1i} \cdot x_{2i} + 0,381 \cdot x_{1i}^2 - 0,037 \cdot x_{2i}^2. \tag{4.5}$$

Але це не остаточний вигляд рівняння регресії, оскільки потрібно провести оцінку значущості його коефіцієнтів.

Таку оцінку робимо за критерієм Ст'юдента, де $t_{кр} = 2,08$.

Таблиця 4.5 – Оцінка коефіцієнтів за критерієм Ст'юдента

Коефіцієнт	t_{exp}	Значущість, +/-
b_0	386,21	+
b_1	189,27	+
b_2	3,05	+
b_{12}	0,94	–
b_{11}	3,17	+
b_{22}	0,31	–

Отже, така оцінка вказує на незначущість коефіцієнтів b_{12} , b_{22} , які можна вилучити з рівняння (4.5).

За перевіркою за критерієм Кохрена оцінюємо однорідність дисперсії.

Табличне значення складає $G_m = 0,3346$, розрахункове – $G_p = 0,2422$, порівняємо

$$G_p = 0,2422 < G_m = 0,3346,$$

дисперсії однорідні.

І за критерієм Фішера – модель адекватна, оскільки

$$F_p = 1,60 < F_{\text{кр}} = 3,29.$$

Тепер остаточно можна записати рівняння регресії, наприклад у натуральних одиницях, відкинувши незначущі коефіцієнти

$$y_i = 2,051 + 105,757 \cdot P + 0,00539 \cdot V + 9,583 \cdot P^2, \quad (4.6)$$

де P – тиск в системі, МПа; V – об'єм робочої рідини у баку, л.

За знайденими рівняннями регресії побудуємо графічні залежності, рис. 4.8, 4.9.

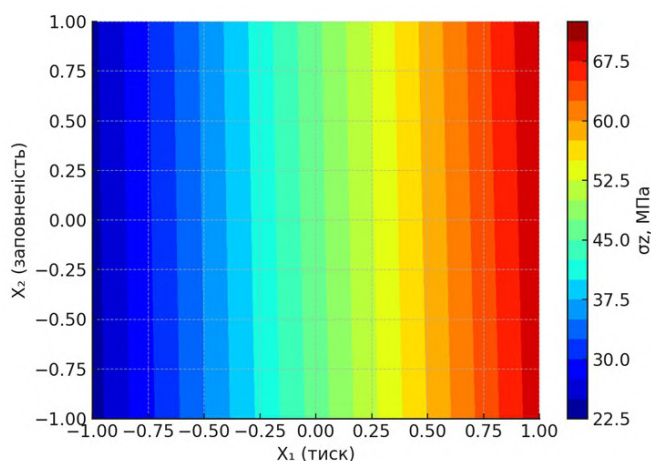


Рисунок 4.8 – Контурна проєкція значень поздовжніх напружень

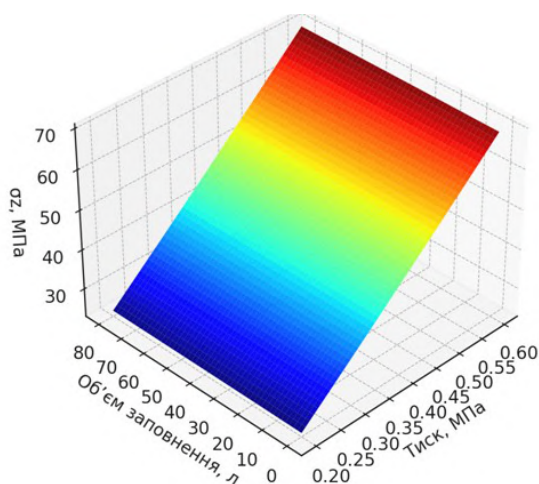


Рисунок 4.9 – Площина відгуку – розподіл поздовжніх напружень

Представлені графіки характеризують зміну поздовжніх напружень в розглядуваній точці стінки бака обприскувача від дії внутрішнього тиску та заповненості бака робочою рідиною.

Після отримання таких результатів експериментального дослідження варто порівняти їх зі знайденими відповідними напруженнями теоретичним шляхом.

Для порівняння відповідних значень напружень, за рівнянням регресії знаходимо точку, яка відповідає таким же умовам, при яких були знайдені теоретичні значення.

Порівняємо значення колового напруження в циліндричній стінці бака, що знайдене за умов: повний бак робочої рідини, коефіцієнт динамічності – 1; внутрішній тиск – 0,2 МПа, тоді колові напруження складають:

- теоретичне $\sigma_{1теор} = 46,36$ МПа;
- експериментальне $\sigma_{1експер} = 49,0$ МПа;
- відносна похибка $\Delta\sigma_1 = 5,39$ %.

Для поздовжніх напружень:

- теоретичне $\sigma_{2теор} = 23,18$ МПа;
- експериментальне $\sigma_{2експер} = 24,02$ МПа;
- відносна похибка $\Delta\sigma_2 = 3,5$ %.

Отже, порівняльний аналіз вказує на те, що проведені дослідження мають належну точність – теоретичні розрахунки добре корелюють з експериментальними. Тут відносна похибка результатів не перевищує 10 %.

4.3 Результати експериментального дослідження прискорень, що виникають на штанзі обприскувача

Ще одним етапом експериментальних досліджень є виконання порівняльного аналізу прискорень, що виникають на краю штанги обприскувача, рис. 4.10.



Рисунок 4.10 – Визначення прискорень на краю секції штанги

Експериментальні дослідження виконані за таких змінних факторів: швидкість руху обприскувача змінювали – 3,5 км/год, 4,0 км/год, 4,5 км/год; заповнення бака – 0, 40 л, 80 л. Кожну із комбінацій повторювати три рази. Результатом є експеримент типу 3^2 , де фіксували значення прискорень на краю секції штанги (сигнали від акселерометра, що на рис. 4.10 показаний під стрілкою).

Робоча матриця такого експерименту має вигляд, табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Робоча матриця експериментального визначення прискорень

№ досліджу	x_1 (швидкість, км/год)	x_2 (наповненість бака, л)	y_i (прискорення, м/с ²)	Комбінації (x_1, x_2)
1.	4,5	80	9,57	(1, 1)
2.	4,5	80	9,48	(1, 1)
3.	4,5	80	9,6	(1, 1)
4.	4,5	40	12,53	(1, 0)
5.	4,5	40	12,26	(1, 0)
6.	4,5	40	12,26	(1, 0)
7.	4,5	0	15,34	(1, -1)
8.	4,5	0	15,22	(1, -1)
9.	4,5	0	15,03	(1, -1)
10.	4,0	80	11,38	(0, 1)
11.	4,0	80	11,23	(0, 1)
12.	4,0	80	11,23	(0, 1)
13.	4,0	40	13,84	(0, 0)
14.	4,0	40	13,51	(0, 0)
15.	4,0	40	13,54	(0, 0)
16.	4,0	0	16,32	(0, -1)
17.	4,0	0	16,25	(0, -1)
18.	4,0	0	16,45	(0, -1)
19.	3,5	80	13,06	(-1, 1)
20.	3,5	80	12,99	(-1, 1)
21.	3,5	80	13,42	(-1, 1)
22.	3,5	40	15,67	(-1, 0)
23.	3,5	40	15,71	(-1, 0)
24.	3,5	40	15,49	(-1, 0)
25.	3,5	0	18,22	(-1, -1)
26.	3,5	0	18,32	(-1, -1)
27.	3,5	0	18,13	(-1, -1)

Тоді рівняння регресії у кодованих змінних

$$y_i = 13,690 - 1,651 \cdot x_{1i} - 2,629 \cdot x_{2i} - 0,145 \cdot x_{1i} \cdot x_{2i} + 0,267 \cdot x_{1i}^2 + 0,090 \cdot x_{2i}^2. \quad (4.7)$$

Оцінимо значущість отриманих коефіцієнтів регресії за критерієм Ст'юдента, табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Порівняння значущості коефіцієнтів

Коефіцієнт	Натуральні значення	t_{exp}	t-табличне	Значущість, +/–
b_0	45,5244	11,646	2,080	+
b_1	-11,5456	-5,875		+
b_2	-0,0412	-4,462		+
b_{11}	1,0667	4,349		+
b_{12}	-0,0073	-3,345		+
b_{22}	0,0001	1,468		–

Отже, незначущим є коефіцієнт b_{22} , який можна виключити з рівняння регресії. Тоді рівняння набуде остаточного вигляду

$$y_i = 45,524 - 11,546 \cdot g - 0,041 \cdot V + 1,067 \cdot g^2 - 0,007 \cdot g \cdot V, \quad (4.8)$$

де g – швидкість, км/год; V – об'єм робочої рідини у баку, л.

За результатами перевірки за критерієм Кохрена

$$G_p = 0,2962 < G_m = 0,3346,$$

дисперсії однорідні.

Перевірка за критерієм Фішера (при ступенях свободи: 3 і 18, $\alpha = 0.05$)

$$F_p = 1,906 < F_{кр} = 3,160.$$

Модель адекватна, рівняння регресії повністю відображає експериментальні дані. Побудуємо поверхню відгуку, рис. 4.11.

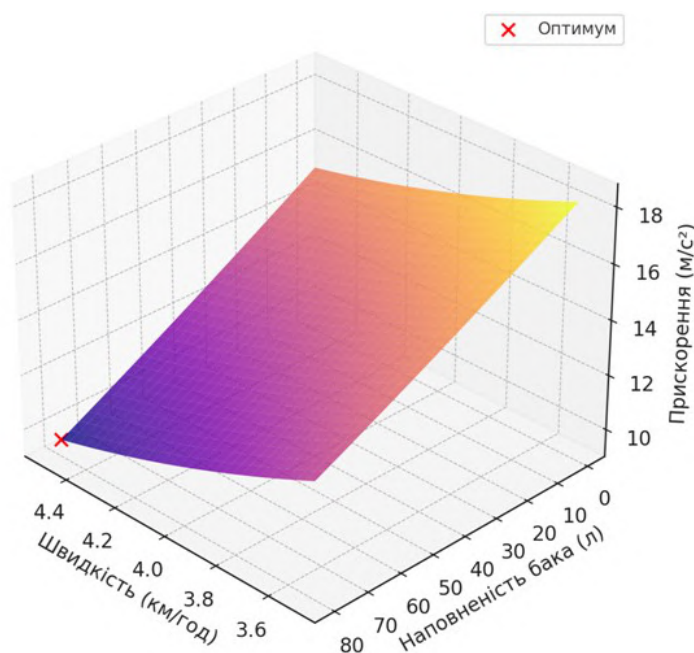


Рисунок 4.11 – Поверхня відгуку – прискорення на краю штанги

На поверхні відгуку показано точку оптимуму, яка вказує, що мінімальні прискорення виникають при повністю заповненому бакові та максимальній поступальній швидкості машини.

Розбіжність результатів теоретичного розрахунку та експериментальних даних складає 8,8%, що також свідчить про високу точність як теоретичних моделей та результатів проведених експериментів.

Окремим одиночним експериментом було дослідження прискорень, що виникають на краю штанги при русі обприскувача польовими нерівностями із зафіксованою підвіскою штанги (умовно жорстке кріплення) – середні прискорення тут виникали в межах $17,5 \text{ м/с}^2$, при роботі на маятниковій підвісці – $10,2 \text{ м/с}^2$. Отриманий ефект використання маятнкової підвіски для даного режиму експлуатації обприскувача (повний бак, швидкість $4,5 \text{ км/год}$, рельєф умовно складний) складає 1,7 рази зниження вертикальних прискорень. Що позитивно відображається на стабільності положення

штанги, зниженні дії на неї динамічних сил та відповідно збереженні ресурсу її роботи.

4.4 Висновки до 4 розділу

Проведені польові випробування обприскувача на різних режимах роботи та у період весна-осінь результати засвідчили високу його технологічну ефективність: адаптивність до різних умов роботи при обробці чистих парів, просапних культур, обприскуванні дерев тощо; рівномірність нанесення робочого препарату; дотримання норми виливу при забезпечення сталого тиску витіснення робочої рідини з бака і т.д.

Результатом експериментальних досліджень (при визначених умовах) є визначення напружень в циліндричній стінці бака та його днищах.

Порівняльний аналіз вказує на те, що проведені дослідження мають належну точність – відносна похибка результатів не перевищує 10 %.

При дослідженні прискорень розбіжність результатів теоретичного розрахунку та експериментальних даних складає 8,8%. Отримані ефекти позитивно відображаються на стабільності положення штанги, зниженні дії на неї динамічних сил та відповідно збереженні ресурсу її роботи.

Основні наукові результати розділу опубліковані у працях [13, 15, 66].

РОЗДІЛ 5

АНАЛІЗ РОБОТОЗДАТНОСТІ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ САМОХІДНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО ОБПРИСКУВАЧА

5.1 Аналіз напруженого стану бака обприскувача при дії робочого навантаження

Для забезпечення роботоздатності елементів конструкції малогабаритного обприскувача варто оцінити їх напружений стан за умови робочого навантаження.

На першому етапі проведено дослідження напруженого стану бака обприскувача, який експлуатується в пневмогідравлічній системі живлення розпилюючих пристроїв.

Таким навантаженням для бака є надлишковий внутрішній робочий тиск p_0 , який змінюється від нуля до 0,6 МПа. Верхнє значення тиску регламентоване робочими характеристиками розпилюючих органів. Другою складовою навантаження є гідростатичний тиск робочої рідини. Висота стовпа рідин h_n також може змінюватись від нульового значення (порожній бак) до максимального $h_n = 0,55$ м (повний бак).

Якщо попередню оцінку дії надлишкового внутрішнього тиску було виконано у другому розділі, то оцінку дії гідростатичного тиску проводили тільки в межах окремих досліджень [14], де не в повній мірі врахована специфіка саме розробленої конструкції самохідного обприскувача.

Проведемо оцінку напруженого стану окремо від дії кожної складової навантаження та з врахуванням динамічних перевантажень, що виникають в процесі експлуатації.

Розглянемо дію гідростатичного тиску робочої рідини на циліндричні стінки бака.

Для визначення колових напружень скористаємося залежністю (2.50), де введемо коефіцієнт динамічності $k_d = 1,5$, який впливає із проведених експериментальних досліджень.

Тоді залежність для визначення колових напружень у циліндричній частині бака від повного навантаження становитиме

$$\sigma_{tc} = \frac{R_0(p_0 + k_d \rho g(h_n - x))}{h}, \quad (5.1)$$

де k_d – коефіцієнт динамічності;

x – змінна координата, що відраховується від верхньої точки по вертикальній осі бака. Її максимальне значення відповідає нульовому рівню рідини у баку.

Визначимо напруження тільки від дії гідростатичного тиску рідини, тобто $p_0 = 0$. Такий режим роботи справедливий, наприклад при транспортування обприскувача до місця обробки площі.

За цих умов маємо значення колових напружень у стінці бака з врахування динаміки руху машини, рис. 5.1

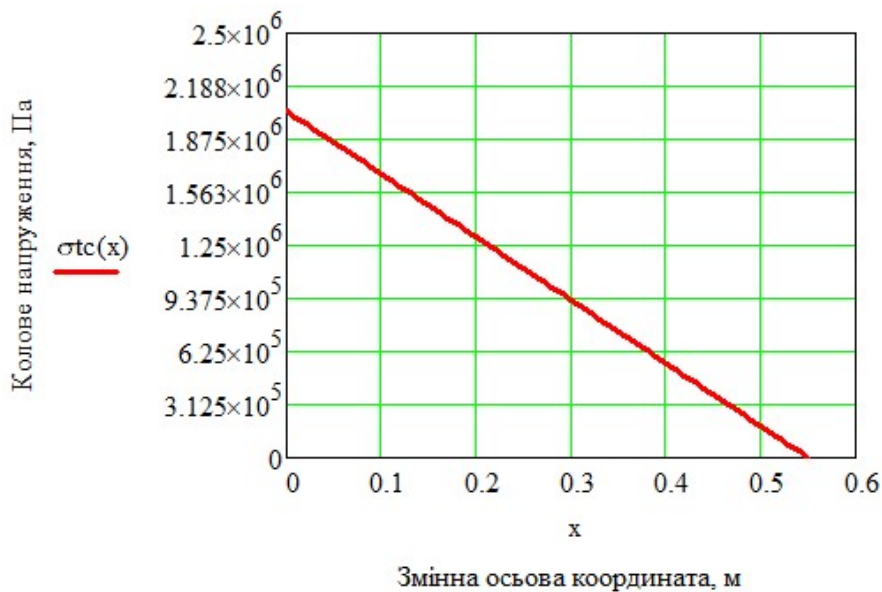
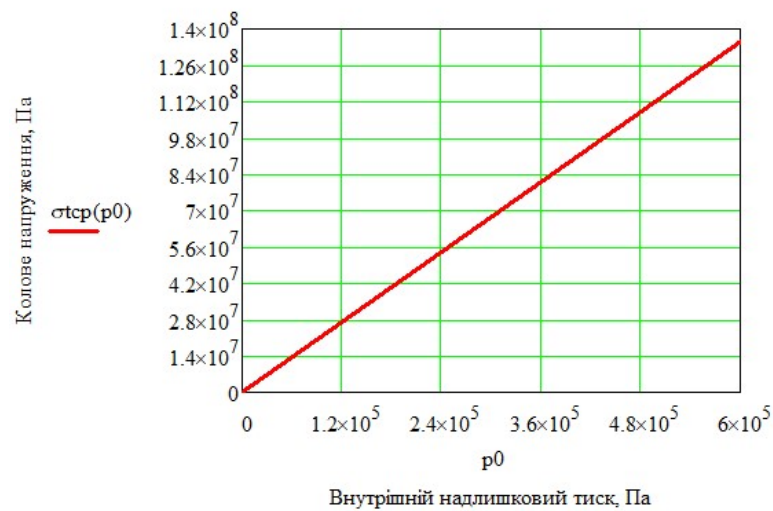


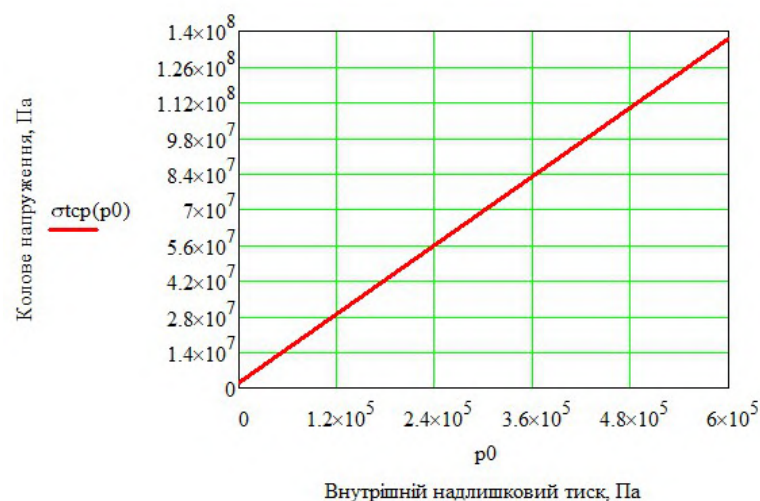
Рисунок 5.1 – Колові напруження у циліндричній стінці бака при дії гідростатичного тиску робочої рідини

Як видно за графічною залежністю, що максимальні колові напруження, що виникають при повному баку складають 2,04 МПа. Це порівняно мале значення напружень, оскільки для матеріалу бака (нержавіюча сталь AISI 304 ($\sigma_T = 310$ МПа)) допустимі напруження є в межах $[\sigma] = 206,7$ МПа. Але потрібно розуміти, що це дія тільки гідростатичного тиску рідини на циліндричні стінки у коловому напрямку.

Тепер окремо покажемо дію внутрішнього надлишкового тиску при порожньому баку, рис. 5.2, а та повному баку – рис. 5.2,б.



а)



б)

Рисунок 5.2 – Колові напруження при дії внутрішнього тиску

Максимальне колове напруження у циліндричній стінці бака при дії максимального внутрішнього тиску складає $\sigma_{ty} = 135$ МПа.

Максимальне колове напруження при повному навантаженні (рис. 5.2, б) – $\sigma_{ty} = 137,04$ МПа. Це означає, що питома частка напруження від дії ваги рідни в коловому напруженні на стінки бака складає лише 1,5%.

Перейдемо до меридіональних напружень, що виникають в циліндричних стінках бака від дії гідростатичного тиску робочої рідини.

Ці напруження напряму залежать від способу закріплення оболонки. Прослідкуємо наскільки відрізнятимуться напруження при закріпленні бака за верхнє днище у порівнянні з нижнім.

Розглянемо спочатку вплив рідни при закріпленні бака за верхнє днище та при повністю заповненому бакові.

Залежність, що описує меридіональні напруження впливає з (2.51) та матиме вигляд

$$\sigma_{my} = \frac{R_0 (p_0 + k_0 \rho g h_n)}{2h}. \quad (5.2)$$

При зміні заповненості бака характер зміни напруження матиме вигляд, рис. 5.3.

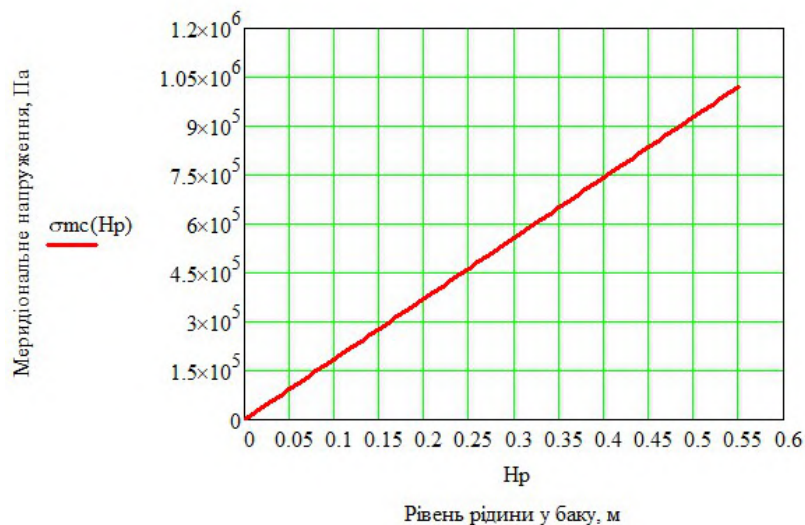


Рисунок 5.3 – Меридіональні напруження у циліндричній стінці бака

Максимальне значення напруження складає $\sigma_{m\psi} = 1,02$ МПа.

Тепер розглянемо ще дію внутрішнього надлишкового тиску на цю складову напруження та при вказаному способі закріплення бака.

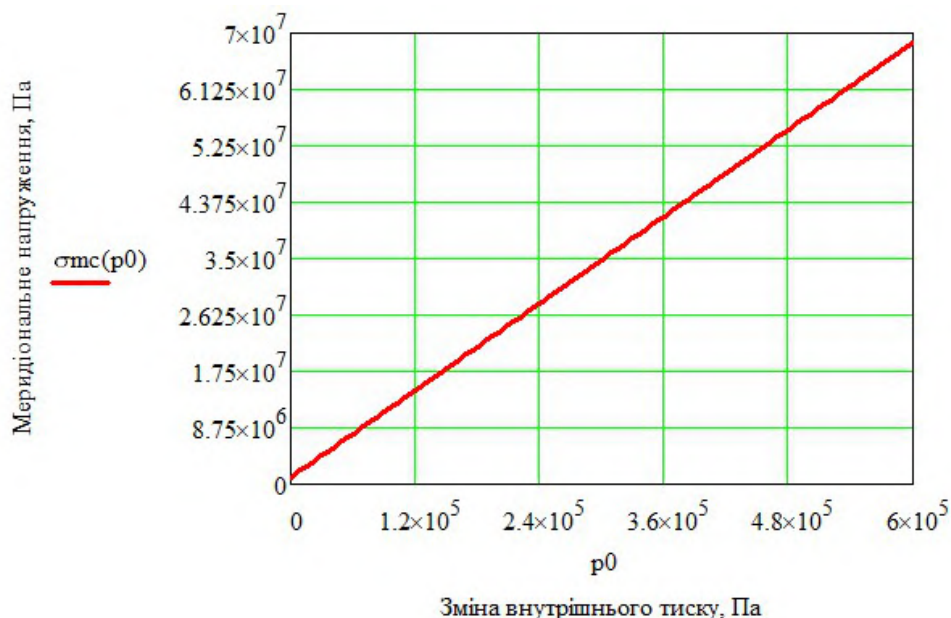


Рисунок 5.4 – Меридіональні напруження у циліндричній стінці бака при повному його навантаженні

Звідси випливає, що при повному заповненні бака в умовах експлуатації обприскувача, вплив гідростатичного тиску робочої рідини на циліндричні стінки бака викликає незначні меридіональні напруження, що складають так само біля 1,5 %. Нагадаємо, що отримані результати тут наведено при умові закріплення бака за верхнє днище, через що циліндричні стінки сприймають вагу рідини.

В нашому випадку прийнято обґрунтоване рішення кріплення бака – вільне обпирання у коловому напрямку на нижнє днище, а це означає, що дані напруження $\sigma_{m\psi} = 0$.

Таке дослідження було проведене з метою оцінки питомого значення впливу способу закріплення бака на його напружений стан.

Щоб завершити оцінку напруженого стану циліндричної частини бака, потрібно визначити еквівалентні напруження, що спостерігаються у його

стінках. Для цього скористаємося 4-тою теорією міцності та визначимо еквівалентні напруження для максимальних колових та меридіональних напружень

$$\sigma_{IV\eta} = \sqrt{\sigma_{m\eta}^2 + \sigma_{t\eta}^2 - \sigma_{m\eta} \sigma_{t\eta}} \leq [\sigma]. \quad (5.3)$$

За розрахунком еквівалентні напруження складають $\sigma_{IV\eta} = 118,68$ МПа, що є значно нижчим від допустимого напруження – $[\sigma] = 206,7$ МПа. Звідси робимо перший висновок, що при діючому експлуатаційному навантаженні бака обприскувача виникаючі напруження у циліндричній його частині мають цілком задовільні значення, що свідчить про забезпечення його роботоздатності за цим критерієм.

Аналогічним чином визначимо напруження в днищах окремо від дії рідини, встановивши його питому частку до напруження від загального навантаження.

За основу беремо записані вище залежності (2.52) та (2.53), тільки змістимо систему відліку на $\frac{\pi}{2}$, щоб не застосовувати окремих підходів при переході функцій через нуль при діленні.

Розглядаємо нижнє днище, на яке діє крім внутрішнього надлишкового тиску ще й гідростатичний тиск робочої рідини.

Вважаємо, що рідина у баку транспортується до місця обприскування і на даному етапі внутрішній надлишковий тиск відсутній. Тоді меридіональні напруження будуть мати наступний характер розподілу у днищі, рис. 5.5

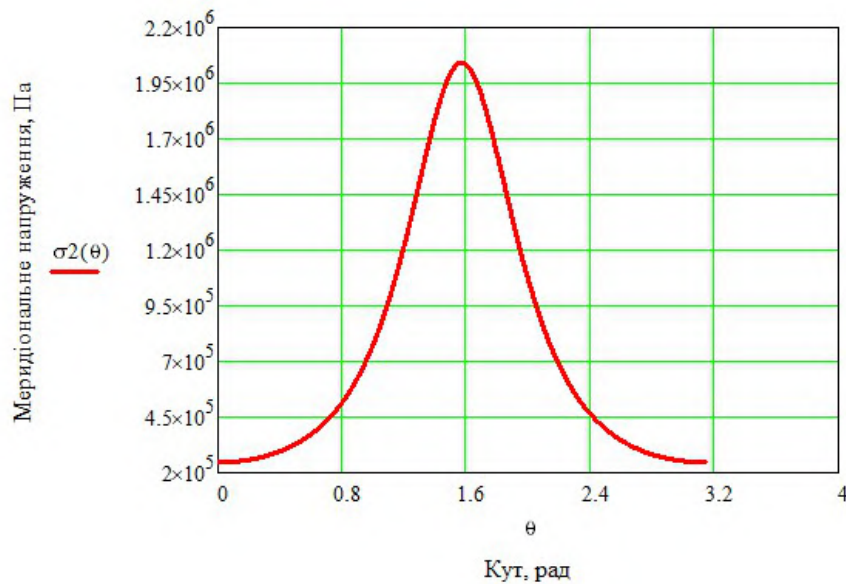


Рисунок 5.5 – Меридіональні напруження в днищі від гідростатичного тиску рідини

Максимальні значення напруження від дії тиску рідини спостерігаються в центрі днища, їх значення складають $\sigma_{m\delta} = 2,04$ МПа; в місцях приєднання днищ до циліндричної частини оболонки – $\sigma_{m\delta} = 0,25$ МПа.

А тепер вважаємо, що машина виконує технологічний процес – бак повністю заповнений робочою рідиною та підданий внутрішньому надлишковому тиску для витіснення цієї рідини до розпилюючих органів.

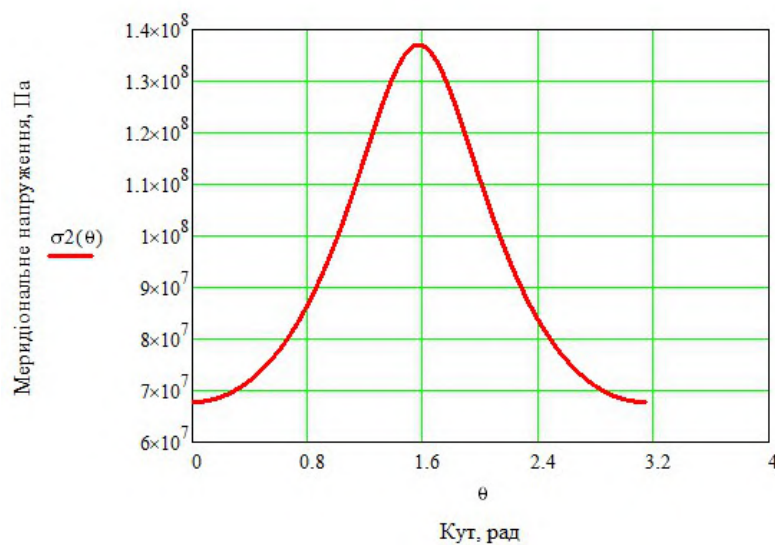


Рисунок 5.6 – Меридіональні напруження в днищі при повному навантаженні

Тут аналогічно максимальні напруження спостерігаються в центрі днища, вони складають $\sigma_{m\partial} = 137$ МПа. Напруження в місцях переходу з циліндричної частини до днищ $\sigma_{m\partial} = 67,75$ МПа.

Виходячи з цього, питома частка меридіональних напружень від дії гідростатичного тиску рідини у порівнянні з повним навантаженням складає: у центрі днища – 1,5%; на краю – 0,37%.

Але, крім меридіональних напружень, у днищах оболонки виникають ще й колові напруження, які будемо аналізувати за описаною залежністю (2.53).

Результат розрахунку покажемо у вигляді графічних залежностей, рис. 5.7- 5.8.

Колові напруження у днищі від дії гідростатичного тиску робочої рідини, рис. 5.7.

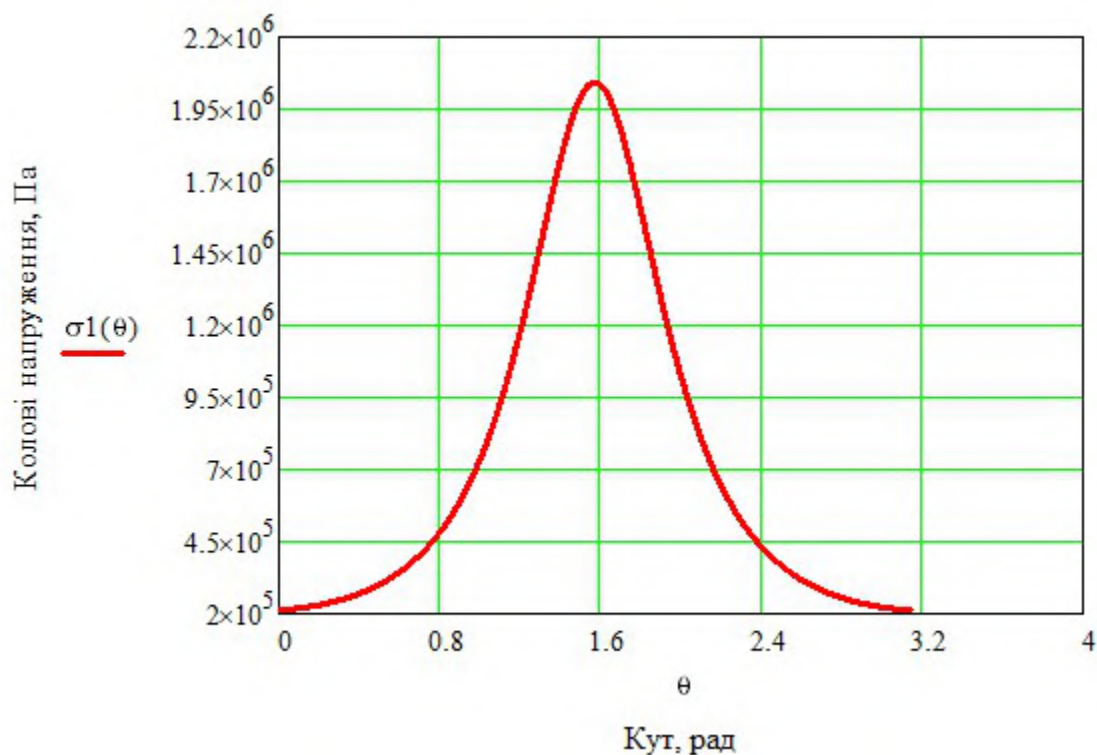


Рисунок 5.7 – Колові напруження в днищі від дії тиску рідини

Максимальні значення у центрі днища $\sigma_{t\theta} = 2,04$ МПа; в місці приєднання до циліндричної частини – $\sigma_{t\theta} = 0,21$ МПа.

Так само знайдемо колові напруження при повному навантаженні бака, рис. 5.8.

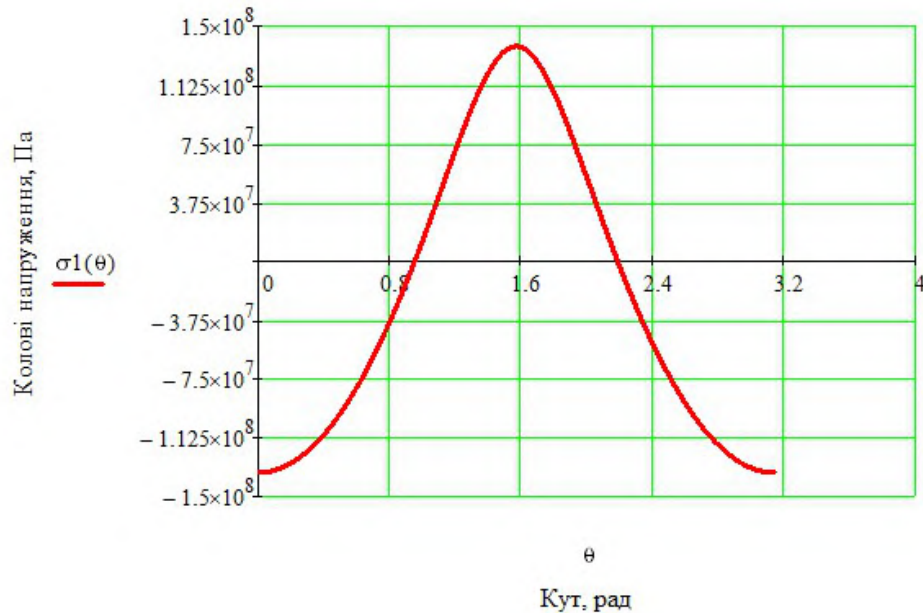


Рисунок 5.8 – Колові напруження в днищі при повному навантаженні бака

Тут бачимо, що на краях днища виникають стискуючі напруження – $\sigma_{t\theta} = -134,79$ МПа; у центрі – $\sigma_{t\theta} = 137$ МПа.

Питома частка напружень тільки від ваги рідини складає: на краю днища – 1,51%; у центрі – 0,15%.

Тепер узагальнимо отримані результати через віднаходження еквівалентних напружень, аналогічно до (5.3). Покажемо діючі напруження при повному навантаженні бака обприскувача у порівнянні з еквівалентними напруженнями, що підраховані за 4-ю теорією міцності.

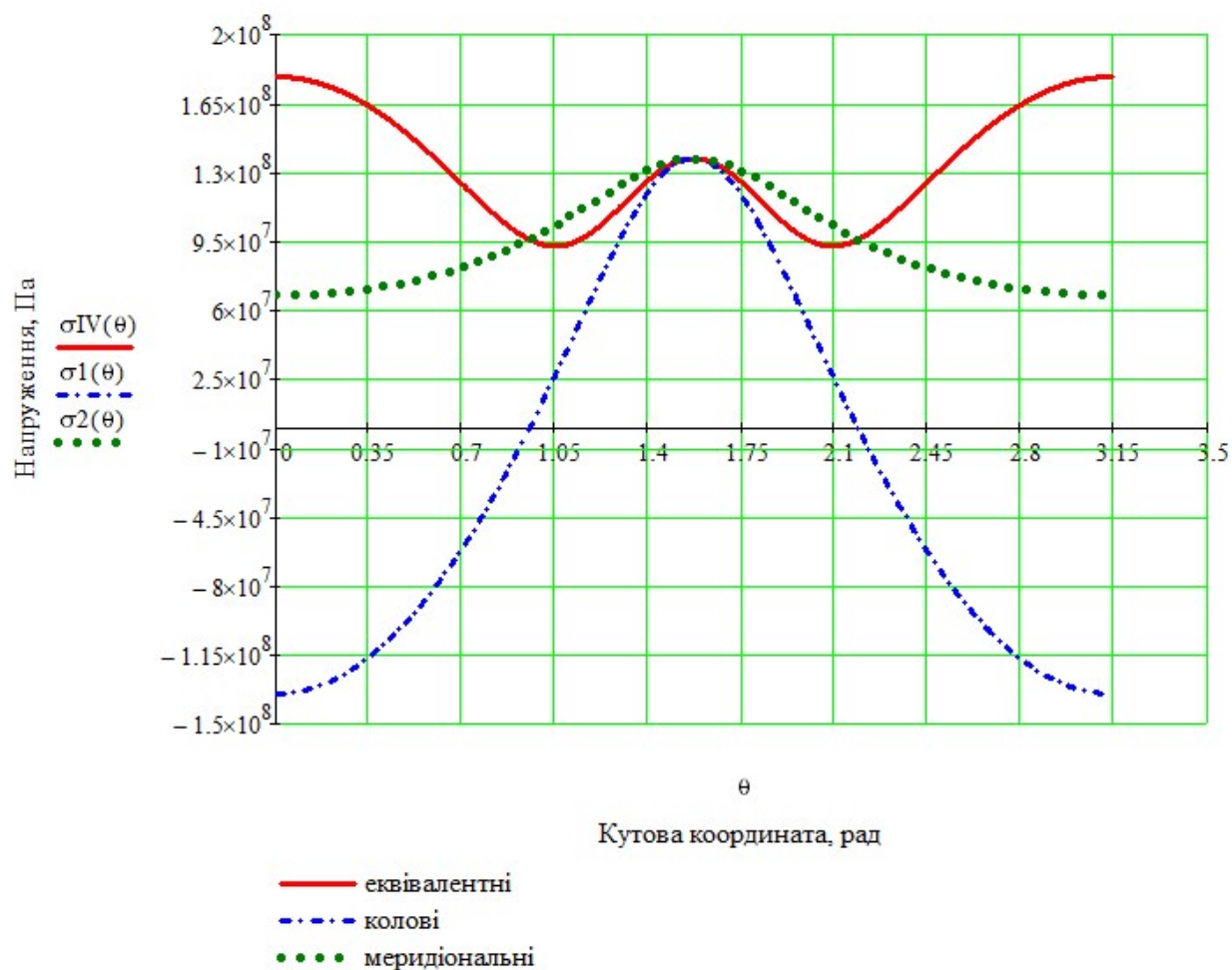


Рисунок 5.9 – Діючі напруження в днищі бака обприскувача при повному його навантаженні

Таким чином, еквівалентні напруження складають: у центрі днища $\sigma_{еквIV} = 137,04$ МПа; в місці приєднання до циліндричної частини – $\sigma_{еквIV} = 178,6$ МПа.

Звідси робимо висновок, що навантаження від дії гідростатичного тиску робочої рідини спричиняє колові та тангенційні напруження у циліндричній частині бака, його днищах, але їх значення сягають до 1,51%. Це означає, що для такої конструкції бака у пневмогідравлічній системі обприскувача визначальним є тільки внутрішній надлишковий тиск.

Дослідження показали, що при запропонованій конструкції півеліптичних днищ, в місця їх приєднання до циліндричної частини виникають краєві ефекти, що є досить небезпечними для таких оболонок.

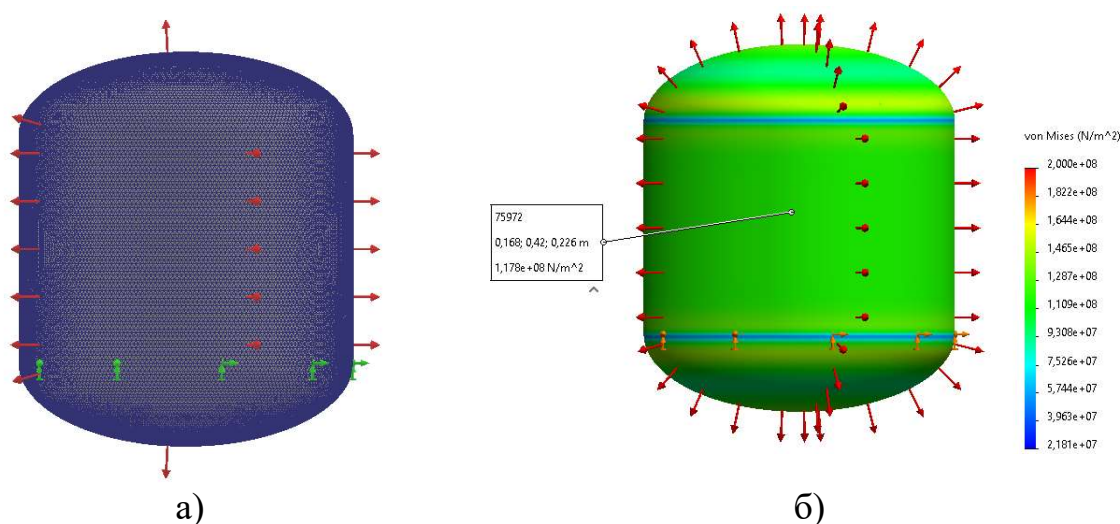
Нами встановлено, що при внутрішньому тиску $p_0 = 0,6$ МПа, виникають стискуючі колові напруження $\sigma_{\text{то}} = -134,79$ МПа, збільшення значення яких може призвести до втрати стійкості оболонки. Тому чітко потрібно дотримуватись обмеження внутрішнього тиску у баку, за критерієм НДС днищ, та не перевищувати допустиме робоче значення $[p] = 0,7$ МПа. Якщо робочий тиск буде близьким до допустимого, то рекомендовано підсилити конструкцію бака розпірними кільцями в місцях приєднання днищ, або ж забезпечити такий спосіб обпирання бака, де унеможлиблюється радіальне переміщення його стінок, що підсилить стійкість такої оболонки в цілому.

5.2 Аналіз параметрів конструкції обприскувача з використанням прикладних програм

Сучасний машинобудівник повинен володіти як теоретичним розрахунковим апаратом для проектування конструкцій, так і мати можливість підвищити свою продуктивність, використовуючи прикладні програми 3-D моделювання.

Разом з тим варто розуміти, що отриманий результат за одним способом підданий серйозному ризику виникнення помилки чи неточності. Тому для отримання обґрунтованих результатів щодо НДС бака обприскувача скористаємося прикладною програмою SolidWorks2019 модулем Simulation (рис. 5.10).

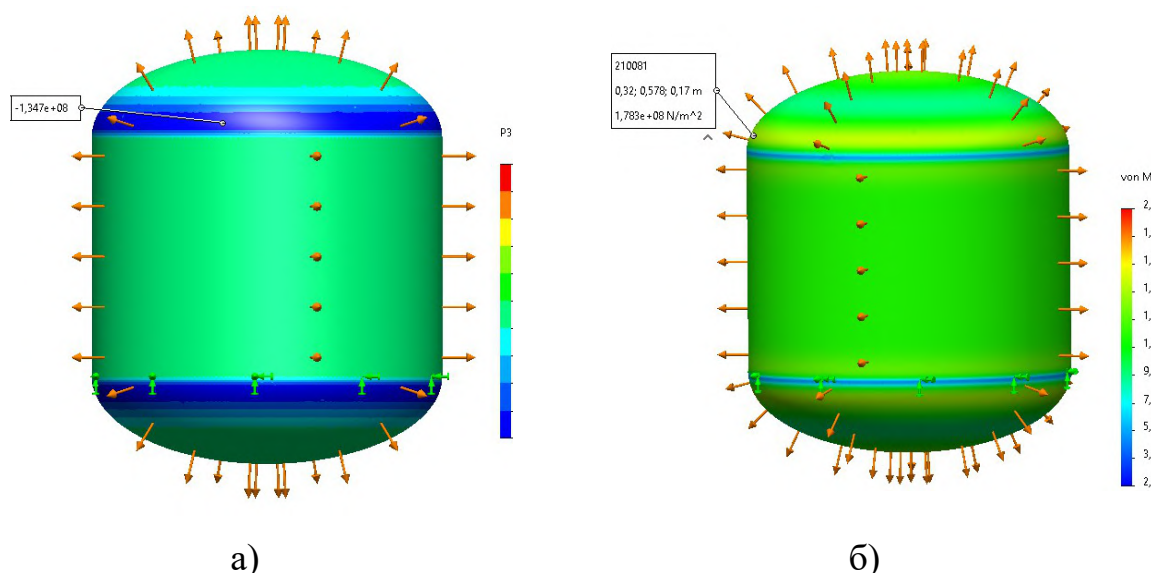
Виконаємо моделювання бака обприскувача як посудини, що працює під дією надлишкового внутрішнього тиску $p_0 = 0,6$ МПа, обпертий на нижнє днище. Тобто у моделі відтворюємо основні конструктивні параметри бака та його навантаження.



а – модель оболонки; б – результат симуляції еквівалентних напружень
Рисунок 5.10 – Твердотільна модель бака обприскувача

Розбіжність отриманих значень еквівалентних напружень у циліндричній частині оболонки теоретичним шляхом (116,9 МПа) та в автоматизованому режимі з використанням прикладної програми SolidWorks2019 (117,8 МПа) складає $\Delta\sigma = 0,77\%$, що підтверджує високу точність обидвох способів отримання результатів [13].

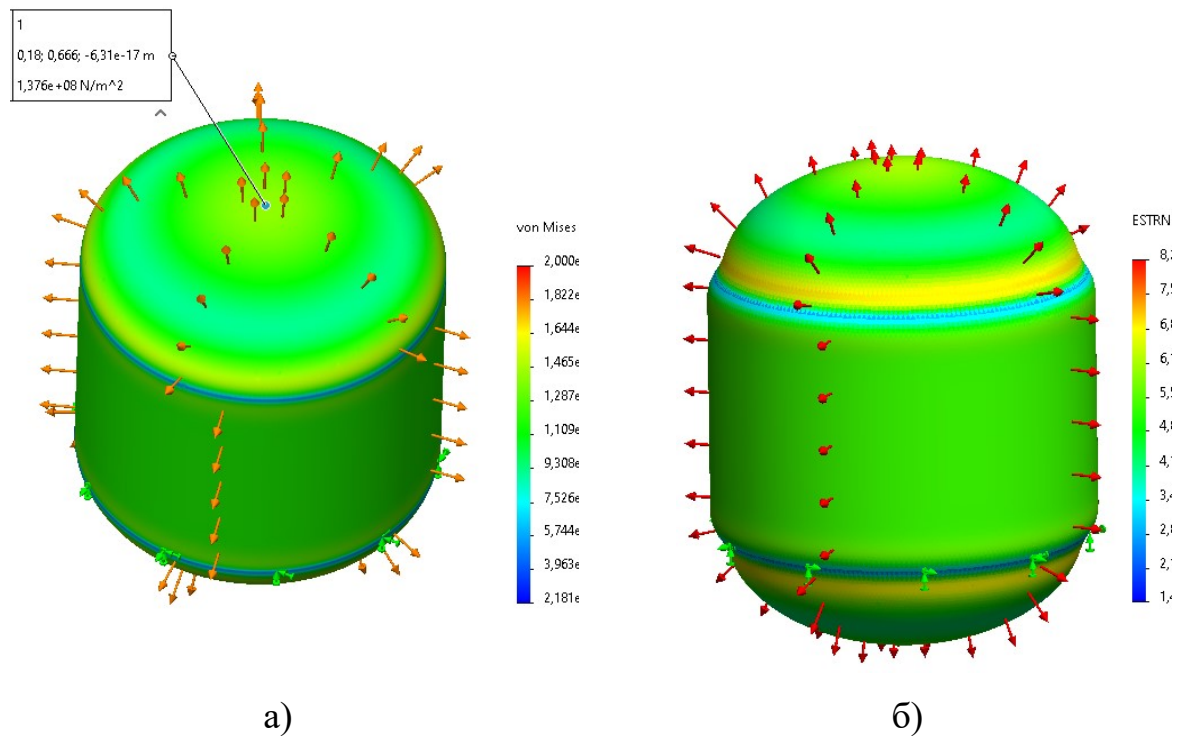
Порівняємо результати розрахунку для визначення колових та меридіональних напружень в характерних точках бака, що отримані аналітичним шляхом з аналогічними результатами, що знайдені при застосування спеціалізованого програмного забезпечення SolidWorks2019 (рис. 5.11).



а – розподіл колових напружень; б – еквівалентних
Рисунок 5.11 – Аналіз розподілу напружень в днищах оболонки

Тут найбільший інтерес представляють колові напруження (рис. 5.11, а), які виникають в місцях приєднання днищ до циліндричної частини бака, оскільки вони змінюють свій знак, стають стискуючими та можуть викликати втрату стійкості оболонки. Значення напружень в цьому перетині складають - 134,7 МПа, що на 0,22 % відрізняються від аналогічних напружень, що знайдені теоретично.

Також представимо результати знайдених еквівалентних напружень (рис. 5.12, а) в центрі днища – 137,6 МПа та еквівалентні деформації оболонки (рис. 5.12, б) у масштабі 1:50.



а – розподіл еквівалентних напружень в центрі днища;

б – еквівалентні деформації оболонки

Рисунок 5.12 – Еквівалентні напруження та деформації оболонки

Таким чином, бачимо, що результати дослідження напружено-деформованого стану бака обприскувача виконані з досить високою точністю, оскільки теоретичні розрахунки підтверджені як моделюванням із застосуванням прикладних програм, так і експериментальними дослідженнями.

Це свідчить про те, що наведений у роботі математичний апарат дозволяє з допустимою точністю моделювати роботу оболонкової конструкції, змінюючи її параметри, при пошуку оптимальних значень.

5.3 Дослідження ефективності використання маятникової підвіски штанги обприскувача

В другому розділі дисертаційного дослідження описано теоретичну модель коливного процесу для маятникової підвіски зі штучно збільшеною масою.

В ході обґрунтування основних залежностей отримано вирази що описують кутове переміщення (2.68), кутову швидкість (2.69), аналогічним чином – вертикальне переміщення (2.83) та лінійну швидкість (2.84).

Для оцінки ефективності роботи такої підвіски варто проаналізувати ще дію динамічних сил на секції штанги. Щоб це реалізувати, необхідно мати вирази для лінійних та кутових прискорень. Тому за відомими виразами швидкостей нескладно знайти прискорення як першу похідну за часом.

Опускаючи проміжні викладки, запишемо кінцевий вираз для кутового прискорення штанги

$$\ddot{\varphi} = \frac{(A \sin \omega t + B \cos \omega t) e^{-\frac{\beta}{I} t} \cdot \beta^2}{I^2} -$$

$$- C \gamma^2 \sin \gamma t - D \gamma^2 \cos \gamma t - e^{-\frac{\beta}{I} t} \omega^2 (A \sin \omega t + B \cos \omega t) -$$

$$- \frac{2\beta \cdot e^{-\frac{\beta}{I} t} \omega (A \cos \omega t - B \sin \omega t)}{I}. \quad (5.4)$$

Прискорення у вертикальній площині

$$\ddot{y} = \frac{\mu^2 (A_1 \sin \nu t + B_1 \cos \nu t) e^{-\frac{\mu}{m} t}}{m^2} -$$

$$- \gamma^2 (C_1 \sin \gamma t + D_1 \cos \gamma t) - e^{-\frac{\mu}{m} t} \nu^2 (A_1 \sin \nu t + B_1 \cos \nu t) +$$

$$+ \frac{2\mu \nu e^{-\frac{\mu}{m} t} (B_1 \sin \nu t - A_1 \cos \nu t)}{m}. \quad (5.5)$$

Аналізуючи наведені залежності, невідомим залишається момент інерції такої складної конструкції як штанга [22] з регулювальною рамкою, направляючою, рамкою бака, самим баком та рідиною в ньому. Крім того, момент інерції є змінним, оскільки положення штанги міняється по висоті, а також рівень робочої рідини у баку також зменшується. Оскільки, за рахунок маси бака, його кріпильних елементів та робочої рідини було збільшено масу штанги, то утворена маятникова підвіска (маятник) відносно осі закріплення значно підвищує свою ефективність по стабілізації штанги у горизонтальному положенні.

Визначити аналітичним шляхом момент інерції такої складеної конструкції досить складно і рутинно, а наукового сенсу ця операція не несе, тому цю задачу можна спростити при використанні 3D моделі штанги з описаними елементами та за її аналізом в програмі SolidWorks ці параметри знайти.

Тому з цією метою і було побудовано спрощену таку модель, рис. 5.13.

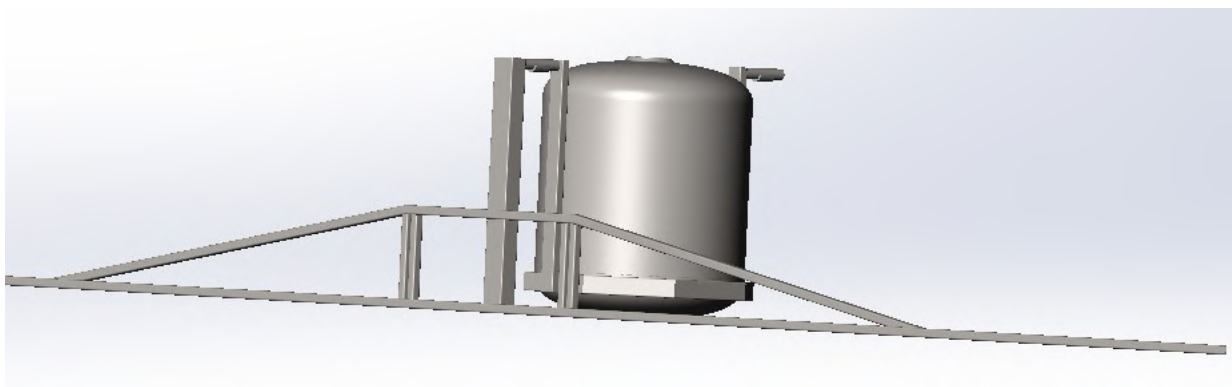


Рисунок 5.13 – Твердотільна модель підвіски штанги

При аналізі моделі знайдено моменти інерції її складових та приведено їх до осі підвісу за різними варіантами положення штанги та заповнення бака, табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Моменти інерції штанги з підвіскою

Варіант заповнення бака	Маса, кг	Висота встановлення штанги, м	Момент інерції, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$
Повний бак	103,851	0,65	25,5779
		0,80	24,5287
		0,95	23,9449
Половина бака	63,613	0,65	23,7096
		0,80	22,6603
		0,95	22,0765
Порожній бак	23,375	0,65	15,9182
		0,80	14,8689
		0,95	14,2851

Тепер проаналізуємо яким чином мають вплив на кінематичні параметри коливання штанги її положення по висоті та заповненість бака як доданої маси.

Розглянемо спочатку випадок, коли утворений маятник – штанга на підвісі та бак з рамкою як додана маса, оскільки вони приєднані до однієї осі та між собою жорстко з'єднані, здійснює кутові коливні рухи у поперечно-вертикальній площині та не зазнає додаткового тертя, тобто коефіцієнт $\beta = 0$. Амплітуда вимушуючої сили закладена таким чином, що провокує відхилення штанги в межах 5° . Покажемо на графічних залежностях як змінюються ці параметри при зміні висоти встановлення штанги.

Перша серія графіків виконана при повністю заповненому баку рідиною, загальна маса, маятника 103,9 кг, рис. 5.14.

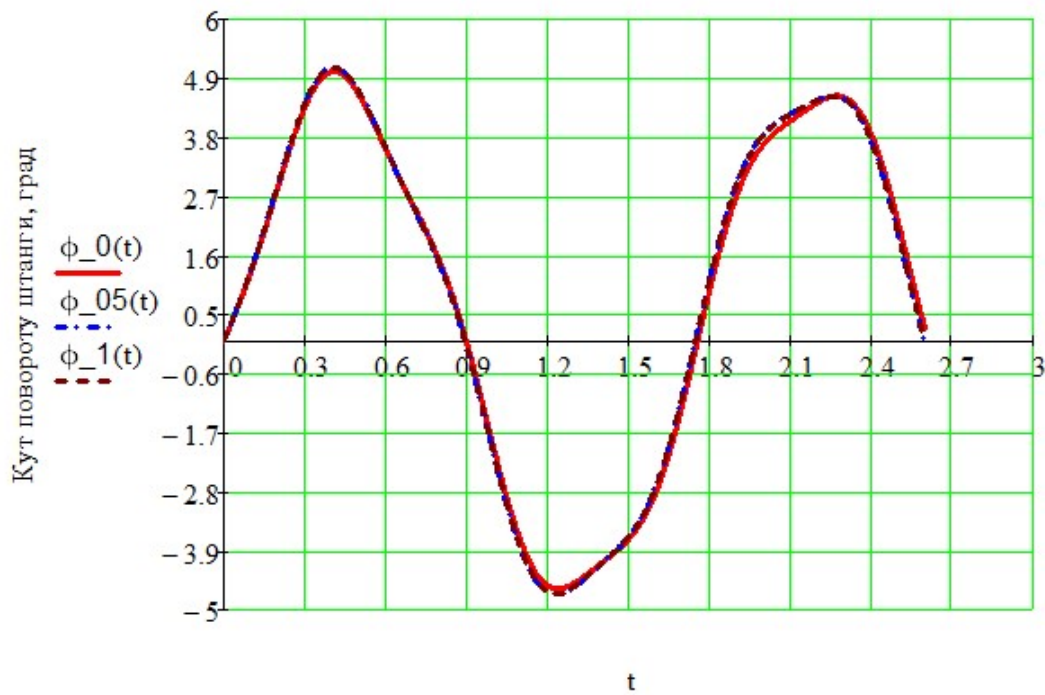


Рисунок 5.14 – Кутові коливання штанги при зміні її висоти та повністю заповненому баку

Тут прийняті позначення: $\phi_0(t)$ – максимальна висота встановлення штанги (над поверхнею поля), $h_{um} = 0,95$ м; $\phi_{05}(t)$ – середня висота встановлення штанги, $h_{um} = 0,80$ м; $\phi_1(t)$ – мінімальна висота встановлення штанги, $h_{um} = 0,65$ м;

Якщо проаналізувати амплітуду такого коливання при першому відхиленні, враховуючи висоту встановлення штанги (рис. 5.15), то видно, що із-зі її порівняно невеликої маси розбіжності амплітуд відхилення не суттєві, вони в межах 1,6%.

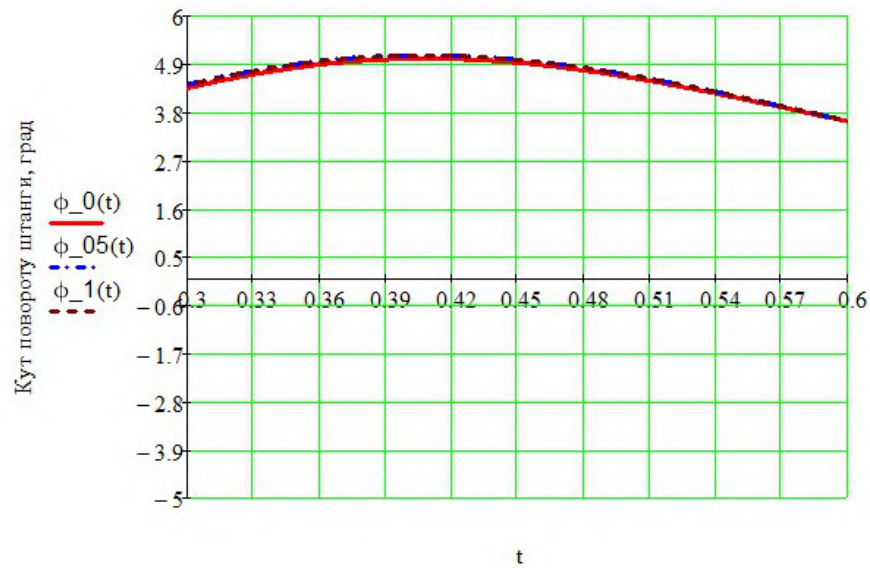


Рисунок 5.15 – До аналізу впливу положення штанги на амплітуду її кутового відхилення

Цей чинник вказує на те, що якраз додана маса до маси штанги є вирішальною у коливному процесі.

Продемонструємо ці ефекти для кутової швидкості (рис. 5.16) та кутового прискорення (рис. 5.17).

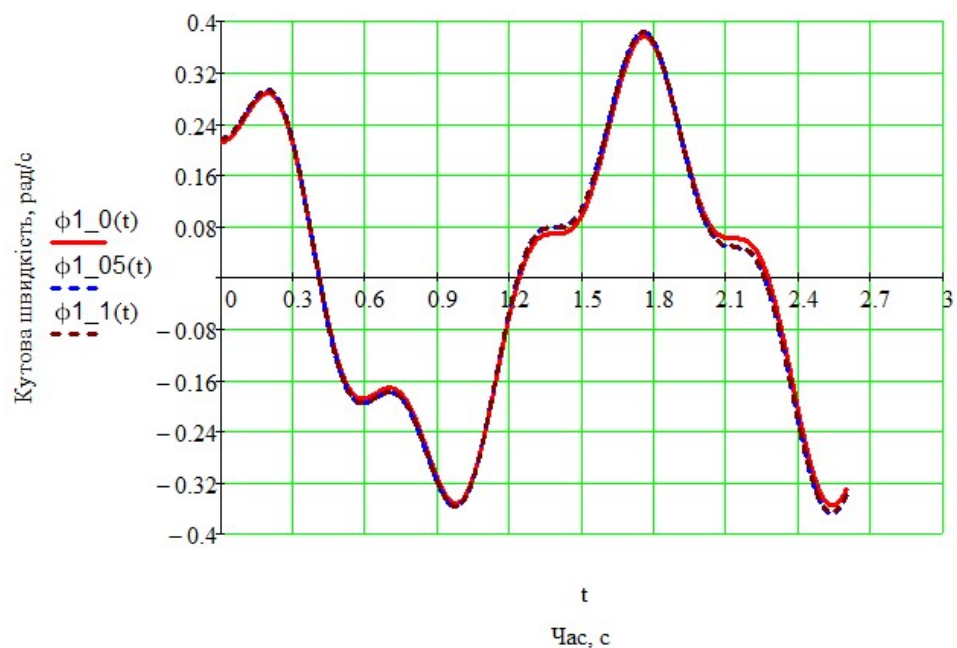


Рисунок 5.16 – Графіки зміни кутової швидкості

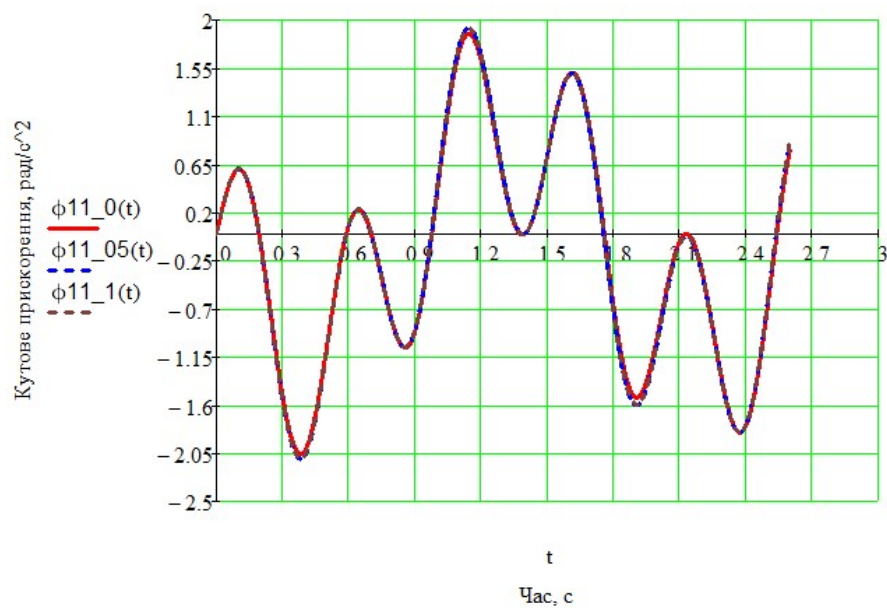


Рисунок 5.17 – Графіки зміни кутового прискорення

Коливання штанги обприскувача за таких же умов – відсутності будь-якого гасника, вимушуюча сила збуджує коливання амплітудою висоти перешкоди.

Для вертикального переміщення, рис. 5.18.

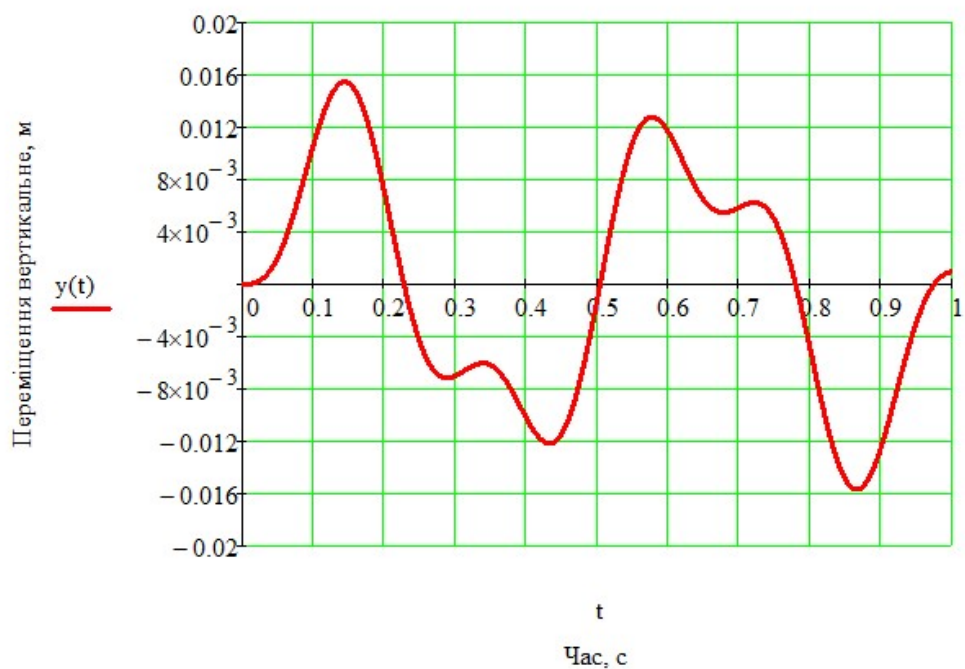


Рисунок 5.18 – Вертикальні коливання штанги

Тут варто зауважити, що положення штанги по висоті на вертикальні коливання не має впливу.

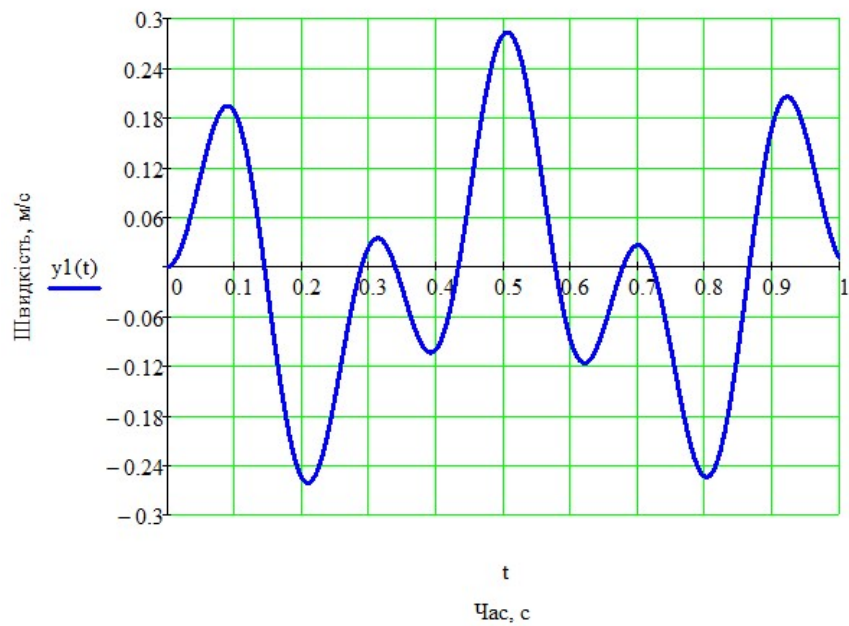


Рисунок 5.19 – Швидкість переміщення штанги у вертикальній площині

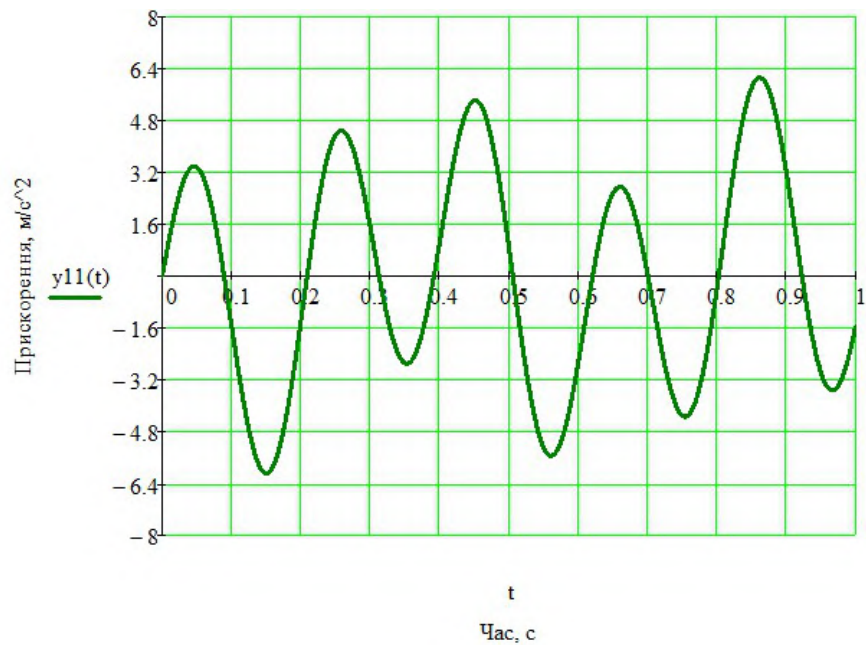
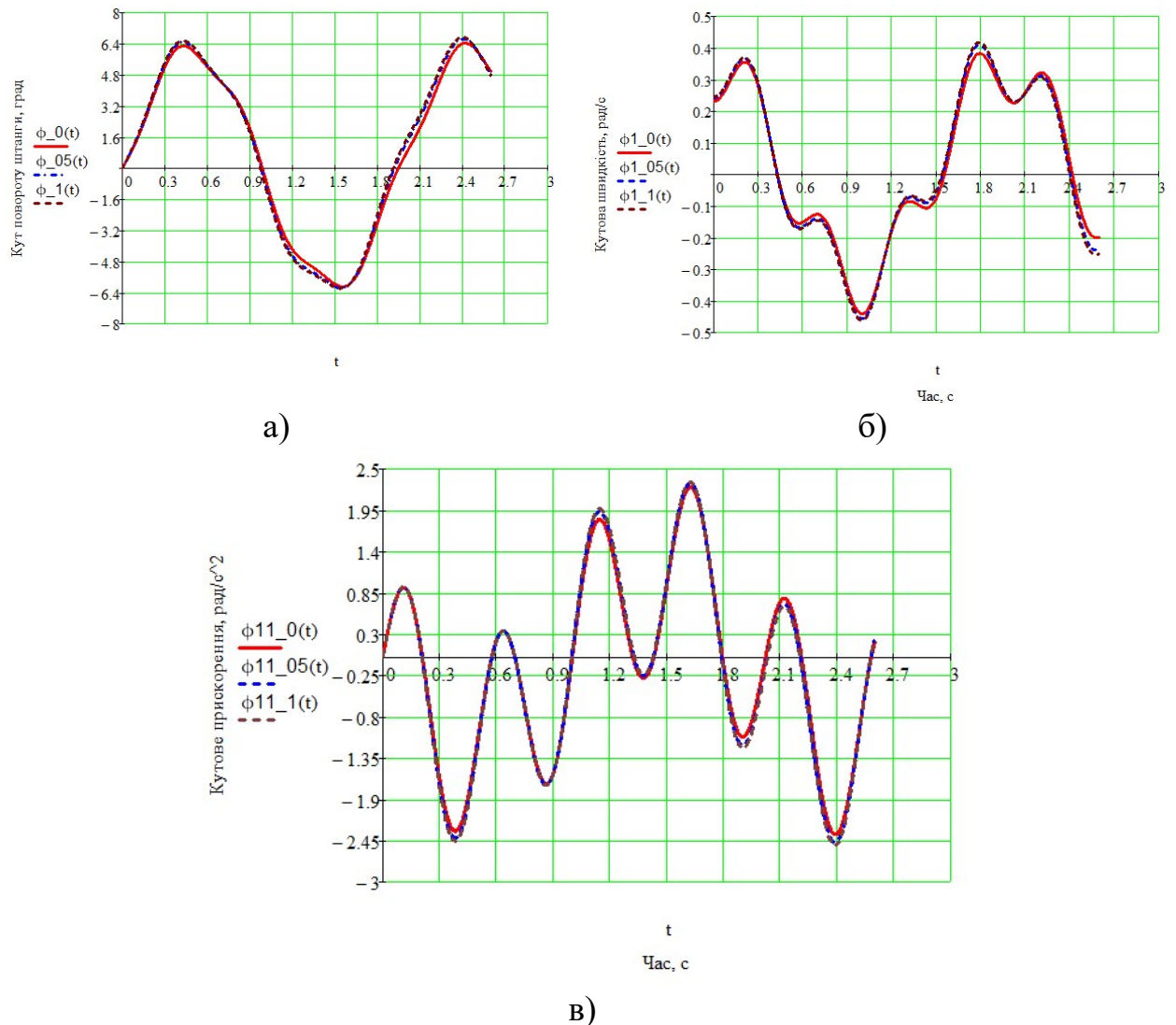


Рисунок 5.20 – Прискорення штанги у вертикальній площині

Проведені дослідження виконані при поступальній швидкості обприскувача 1,25 м/с.

Тепер виконаємо аналогічний аналіз кінематичних параметрів штанги при половинному заповненні бака робочою рідиною, маса маятника тут складає 63,6 кг.

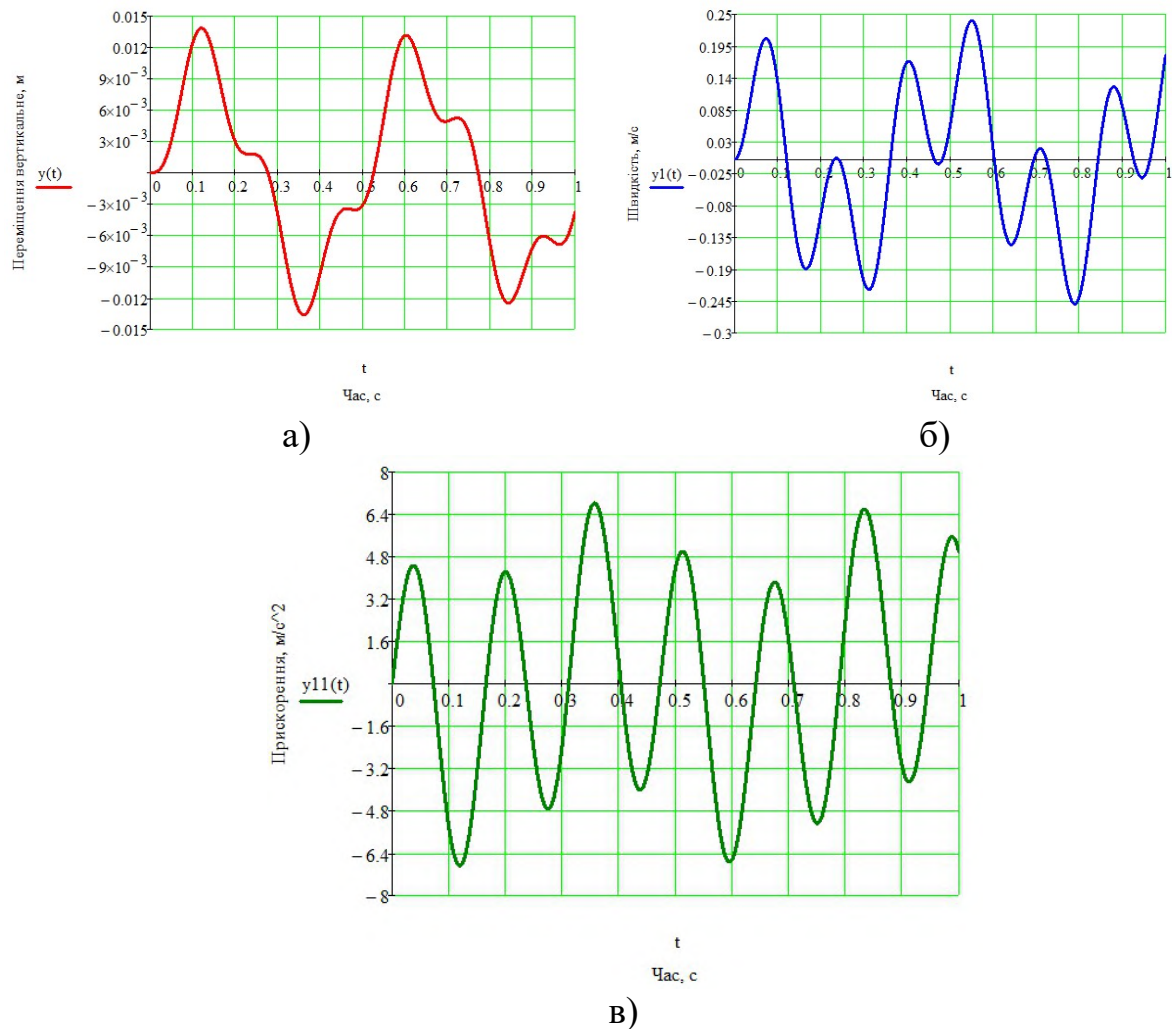
Кінематичні параметри кутових коливань представлені на рис. 5.21.



а – кутові переміщення; б – кутова швидкість; в – кутове прискорення
Рисунок 5.21 – Кінематичні параметри кутових коливань

На рис. 5.21, а показано зміну кутового переміщення штанги від її положення по висоті (позначення аналогічні до попередніх). Тут видно, що вплив положення штанги починає посилюватися, амплітуда має розкид в межах 4%. Крім того, на $1,4^0$ зростає амплітуда відхилення штанги від положення рівноваги. Аналогічним чином змінюються кутові швидкості та прискорення, рис. 5.21, б, в.

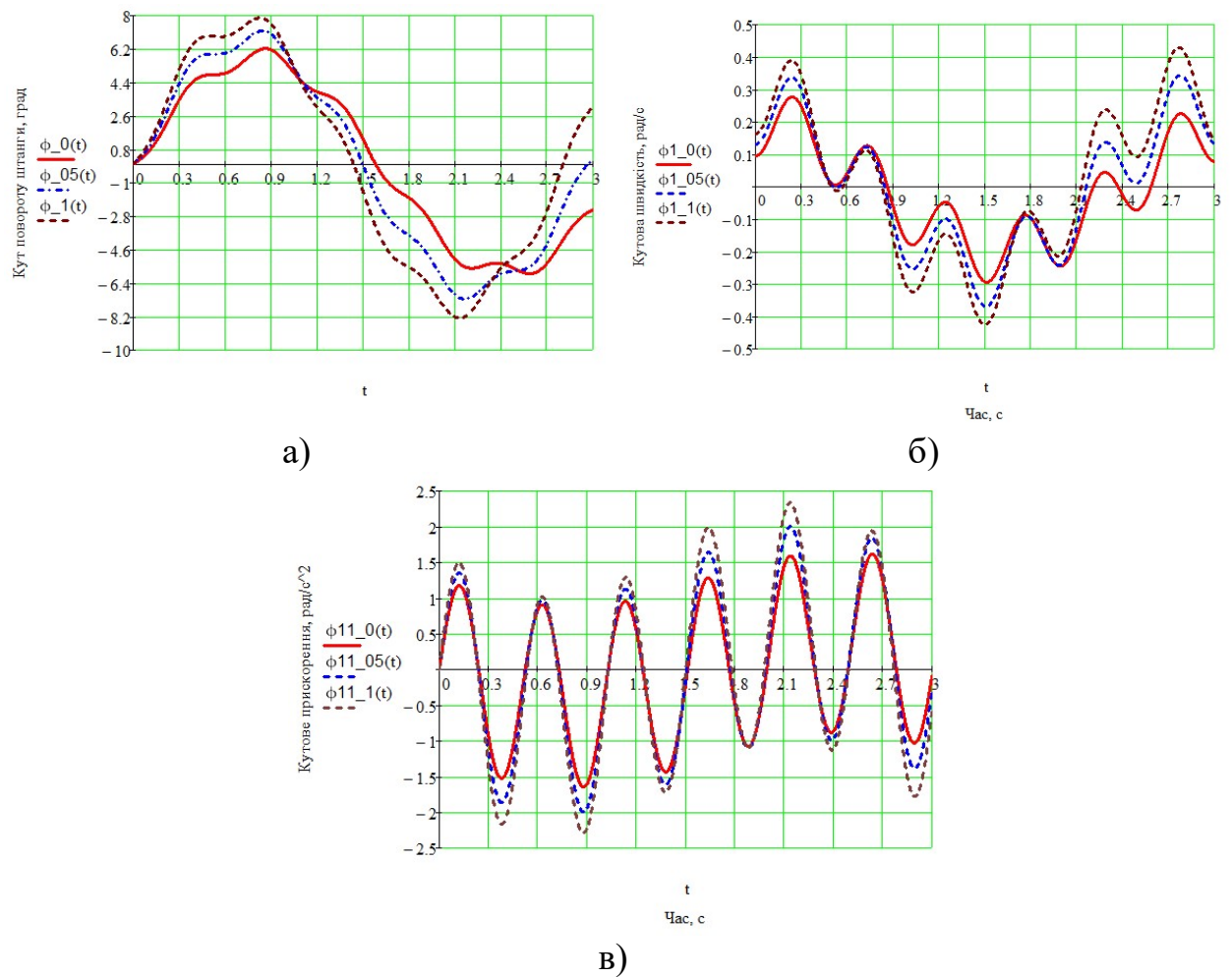
Параметри коливань у вертикальній площині, рис. 5.22.



а – переміщення; б – швидкість; в – прискорення
Рисунок 5.22 – Кінематичні параметри вертикальних коливань

Якщо аналізувати вертикальні переміщення, то вони дещо зменшуються на відміну від кутових, що зростають.

І при цих же умовах розглянемо ще один характерний випадок, коли бак порожній, рис. 5.23 . Тут доданою масою будуть тільки вага бака та його рамки, загальна конструкція маятника буде мати масу 23,4 кг.



а – кутові переміщення; б – кутова швидкість; в – кутове прискорення
Рисунок 5.23 – Параметри кутових коливань штанги

В цьому випадку (порожній бак або мінімальний рівень робочої рідини) вплив положення штанги суттєвий, розкид амплітуд при цьому складає в межах 44%.

Проаналізуємо вертикальні коливання, рис. 5.24.

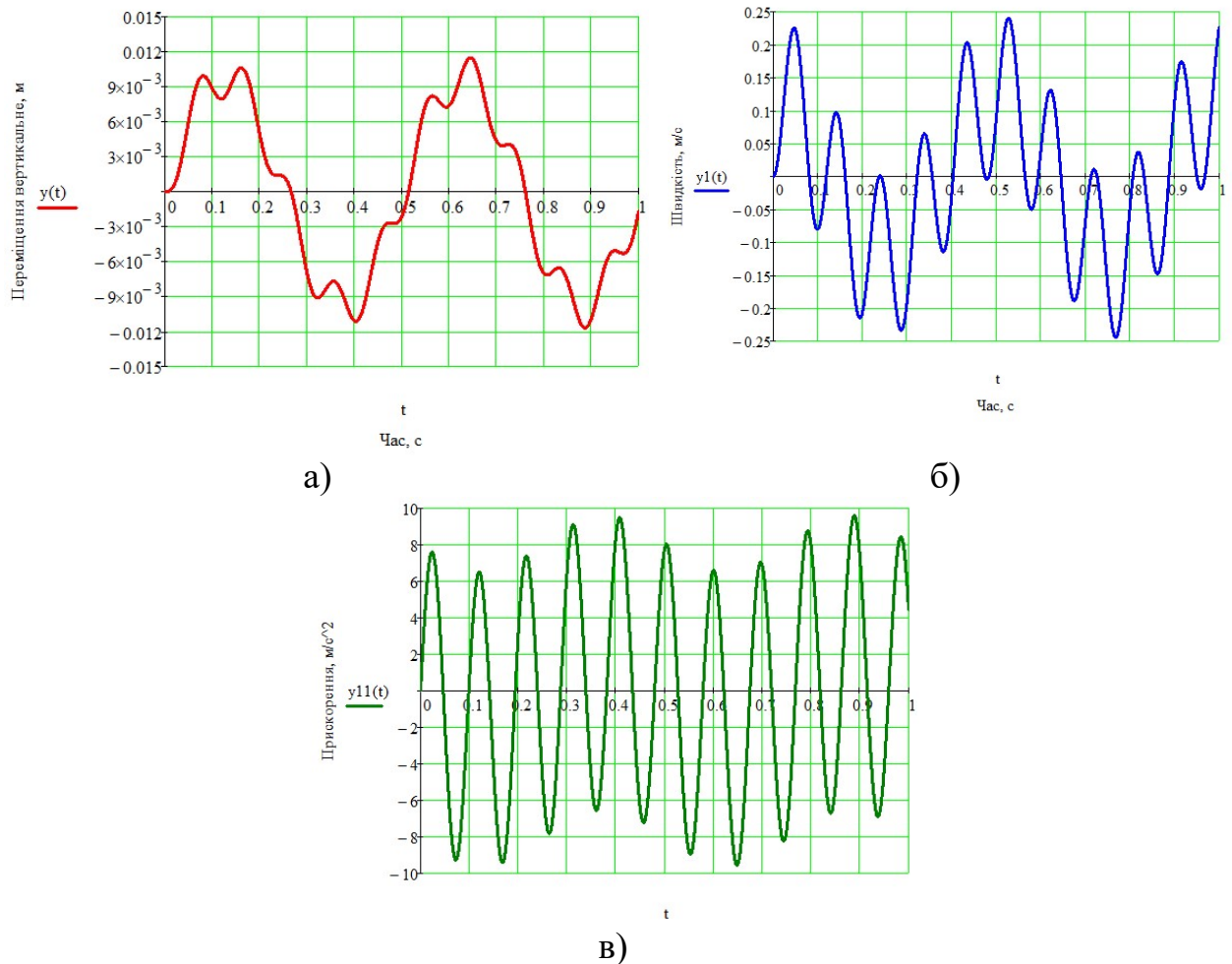


Рисунок 5.24 – Кінематичні параметр вертикальних коливань штанги при порожньому баку

За аналізом графіків видно, що досить зростають прискорення штанги, що породжують динамічні сили.

А загалом, наведене дослідження «вільного» маятника (без врахування демпфування) свідчать про те, що ідея доданої маси або штучно збільшеної маси штанги при виконанні її підвіски у вигляді фізичного маятника має суттєвий ефект. Тобто із-за невеликої маси штанги, амплітуда її кутових коливань суттєво збільшується, має значний вплив на амплітуду коливань її положення по висоті, а також виникають підвищені динамічні сили із-за збільшення прискорень.

Ще одним ключовим елементом дослідження є виявлення можливості виникнення резонансних режимів.

За описаними залежностями у другому розділі дисертаційного дослідження приведемо числові значення вимушених та власних частот розглядуваної системи для розвинутого прикладу, табл. 5.2, 5.3.

Таблиця 5.2 – Зведені значення частот, що виникають при різних режимах роботи обприскувача для кутових коливань

Варіант заповнення бака	Маса, кг	Висота встановлення штанги, м	Частота власних коливань, Гц	Частота вимушених коливань, Гц
Повний бак	103,9	0,65	3,60	12,5
		0,80	3,603	
		0,95	3,579	
Половина бака	63,6	0,65	3,251	12,5
		0,80	3,237	
		0,95	3,198	
Порожній бак	23,4	0,65	2,226	12,5
		0,80	2,103	
		0,95	1,944	

Наведемо аналогічні значення частот для вертикальних коливань, табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Зведені значення частот, що виникають при різних режимах роботи обприскувача для вертикальних коливань

Варіант заповнення бака	Маса, кг	Частота власних коливань, Гц	Частота вимушених коливань, Гц
Повний бак	103,9	31,031	12,5
Половина бака	63,6	39,649	12,5
Порожній бак	23,4	65,407	12,5

Якщо порівнювати отримані значення частот, то видно, що за такого режиму експлуатації обприскувача резонанс малоімовірний, оскільки їх значення відрізняються як мінімум на порядок.

Наприклад, для кутових коливань середня частота власних коливань складає 2,97 Гц вимушених – 12,5 Гц, що їх відрізняє у 4 рази. Але потрібно враховувати також той чинник, якщо вимушуюча частота понизиться та наблизиться до власної, то можливий резонансний або близько резонансний режим роботи. Такий режим можливий, якщо обприскувач буде рухатись впоперек гребенів при обробці картопляного поля, що є виключеним, оскільки це виходить за межі нормального виконання технологічного процесу роботи обприскувача.

При аналізі можливості виникнення резонансу у вертикальній площині, то тут середня частота власних коливань складає 45,36 Гц, а частота вимушених коливань – 12,5 Гц. Частоти у 3,6 разів відрізняються між собою, що свідчить про неможливість виникнення резонансу.

Пророблений аналіз засвідчив нам поведінку системи в різних режимах її роботи при певному швидкісному режимі роботи обприскувача та наявності перешкод, які долають його колеса.

Зрозумілим є те, що при найменшій підозрі на виникнення резонансних режимів, а також для підвищення ефективності згладжування збурених коливань слід застосувати демпфуючі механізми.

Такі механізми можуть бути спеціальними вузлами або їх роль можуть виконувати третьові опорні поверхні елементів підвіски.

В теоретичній моделі закладені такі складові та показано їх вплив на загальний коливний процес штанги.

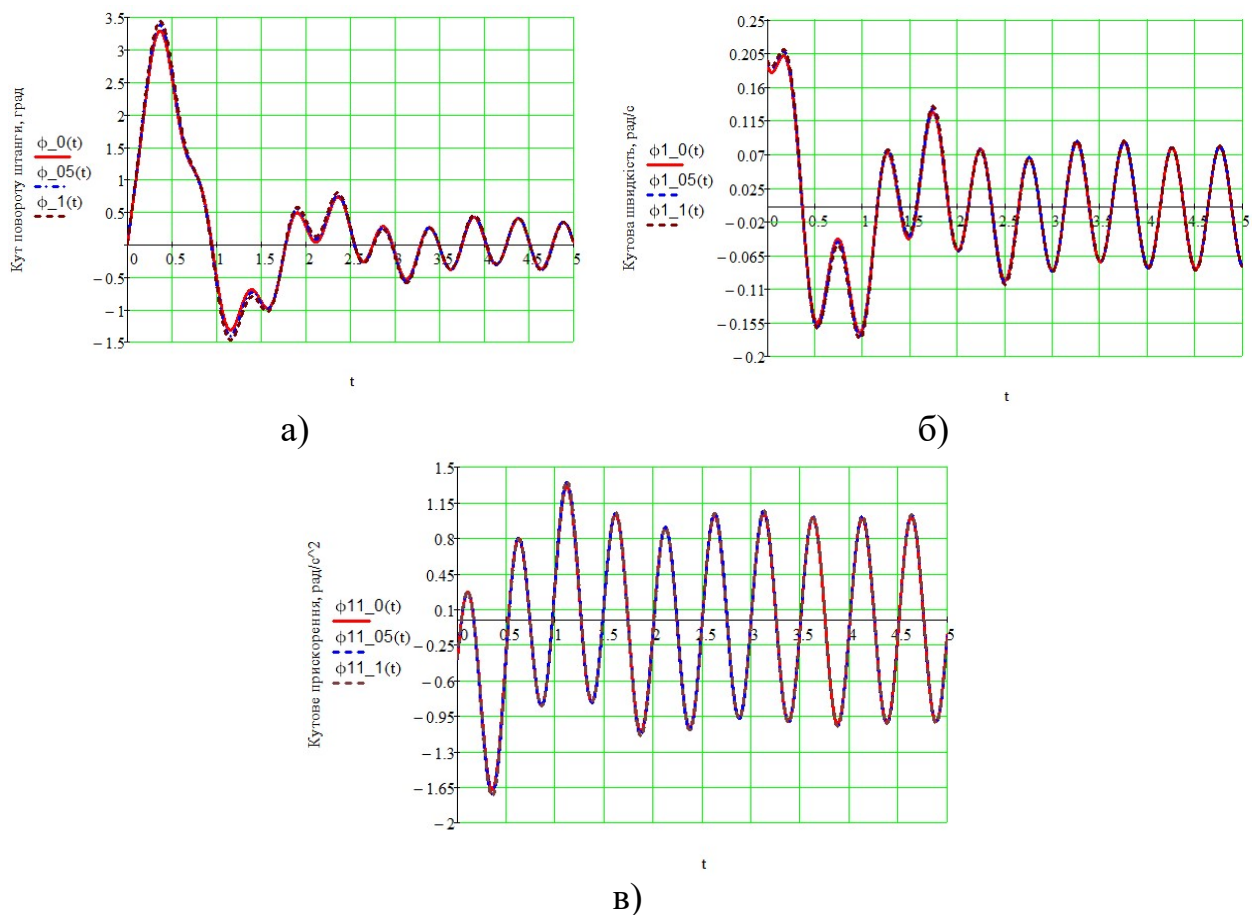
З експериментальних досліджень встановимо приблизні параметри таких демпфувальних механізмів і перевіримо їх вплив на здатність гасити коливання штанги та унеможливити виникнення резонансного режиму.

Крім того, варто зазначити, що використання демпферів для шасі обприскувача можливе, але в даному випадку воно веде до значного ускладнення конструкції. В передньому аналізі було розглянуто ідеально пружну роботу шини колеса, що збуджувало коливання у вертикальній площині, але на практиці сам ґрунту виконує роль демпфера за рахунок

внутрішнього тертя між частинками у ґрунті. Тому, аналізуючи максимальний рівень прискорень, що виникають на штанзі, а також результати експериментальних досліджень роботи обприскувача без використання у вертикальній площині демпфуючих елементів, приходимо до висновку про недоцільність їх використання для шасі обприскувача.

Тому розглянемо тільки роль демпфера для гасіння кутових коливних переміщень штанги. Властивості демпферних механізмів добре розвинуті у роботах [26, 47, 48].

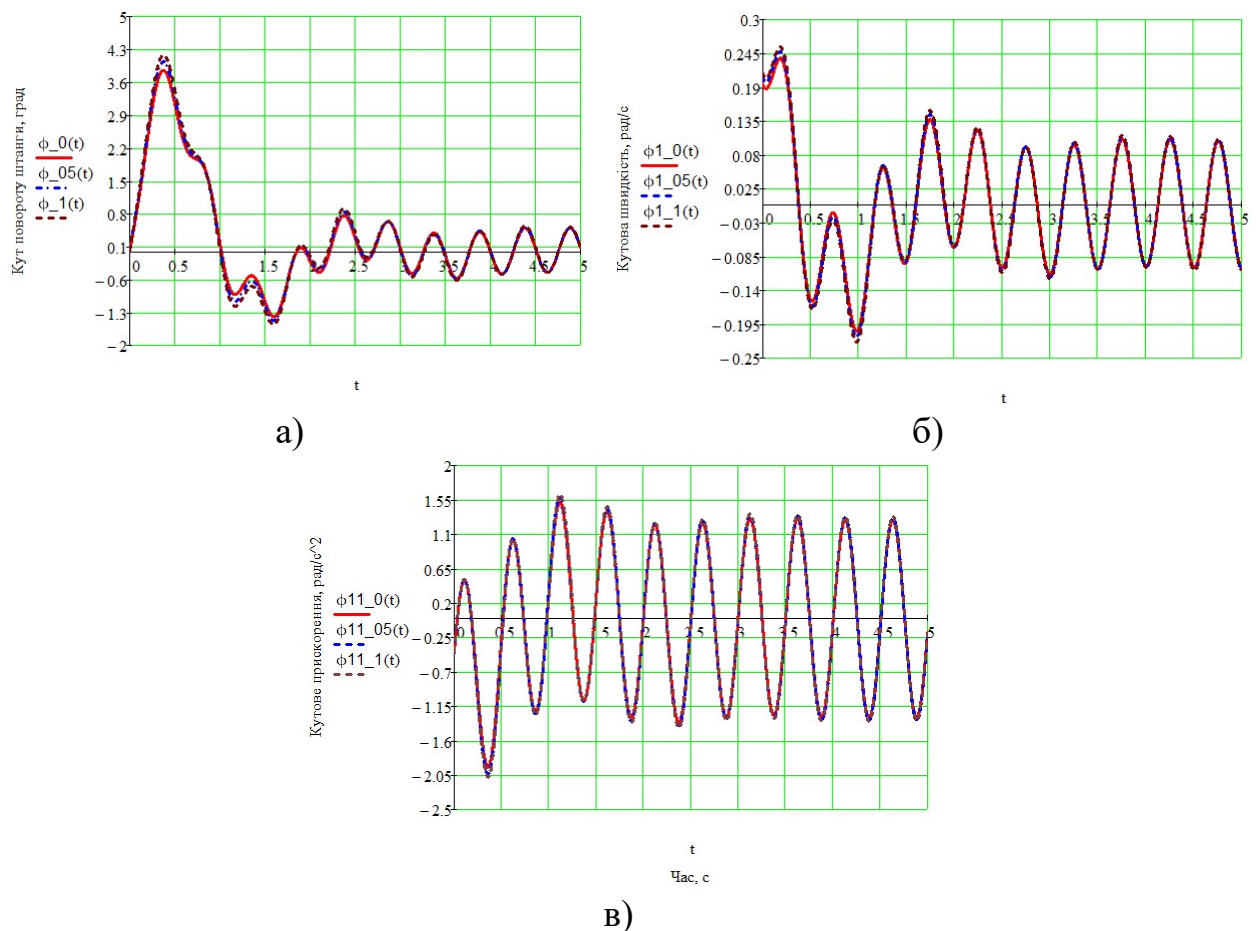
Значення амплітуди збурюючої сили залишимо таким самим як для «вільного маятника» (попередній випадок), коефіцієнт як аналога в'язкого опору приймемо таким, що відповідає легкому затягуванню і фіксації гайки осі маятника ($\beta = 25 \frac{Hc}{M}$), отримаємо наступні ефекти гасіння кутових коливань штанги, рис. 5.25.



а – кутові переміщення; б – кутова швидкість; в – кутове прискорення
Рисунок 5.25 – Кутові коливання штанги (бак повний) при використанні демпфуючого елемента

Як і в попередньому аналізі, встановлено, що висота розміщення штанги не суттєво впливає на зміну амплітуди її кутового коливання при повному баку як доданої маси. Але застосування хай невеликого демпфування не дає цим коливанням розвинутих, і наступне максимальне відхилення штанги від положення рівноваги не перевищує $1,5^0$, а надалі $0,5^0$ тобто проходить суттєва стабілізація, чим покращується виконання технологічного процесу обприскування.

Аналогічно проробимо дане питання для напівзаповненого бака робочою рідиною, рис. 5.26.



а – кутові переміщення; б – кутова швидкість; в – кутове прискорення
Рисунок 5.26 – Кутові коливання штанги (бак напівзаповнений) при використанні демпфуючого елементу

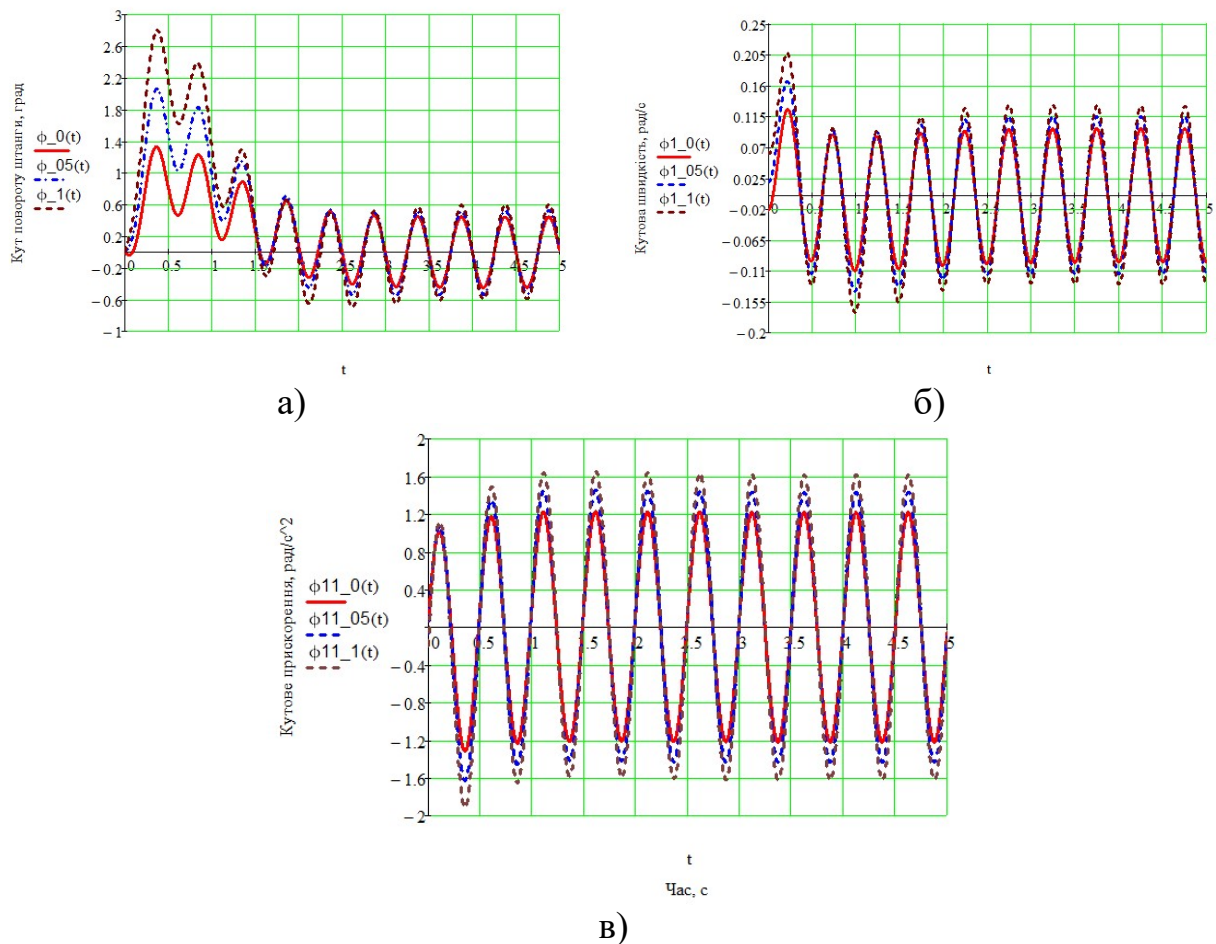
Вплив висоти встановлення штанги на амплітуду кутових коливань зростає зі зменшенням заповненості бака. Наприклад, при напівзаповненому баку положення штанги вже спричиняє розкид амплітуд в межах $4,5\%$, але максимальна амплітуда зменшилася на $0,9^0$, ефект стабілізації зростає –

наступна амплітуда зменшилася до максимального відхилення $1,3^0$, надалі коливання стабілізуються і є в межах до $0,6^0$.

Перевіримо ефективність демпфера при порожньому баку обприскувача.

Вжитий термін «порожній бак» слід розуміти як бак заповнений мінімальною кількістю рідини, бо зрозуміло, що при порожньому баку ніхто технологічного процесу не виконує, хоча можливий процес транспортування обприскувача з розкладеною штангою до місця наповнення бака (це як частковий випадок).

Отже, кінематичні параметри кутових коливань штанги матимуть вигляд, рис. 5.27.



а – кутові переміщення; б – кутова швидкість; в – кутове прискорення
Рисунок 5.27 – Кутові коливання штанги (бак «порожній») при використанні демпфуючого елементу

В цьому випадку чітко видно, що мінімальна маса штанги досить чутлива до висоти її встановлення над оброблюваним об'єктом.

Наприклад, при максимальній висоті її встановлення амплітуда складає $1,33^0$; при середньому положенні – $2,06^0$; при нижньому – $2,79^0$. Загалом, максимальний розкид амплітуд при цьому складає 110%. При стабілізуванні штанги її амплітуда є в межах $0,6^0$.

Таким чином, наведені результати дослідження ще раз підтверджують ідею ефективності використання бака з робочою рідиною в системі маятникової підвіски штанги як штучно доданої маси. Її реалізація є технічно простою та технологічно ефективною. Крім того, використання демпфера підсилює ефект стабілізації штанги.

І для остаточного висновку про ефективність такої системи навіски штанги варто розглянути порівняння частот, що виникають у системі з метою уникнення резонансних режимів роботи обприскувача.

У таблиці 5.4 приведемо дані для порівняння власних та вимушених частот кутових коливань штанги.

Таблиця 5.4 – Зведені значення частот, що виникають при різних режимах роботи обприскувача для кутових коливань

Варіант заповнення бака	Маса, кг	Висота встановлення штанги, м	Частота власних коливань, Гц	Частота вимушених коливань, Гц
Повний бак	103,9	0,65	3,465	12,5
		0,80	3,456	
		0,95	3,423	
Половина бака	63,6	0,65	3,075	12,5
		0,80	3,043	
		0,95	2,99	
Порожній бак	23,4	0,65	1,578	12,5
		0,80	1,263	
		0,95	0,846	

Аналізуючи співвідношення між власними частотами коливань та частотою вимушених коливань та при застосуванні елементарного демпфера, частота власних коливань в режимі «порожній бак» в 10,16 разів є меншою від частоти вимушених коливань, у режимі «напівзаповнений бак» – у 4,16 разів меншою та у режимі «повний бак» – 3,67 рази меншою. Звідси робимо висновок про неможливість виникнення резонансних режимів роботи підвіски штанги обприскувача при нормальних умовах його експлуатації.

5.4 Економічна ефективність від використання малогабаритного самохідного штангового обприскувача

Визначення показників економічної ефективності нової машини базується на методиках, які стандартизовані [97]. Такий розрахунок носить інформаційний характер, оскільки для порівняння вибираються тільки локальні ефекти, які не завжди у повній мірі можуть відображати дійсні ефекти від використання нової машин. Це особливо є значущим, коли мова йде про, наприклад, підвищення врожаю конкретної культури із-за якісного обприскування у порівнянні з прототипом.

В нашому випадку виконано порівняння розробленого обприскувача, який є самохідним, має можливість зміни ширини колії, висоти встановлення штанги, зміни кроку розпилювачів, має маятникову підвіску з доданою масою і т.д., з причіпним обприскувачем, що агрегатується з мініенергозасобом.

Оскільки методика є стандартизованою не унікальною, то розрахунок на її основі було винесено у додатку Д, тут наведемо лише результати.

Отже, результатом розрахунку економічної ефективності розробленого малогабаритного обприскувача буде отриманий річний економічний ефект, який складатиме 15111,4 грн/рік на одну машину. Розрахунковий термін окупності такої машини 2,84 роки.

5.5 Висновки до 5 розділу

При розгляді способів закріплення бака обприскувача на рамі машин встановлено питому частку дії гідростатичного тиску робочої рідини на стінки резервуара та прийнято, що конструктивно виправданим буде закріплення бака при вільному його обпиранні на нижнє днище.

Проведено розрахунки для оцінки напруженого стану бака при повному його навантаженні та встановлено питомі частки напружень від гідростатичного тиску робочої рідини як на циліндричні стінки, так і на днища.

Встановлено граничне значення допустимого внутрішнього тиску при експлуатації обприскувача.

Результатами імітаційного моделювання підтверджують точність виконаних теоретичних розрахунків – розбіжність результатів не перевищує 1%.

За аналізом частотних режимів роботи обприскувача встановлено частоти власних та вимушених коливань штанги за різними варіантами висоти її встановлення та наповненості бака робочою рідиною, зроблено висновок про неможливість виникнення резонансного режиму.

За результатом розрахунку економічної ефективності річний економічний ефект складатиме 15111,4 грн/рік на одну машину. Розрахунковий термін окупності такої машини 2,84 роки.

Основні наукові результати розділу опубліковані у працях [13, 15, 66, 106].

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено нову наукову задачу, що полягає у підвищенні ефективності хімічного захисту рослин шляхом удосконалення конструкції малогабаритного обприскувача з обґрунтуванням конструктивно-технологічних параметрів пневмогідравлічної системи живлення розпилюючих пристроїв та стабілізації штанги.

1. На основі розробленої теоретичної моделі, яка базується на засадах безмоментної теорії оболонок та описує напружено-деформований стан циліндричного вертикально розміщеного бака обприскувача з півеліптичними днищами, проведено оцінку напруженого стану при робочому внутрішньому тиску та визначено його максимально допустиме значення при експлуатуванні бака в системі живлення розпилюючих пристроїв.

2. За результатами розрахунку для прийнятої конструкції бака встановлено наступні значення напружень в циліндричній стінці при максимальному робочому тиску 0,6 МПа: меридіональне напруження – $\sigma_m = 67,5$ МПа; колове напруження – $\sigma_t = 135$ МПа; еквівалентне напруження – $\sigma_{IV} = 116,9$ МПа; максимальний допустимий внутрішній $[p] = 1,07$ МПа при допустимому напруженні $[\sigma] = 206,7$ МПа з врахуванням коефіцієнта запасу міцності $n = 1,5$.

3. За розробленою теоретичною моделлю оцінки напруженого стану днищ бака встановлено: максимальні еквівалентні напруження в днищах спостерігаються в околі їх приєднання до циліндричної частини резервуара ($\theta = \pm \pi / 2$) – 178,6 МПа. Це викликано ефектом стиснення циліндричної частини від дії внутрішнього тиску на днище. Колові стискуючі напруження в цьому перетині складають – 135 МПа, меридіональні – 67,5 МПа. В центральній частині днища всі напруження мають значення – 135 МПа.

Максимальний допустимий внутрішній тиск на днища не повинен перевищувати 0,7 МПа. Це значення стає граничним робочим тиском системи; при тиску 0,8 МПа буде спрацювати запобіжний клапан.

4. На основі розроблених моделей проведено оцінку напруженого стану бака при повному його навантаженні з врахуванням вільного обпирання на

нижнє днище: максимальні еквівалентні напруження на циліндричні стінки складають $\sigma_{IVq} = 118,68$ МПа; у днищах максимальні значення меридіональних напружень: в центрі – $\sigma_{m\partial} = 137$ МПа; в місцях переходу з циліндричної частини до днищ – $\sigma_{m\partial} = 67,75$ МПа; на краях днища виникають колові стискуючі напруження (краєвий ефект при використанні півеліптичних днищ) – $\sigma_{t\partial} = -134,79$ МПа; у центрі – $\sigma_{t\partial} = 137$ МПа; еквівалентні напруження складають: у центрі днища $\sigma_{еквIV} = 137,04$ МПа; в місці приєднання до циліндричної частини – $\sigma_{еквIV} = 178,6$ МПа.

Питома частка напружень від дії гідростатичного тиску рідини у порівнянні з повним навантаженням не перевищує 1,51%.

5. За результатами імітаційного моделювання встановлено, що розбіжність еквівалентних напружень у циліндричній частині оболонки складає $\Delta\sigma = 0,77\%$, в місцях приєднання днищ до циліндричної частини бака – 0,22 %. Ці ж результати підтверджені і експериментально: відносна похибка для колових напружень у циліндричній частині бака складає $\Delta\sigma_1 = 5,39\%$, меридіональних (поздовжніх) – $\Delta\sigma_2 = 3,5\%$.

При переважному використанні в технологічному процесі обприскування робочого тиску близькому до допустимого рекомендовано підсилити конструкцію бака розпірними кільцями в місцях приєднання днищ, або ж забезпечити такий спосіб обпирання бака, де унеможливилося радіальне переміщення його стінок, що підвищить стійкість такої оболонки в цілому.

6. За теоретичною моделлю маятникової підвіски штанги з підвищеною масою встановлено кінематичні параметри та частоти власних і вимушених коливань для заданого режиму роботи обприскувача. При вільному підвісі кутові коливання мають середню власну частоту 2,97 Гц, вимушену – 12,5 Гц (різниця в 4 рази); вертикальні – 45,36 Гц і 12,5 Гц відповідно (різниця в 3,6 рази), що виключає резонанс.

З використанням демпфера і повним баком кутові коливання швидко затухають: перше відхилення – $1,5^0$, подальші – до $0,5^0$, що стабілізує процес обприскування. При напівзаповненому баку висота встановлення штанги впливає на амплітуду збурення коливань, їх розкид складає 4,5%; стабілізація: перше відхилення – $1,3^0$, подальші – до $0,6^0$. При порожньому

(майже порожньому) баку розкид амплітуд від висоти встановлення штаги становлять 110%, але самі амплітуди зменшуються: верхнє положення – $1,33^0$, середнє – $2,06^0$, нижнє – $2,79^0$; після стабілізації – до $0,60$.

Частота власних коливань у режимах «порожній», «напівзаповнений» і «повний» бак у 10,16; 4,16 та 3,67 рази менша за вимушену відповідно, що підтверджує відсутність резонансу в умовах нормальної експлуатації обприскувача.

7. При дослідженні прискорень на краю штанги, мінімальні їх значення виникають при повністю заповненому бакові та максимальній поступальній швидкості машини. Розбіжність результатів теоретичного розрахунку та експериментальних даних складає 8,8%.

При опрацюванні варіантів «жорсткої» підвіски та використання розробленої маятникової підвіски встановлено, що на вибраному режимі роботи обприскувача такі прискорення на краю секції штанги при використанні маятникової підвіски знижуються в 1,7 рази, що свідчить про доцільність її застосування в конструкції малогабаритного обприскувача.

Отримані ефекти позитивно відображаються на стабільності положення штанги, а отже рівномірності обприскування, зниженні дії на неї динамічних сил та відповідно збереженні ресурсу її роботи.

8. Практичним результатом наукового дослідження є отримання інженерних методик, на основі яких встановлено раціональні параметри, що рекомендовані для створення високоефективного малогабаритного самохідного штангового обприскувача: ширина захвату штанги – 5 м; діапазон висоти її встановлення – 350-1100 мм; діапазон зміни ширини колії – 900-1500 мм; продуктивність за годину основного часу – 1,8-2,7 га/год.

Отримані результати дисертаційного дослідження впроваджено на ТОВ «Плотича Агро» та у навчальний процес в ТНТУ.

За результатом розрахунку економічної ефективності встановлено, що річний економічний ефект складатиме 15111,4 грн/рік на одну машину. Розрахунковий термін окупності – 2,84 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Agrofast. Обприскувач для мінітрактора 80 л : веб-сайт. URL : <https://agrofast.com.ua/p/1542892189-opryskivatel-dlya-minitraktora-80-l/> (дата звернення: 21.01.2024).
2. Andreikiv O. E., Lysyk A.R., Shtayura N. S, and Babii A.V. Evaluation of the Residual Service Life of Thin-Walled Structural Elements with Short Corrosion-Fatigue Cracks. *Materials Science*. Vol. 53, No. 4, January, 2018. P. 514–521.
3. Andreikiv O.E., Babii A.V., Dolinska I. Ya. and Matviiv Yu. Ya. Determination of the Residual Life of the Spraying Boom of a Field Sprinkler in the Maneuvering Loading Mode. *Materials Science*. Vol. 56, No. 1, July, 2020. P. 112–118.
4. Andreikiv O.E., Babii A.V., Dolinska I.Ya., and Matviiv Yu.Ya. Determination of the Residual Life of the Spraying Boom of a Field Sprinkler in the Maneuvering Loading Mode. *Materials Science*. Vol. 56. No. 1, July, 2020. P. 112–118.
5. Andreikiv O.E., Lysyk A.R., Shtayura N.S., and Babii A.V. Evaluation of the Residual Service Life of Thin-Walled Structural Elements with Short Corrosion-Fatigue Cracks. *Materials Science*. Vol. 53. No. 4. January, 2018. P. 514–521.
6. Andreikiv O.E., Babii A.V. & Dolinska, I.Ya. Influence of the Working Media and Maneuvering Loading Mode on the Service Life of Spraying Booms of Field Sprinklers. *Materials Science*. Vol. 56. December, 2020. P.166–173.
7. Andreykiv O., Babii A., Dolinska I., Yadzhak N., Babii M. Residual lifetime prediction of field sprayer booms under the action of manoeuvre loading and corrosive environment. *Procedia Structural Integrity*. Volume 36, 2022, P. 36-42.

8. Andriy Derkach, Igor Stadnyk, Volodymyr Piddubnyi. Andrii Chahaida., Iurii Radchenko (2024). Achievements and problems in studying the mechanism of thermal potential transfer regulation between liquids/ *Machinery & Energetics*. Vol. 15, No. 1. 2024, pp. 104-117.
9. Babii A. Important aspects of the experimental research methodology. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, 2020. Vol 97. No 1. P. 77–87.
10. Babii A. Parameters investigation for independent pendular suspension of sprayer boom. *Scientific Journal of TNTU*. Tern. : TNTU, 2019. Vol. 96. No. 4. P. 90–100..
11. Babii A. Study of the efficiency of working mixture application in chemical crop protection. *Scientific Journal of TNTU*. Tern. : TNTU, 2020. Vol. 98. No. 2. P. 99–109.
12. Babii A., Babii M. Taking impact of oscillation amplitude of boom sprayers load-bearing frame sections. *Scientific Journal of TNTU*. Tern. : TNTU, 2019. Vol. 95. No 3. P. 97–104.
13. Babii A., Levytskyi B. (2024) Research of stress-strain state of tank of small-size self-propelled sprayer. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 115, no 3, pp. 91–99. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.03.091.
14. Babii A., Levytskyi B., Dovbush T., Babii M., Khomuk N., Dovbush A., Valiashek V. Mathematical model of sprayer tank loading. *Procedia Structural Integrity*, 2024. No 59, 609-616. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.086>.
15. Babii A.; Aulin V.; Babii M.; Levytskyi B. (2022) Investigation of the working capacity of the operating body suspension functional-transporting machine. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 105, no 1, pp. 5–12. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2022.01.005.
16. Baranovsky O. S., Pyatachenko V. I. and Sergeeva O. V. (2010). Investigation of a jet pump for direct supply of pesticides to the sprayer discharge communication *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva* 94, 206 – 215.
17. Baranovskyi, O., & Polischuk, V. (2001). Analysis of metering systems for

boom sprayers. Bulletin of the State Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 2, 141-146.

18. Djouhri M., Loubet B., Bedos C., Dages C., Douzals J. P. and Voltz M. (2023). ADDI-Spraydrift: A comprehensive model of pesticide spray drift with an assessment in vineyards Biosystems Engineering, 231, 57–77. DOI <https://doi.org/j.biosystemseng.2023.05.008>.

19. ECOJet. Товари : веб-сайт. URL : <https://www.ecojet.com.ua/>.

20. Ghafoor, A.; Khan, F.A.; Khorsandi, F.; Khan, M.A.; Nauman, H.M.; Farid, M.U. Development and Evaluation of a Prototype Self-Propelled Crop Sprayer for Agricultural Sustainability in Small Farms. Sustainability 2022, 14, 9204.

21. Gurkit. Обприскувач MasterCut OS60T/25 : веб-сайт. URL : <https://gurkit.ua/ua/product/31573/opryskivatel-mastercut-os60t25.html> (дата звернення: 21.01.2024).

22. Hevko R., Stashkiv M., Lyashuk O., Vovk Y., Oleksyuk V., Tson O., Bortnyk I. Investigation of internal efforts in the components of the crop sprayer boom section. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Volume 105, Issue 1 (2021), 33 – 41. (Scopus) DOI: 10.5604/01.3001.0014.8743.

23. Hud Mykhailo. Analysis of the influence of horizontal ties on the buckling of the bottom of a floating pool. *Procedia Structural Integrity*. 2024. Vol. 59, pp. 617 – 621.

24. Hud Mykhailo. Analysis of the influence of horizontal ties on the buckling of the bottom of a floating pool. *Procedia Structural Integrity*. Volume 59, 2024, Pages 617-621.

25. Hud, Mykhailo. Simulation of the stress-strain state of a cylindrical tank under the action of forced oscillations. *Procedia Structural Integrity*. 2022. Vol 36, pp. 79 – 86.

26. Iasnii V., Budz V., Antonchenko V., Holubovskyi M. Modelling of the functional properties of the SMA-based damper device. *Procedia Structural*

Integrity. Volume 59, 2024, Pages 299-306.
<https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.043>.

27. Igor Stadnyk, Volodymyr Piddubnyi, Olena Kolomiiets, Andrii Chahaida, Oleh Kravets, Viktor Fedoriv, Olena Ieremeieva, Vitalii Mihailik, Rostyslav Kravcheniuk, Iurii Radchenko, (2025)/ Determining the influence of drum mixer parameters on the change in dough components concentration at the initial mixing stage/ Eastern-European JOURNAL of Enterprise Technologies. 2/11 (134) 6-16
 DOI: 10.15587/1729-4061.2025.327160/

28. Kruchkov. Обприскувач для мотоблока і мототрактора : веб-сайт. URL : <https://kruchkov.com.ua/obpriskuvachi/> (дата звернення: 22.01.2024).

29. Leshchak R.L., Babii A.V., Barna R.A., and Syrotyuk A.M. Corrosion resistance of steel of the frames of boom sprayers. *Materials Science*. Vol. 56. No. 3. November, 2020. P. 425–431.

30. Li, C.; Wu, J.; Pan, X.; Dou, H.; Zhao, X.; Gao, Y.; Yang, S.; Zhai, C. Design and Experiment of a Breakpoint Continuous Spraying System for Automatic-Guidance Boom Sprayers. *Agriculture* 2023, 13, 2203.

31. Luck J D, Pitla S K, Sama M P and Shearer S A 2015 Flow, spray pattern, and droplet spectra characteristics of an electronically actuated variable-orifice nozzle Transactions of the ASABE 58(2) 261–269. DOI <https://doi.org/10.13031/trans.58.10798>.

32. Mercaldi H. V., Peñaloza E. A., Mariano R. A., Oliveira V. A. and Cruvinel P. E. 2017 Flow and Pressure Regulation for Agricultural Sprayers Using Solenoid Valves IFAC-PapersOnLine 50(1) 6607–6612 DOI <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.693> 20th IFAC World Congress.

33. NiceGarden. Електричний (акумуляторний) обприскувач на колесах 80 л Штокер / Stocker 303 : веб-сайт. URL : <https://nicegarden.com.ua/ua/elektricheskij-akkumulyatornyj-opryskivatel-na-kolesah-80-l> (дата звернення: 21.01.2024).

34. Nogueira Martins R, Moraes H M F e, Freitas M A M d, Lima A. d C and Furtado Junior M R (2021). Effect of nozzle type and pressure on spray droplet

characteristics Idesia (Arica), 39(1), 101–107. DOI <https://doi.org/10.4067/s0718-34292021000100101>.

35. Onyshchenko B. V, Onyshchenko V. B., Nazarenko V. A. Experimental research of time for opening and closing of spray in flat and injector nozzles(2024) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1415(1), 012046.

36. Onyshchenko, B., Onyshchenko, V., Nazarenko, V., & Achkevych, V. (2024). Experimental study of the time of pressure rise and fall in the sprayer pipe. *Machinery & Energetics*, 15(1), 95-103. doi: 10.31548/machinery/1.2024.95.

37. Palamarchuk, I., Mushtruk, M., Stadnyk, I., Derkach, A., Boyko, Y. (2025). Heat Exchange Optimization in Transport and Technological Machines Using Vibromechanical Intensification. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G. (eds) *Advanced Manufacturing Processes VI*. Interpartner 2024. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. pp 792–805.

38. Piddubnyi V. A., Stadnyk I. Ya., Pylypets O. M., Kravchenyuk H. Yu. Simulation of the dynamics of environmental movement in transport networks of industries. Issue 3 (44) 2024 *Technical sciences*. Pp.92-99.

39. Pidgurskyi M., Stashkiv M., Pidgurskyi I., Oleksyuk V., Pidluzhnyi O., Bykiv D., Borys I., Bulaienko R., Stashkiv V., Mushak A. (2024) Methodology of experimental and analytical research of technical systems. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 116, no 4, pp. 50–58.

40. Qiu, W.; Yao, X.; Zhu, Y.; Sun, H.; Zhou, L.; Xiao, M. Analysis of Factors Influencing Vibration Suppression of Spray Boom-Air Suspension for Medium and Small-Scale High-Clearance Sprayers. *Sensors* 2021, 21, 6753.

41. Rybak T.I., Babii A.V., Bortnyk I.M. et al. Evaluation of the Service Life of the Frames of Sections of Boom Field Sprayers. *Mater Sci* 55, 2019, 374–380.

42. Rybak T.I., Babii A.V., Bortnyk I.M., Ts'on G.B., and Konovalenko S.I. Evaluation of the service life of the frames of sections of boom field sprayers. *Materials Science*. Vol. 55. No. 3. November, 2019. P. 374–380.

43. Sprayagro. Розпилювачі Teejet : веб-сайт. URL : <https://sprayagro.com.ua/product/teejet-aic11005vp/>.

44. Stashkiv Mykola (2023). Field Test Data Processing for the Implementation of Accelerated Rig Test of Sprayer Booms. The 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2023 (ITTAP 2023). Vol. 3628. 690-701.

45. Stashkiv Mykola, Lytvynenko Iaroslav, Stashkiv Viktor (2022). Test Data Processing Use for Structural Fatigue Life Assessment. The 2st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2022 (ITTAP 2022). Vol. 3309. 241-258.

46. Stepanenko, Sergey; Kudrynetskyi, Rostyslav; Shvydia, Viktor; Dnes, Viktor; Kuzmych, Alvian. Applied software management of technological process of grain production on the granary. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences Том 17, Выпуск 21, 2022. Pp. 1915 – 1923.

47. Volodymyr Iasnii, Oleh Yasniy, Sviatoslav Homon, Volodymyr Budz, Petro Yasniy. Capabilities of self-centering damping device based on pseudoelastic NiTi wires. Engineering Structures 278 (2023) 115556. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115556>.

48. Volodymyr Iasniia, Lukasz Sobaszek, Petro Yasniy. Study of cyclic response of SMA based damping device. Procedia Structural Integrity 36 (2022) 284–289. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.036>.

49. Wang, S.; Xu, T.; Li, X. Development Status and Perspectives of Crop Protection Machinery and Techniques for Vegetables. Horticulturae 2022, 8, 166.

50. Yan, J.; Xue, X.; Cui, L.; Ding, S.; Gu, W.; Le, F. Analysis of Dynamic Behavior of Spray Boom under Step Excitation. Appl. Sci. 2021, 11, 10129.

51. Yasniy P. V et al. Numerical Analysis of Natural Vibrations of Cylindrical Shells Made of Aluminum Alloy // Mater. Sci. 2020. Vol 55, № 4. P 502–508.

52. Yasniy P., Pyndus Y., Hud M. Analysis of natural frequencies and shapes of stringer-stiffened cylindrical shells. Scientific journal of the Ternopil national technical university. 2016. Vol 83. №. 3. P. 7–15.

53. Yasniy P., Pyndus Y., Hud M. Analysis of natural frequencies and shapes of stringer-stiffened cylindrical shells // Sci. J. Ternopil Natl. Tech. Univ. 2016.

Vol 83, № 3. P 7–15.

54. Yasniy P., Pyndus Y., Hud M. Experimental study of forced oscillations affinity-shaped reinforced thin-walled cylinder model // Вісник Тернопільського національного технічного університету. ТНТУ, 2020. Вип. 14, № 100. С. 127–134.

55. Yasniy P., Pyndus Y., Hud M. Methodology for the experimental research of reinforced cylindrical shell forced oscillations // Sci. J. Ternopil Natl. Tech. Univ. 2017. Vol 2, № 86. P 7–13.

56. Zhou, Q.; Zhang, S.; Xue, X.; Cai, C.; Wang, B. Performance Evaluation of UAVs in Wheat Disease Control. *Agronomy* 2023, 13, 2131.

57. Агрокрам. Обприскувач на мототрактор 130 л : веб-сайт. URL : <https://agrokram.com/ua/opryskivatel-mototraktor-130-l> (дата звернення: 21.01.2024).

58. Агропласт. Каталог продукції. Розпилювач щілинний універсальний AP110 : веб-сайт. URL : https://agroplast.ua/uk_UA/p/Розпилювач-щілинний-універсальний-AP110/700.

59. Агротехнічні вимоги до штангових обприскувачів / kas32 : веб-сайт. URL : <http://kas32.com/ua/post/view?id=421>.

60. Акумуляторний обприскувач FERMER OCA-16 : веб-сайт. URL : <https://tehno-haos.com.ua/ua/p870437397-akkumulyatornyj-opryskivatel-fermer.html> (дата звернення: 18.01.2024).

61. Бабій А. В. Аналіз параметрів штангового обприскувача з метою збільшення його продуктивності. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine, 2019. Vol. 10. No. 4. С. 51–55.

62. Бабій А.В. До питання підвищення продуктивності штангового обприскувача. Збірник тез доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції *"Агроінженерія: сучасні проблеми та перспективи розвитку"*, присвячена 90-й річниці з дня заснування механіко-технологічного факультету НУБіП України (7-8 листопада 2019 року). Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2019. С.30–32.

63. Бабій А.В. Дослідження впливу горизонтальних коливань штанги на рівномірність обприскування. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників, 16 червня 2020 р. Редкол. : Непочатенко О.О. (відп. ред.) та ін. Умань: ВПЦ «Візаві», 2020. С 121–123.

64. Бабій А.В., Бортник І.М., Сташків М.Я., Олексюк В.П. Штанга обприскувача. Деклараційний патент на корисну модель 137527 А01М11/00, А01М7/00; заявл. 15.04.2019, u201903846; опубл. 25.10.2019, бюл. № 20.

65. Бабій А.В., Дзюра В.О., Головецький І.В. Дослідження впливу вертикальних коливань штанги обприскувача на рівномірність обприскування. *Центральноукраїнський науковий вісник*. Технічні науки. 2022. Вип. 5(36)_І. С. 216-226.

66. Бабій А.В., Левицький Б.Б. Аналітична модель збурення вертикальних коливань штанги сільськогосподарського обприскувача Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої пам'яті професора Гевка Богдана Матвійовича „Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин. “ ФОП Паляниця ВА. 23-24 вересня 2021. С. 57-58.

67. Бабій А.В., Левицький Б.Б. Підвищення ефективності хімічного захисту рослин при використанні міні обприскувачів. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 19-21 квітня 2023 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. С.158-159.

68. Бабій А.В., Левицький Б.Б., Гамрач В.О. Норма внесення робочого препарату як чинник ефективності хімічного захисту рослин. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції, 7-8 червня 2023 р., м. Луцьк [Електронний ресурс] – Луцьк: ЛНТУ, 2023. С.5-6.

69. Бабій А.В., Левицький Б.Б., Гладь Ю.Б., Андрейків О.Є. Підвіска штанги обприскувача. Деклараційний патент на корисну модель ua 157047 U A01M 7/00. Заявлено 09.01.2024, u 2024 00132, опубліковано 04.09.2024, Бюл. № 36.

70. Бабій А.В., Матвіїшин А.Й. Особливості деяких експлуатаційних характеристик причіпного обприскувача. Проблеми технічної експлуатації машин. Системотехніка і технології лісового комплексу. Вісник ХНТУСГ. Вип. 94. Харків, 2010. С. 33–38.

71. Бабій А.В., Матвіїшин А.Й., Семчишин С.Г. Дослідження динаміки причіпного обприскувача. Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ. Вип. 59. Том 1. Харків, 2007. С. 166–172.

72. Бабій А.В., Рибак Т.І., Попович П.В., Господарський Я.Я., Сікорський С.П. Механізм зміни ширини колії. Деклараційний патент на корисну модель 73090 A01B 51/00; заявл. 01.03.2012, опубл. 10.09.2012, бюл. № 17.

73. Бабій Андрій Васильович. Методи розрахунку ресурсу і вдосконалення конструкцій широкозахватних штанг сільськогосподарських обприскувачів: дис. ... докт. техн. наук : 05.05.11 / Бабій Андрій Васильович. Тернопіль, 2021. 465 с.

74. Бабій А.В., Андрейків О.Є. Підвіска штанги обприскувача. Деклараційний патент на корисну модель 1436292 A01M 7/00 (2020.01); заявл. 27.01.2020 u2020 00463, опубл. 10.08.2020, бюл. № 15.

75. Бабій А.В., Рибак Т.І., Попович П.В. Поворотно-фіксуючий механізм штанги обприскувача. Деклараційний патент на корисну модель 59390 A01M 7/00 A01M 11/00; заявл. 17.11.2010 U201013645; опубл. 10.05.2011, бюл. № 9.

76. Барановський О. С., П'ятаченко В. І. Дослідження процесу пневматичного осадження краплин при обприскуванні. Механізація та електрифікація сільського господарства : загальнодерж. зб. / ННЦ «ІМЕСГ», Глеваха, 2006. Вип. 90. С. 203–211.

77. Барановський О. С., П'ятаченко В. І., Шатохін С. Є. Дослідження якості роботи сучасних розпилювачів. Механізація та електрифікація

сільського господарства : загальнодерж. зб. / ННЦ «ІМЕСГ», Глеваха, 2007. Вип. 91. С. 234 – 244.

78. Білушак Г. І., Чабанюк Я. М. Теорія ймовірностей і математична статистика. Практикум. Львів, 2001. 418 с.

79. Вікович І.А., Дівесєв Б.М. Математична модель нанесення краплин рідини на рослини обприскувачами. Вісн. Держ. ун-ту “Львівська політехніка”. Львів : ДУЛП, 2000. № 394. С. 6–11.

80. Вікович І.А. Конструкції і динаміка штангових обприскувачів: монографія. Львів : видавництво «Львівської політехніки», 2003. 460 с.

81. Вікович І.А. Математична модель дифузійного осадження краплин препарату на рослини при обприскуванні штанговими обприскувачами. Наук. вісн. Зб. наук.-техн. пр.-Львів : Укр. ДЛТУ, 2002. Вип. 12. 3. С.226–232.

82. Вікович І.А. Штангові обприскувачі для хімічного захисту рослин. Львів : Вид-во НУ “Львівська політехніка”, 2003. 480 с.

83. Вікович І.А., Афтаназів І.С., Строган О.І., Балабанська І.І. Обґрунтування підвищення ефективності вітроенергетичної установки із обертовим ротором. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні, 2019. № 913. С. 52–61.

84. Вікович І.А., Дівесєв Б.М., Дорош І.Р. Розрахунок та мінімізація коливних процесів у штангах обприскувачів. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні, 2011. Вип. 45. С. 465–471.

85. Вікович І.А., Дівесєв Б.М., Дорош І.Р. Розрахунок та мінімізація коливних процесів у штангах обприскувачів. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні, 2011. Вип. 45. С. 465–471.

86. Вікович І.А., Дмитриченко М.Ф. Обґрунтування спрощеного аналітичного методу визначення величини горизонтальної сили удару рідини об стінки рухомої прямокутної ємкості. Вісник Національного транспортного університету, 2018. № 1. С. 63–72.

87. Вікович І.А., Строган О.І., Топчій В.І. Просторові коливання вільного

кінця стрижня пружної підвіски віброкавітатора. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Динаміка, міцність та проектування машин і приладів, 2016. № 838. С. 3–10.

88. Вожик Ю. Г., Ратушний В. В., Панасюк В. І., Корнюшин В. М. Обґрунтування типу та параметрів розпилювачів для мультикоптерного обприскувача. Механіка та автоматика агропромислового виробництва. Випуск 1 (115).2023. С. 65-71. DOI: <https://doi.org/10.37204/2786-7765-2023-1-6>.

89. Вожик Ю. Г., Швидя В. О., Панасюк В. І., Вітрух П. І., Корнюшин В. М. Дослідження структури повітряного потоку від гвинта мультикоптерного обприскувача. Механіка та автоматика агропромислового виробництва. Випуск 2 (116), 2023. С.213-219.

90. Вожик Ю. Г., Швидя В. О., Панасюк В. І., Корнюшин В. М. Експериментальні дослідження впливу повітряних потоків від гвинтів мультикоптерного обприскувача на якість обприскування в умовах дії вітру. Механіка та автоматика агропромислового виробництва. Випуск 3 (117), 2023. С.47-54.

91. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини. Підручник за ред. Д.Г. Войтюка. К. : Вища освіта, 2004. 544 с.

92. Головецький І.В., Бабій А.В. Конструктивні особливості та ефективність роботи міні картоплекопачів. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.ІІ. С. 134-143.

93. Гордійчук О.Ю. Обґрунтування режимів роботи обприскувача. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

94. Гудь, М., Ворощук, В., Олексюк, В., & Гагалюк, А. (2024). Оцінка впливу фізико-механічних параметрів наповнювача на динамічну поведінку циліндричної оболонки. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical

Sciences, 345(6(2), 248-253. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-345-6-38>.

95. Державна служба статистики України. URL : Площі, валові збори та урожайність сільськогосподарських культур за їх видами та по регіонах (ukrstat.gov.ua).

96. Дмитриченко М.Ф., Вікович І.А. Динаміка мобільних машин з начіпними функціональними елементами. Монографія. Львів : видавництво «Львівської політехніки», 2008. 496 с.

97. ДСТУ 4397:2005 «Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробовування».

98. Конструювання і розрахунок елементів тонкостінних посудин та апаратів, які знаходяться під зовнішніми навантаженнями [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв» / І. А. Андреєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,65 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 121 с.

99. Крушельницька О.В. Методологія та організація наукових досліджень. Навч. Посібник. К. Кондор, 2003. Л.А.Назаренко Планування і обробка результатів експерименту. Конспект лекцій. Харків. ХНУНГ ім. О.М.Бекетова, 2018.

100. Кулінченко В.Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід: Підручник. Київ: Фірма «ІНКОС», Центр навчальної літератури, 2006. 616 с.

101. Левицький Б. Причини зниження ефективності обприскування. Матеріали III Міжнародної студентської науково-технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 23-24 квітня 2020 р.), 2020. С.33.

102. Левицький Б., Вовк І. Виокремлення задач, вирішення яких підвищує якість хімічного захисту рослин обприскувачами. V Міжнародна студентська науково-технічна конференція «Природничі та гуманітарні науки. актуальні питання». ТНТУ. 2022. С.10-11.

103. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Аналіз конструктивних особливостей мініобприскувачів для невеликих фермерських господарств. Центральнуукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.П. С. 116-125. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.116-125](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.116-125).

104. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Дослідження опору переміщенню обприскувача. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 13-15 квітня 2022 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. С.106-107.

105. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Концептуальні рішення для проєктування малогабаритного обприскувача. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики». Тернопіль 29-30 вересня 2022. С.51-52.

106. Левицький Б.Б., Бабій В.А. Система стабілізації штанги малогабаритного обприскувача. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. С. 98-99.

107. Левицький Б.Ф., Лещій Н.П. Гідравліка. Загальний курс. Львів: Світ, 1994. 264 с.

108. Львівагромашпроект. Тепличні обприскувачі місткістю 100 - 420 літрів : веб-сайт. URL : <https://lvivagromash.com/obpryskuvachi/obpryskuvach-dlia-teplys-1> (дата звернення: 21.01.2024).

109. Малюта С.І., Рогач Ю.П. Пристрій для зміни колії транспортного засобу. Деклараційний патент на корисну модель ua 72863 u B60B 35/00. Заявлено 20.03.2012, у 2012 03315, опубліковано 27.08.2012, Бюл. № 16.

110. Малюта С.І., Рогач Ю.П. Пристрій для зміни колії транспортного

засобу. Деклараційний патент на корисну модель ua 86501 u B60B 35/00. Заявлено 21.08.2012, а 2012 10037, опубліковано 10.01.2014, Бюл. № 1.

111. Методи та засоби експериментальних досліджень : навч. посіб. / Г.Б. Параска, Д.В. Прибега, П.С. Майдан. – Київ : Кондор-Видавництво, 2017. 138 с.

112. Моделі і методи розрахунку коливальних процесів у мобільних машинах з начіпними функціональними елементами [Текст] : дис. д-ра техн. наук: 05.02.09 / І.А. Вікович. Національний ун-т "Львівська політехніка". Л. : 2004. 383 арк.+ дод. 213 арк. Арк. 353–383.

113. Науково-дослідна лабораторія. URL: https://kaf-th.tntu.edu.ua/?page_id=523.

114. О.С. Барановський, В.В. Марченко, Механічні та технологічні засади ефективного використання пестицидів у обприскуванні, Аграрна техніка та обладнання 4/5 (2008) 34-38.

115. Обприскувач для мотоблока 105 л (2 насоса, 10 форсунок) : веб-сайт. URL : <http://surl.li/hghxhc>.

116. Обприскувач ОГ-101 Леміра ранцевий 12 л : веб-сайт. URL : https://lemira.ua/catalog/opriskivateli_gidravlicheskie/88.htm (дата звернення: 18.01.2024).

117. Обприскувач причіпний до мінітрактора NorthStar (79 л) : веб-сайт. URL : <http://tinyurl.com/ys3qwqo6> (дата звернення: 22.01.2024).

118. Опір матеріалів (спецкурс) і основи теорії пружності і пластичності: курс лекцій для студентів напряму підготовки «Будівництво» /Н.І. Хомик, Т.А. Довбуш, Н.А. Рубінець, Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2017. 232с.

119. Опір матеріалів: підручник / Г. С. Писаренко, О.Л. Квітка, О.С. Уманський; за ред. Г. С. Писаренка, – 2-ге вид. доп. і переробл. К.:Вища школа, 2004. 655 с.

120. Обприскувач на мотоблок та мототрактор на 50 л.+автомобільний компресор : веб-сайт. URL : <http://surl.li/bhujhj>.

121. Основи наукових досліджень і теорія експерименту: Навчальний

посібник / Укладачі:Капаціла Ю.Б.,Марущак П.О.,Савків В.Б.,Шовкун О.П.
Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2023. 186 с.

122.Основи теорії пластин та оболонок з елементами магнітопружності :
підручник / Я. М. Григоренко, Л. В. Мольченко. К.: Видавничо-
поліграфічний центр "Київський університет", 2009. 403 с.

123. Піддубний, В. А., Стадник, І. Я., Чагайда, А. О., & Петриченко, Є. А.
(2022). Обґрунтування параметрів змішувача для борошняних компонентів.
Технічна інженерія, (1(89), 3–10. [https://doi.org/10.26642/ten-2022-1\(89\)-3-10](https://doi.org/10.26642/ten-2022-1(89)-3-10).

124. Рибак Т., Матвійшин А., Бабій А. Аналітико-експериментальні
дослідження роботоздатності елементів конструкції малогабаритного
обприскувача. Зб. тез доповідей десятої наукової конференції ТДТУ.
Тернопіль, 2006. С. 94.

125. Рибак Т.І. Підвищення надійності машин для хімічного захисту у
рослинництві. К.: Урожай, 1986. 104 с.

126. Рибак Т.І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу
мобільних сільськогосподарських машин. ВАТ “ТВПК “Збруч”, 2002. 330 с.

127. Рибак Т.І., Бабій А.В. Універсальний малогабаритний обприскувач.
Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. ХДТУСГ, 2003.
Випуск 17. С. 221 – 224.

128. Рибак Т.І., Матвійшин А.Й., Бабій А.В. Вплив випадкової перешкоди
на елементи причіпного обприскувача. Зб. тез доповідей одинадцятої
наукової конференції ТДТУ. Тернопіль, 2007. С. 101.

129. Рибак Т.І., Матвійшин А.Й., Бабій А.В., Костюк В.І. Математичне
моделювання динамічних процесів причіпного обприскувача.
Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. Вип. 15. Луцьк,
2007. С. 239–250.

130. Рибак Т., Попович П., Бабій А., Ріпецький Є. Пошукове
конструювання на сучасному розвитку експериментальних засобів та
аналітичних досягнень – концептуальна триєдина модель. Вісник ТНТУ.
Спецвипуск, частина 2. Тернопіль, 2011. С. 16–172.

131. Рибак Т.І., Бабій А.В., Сухорольський М.А. Опора-ложемент бака обприскувача. Деклараційний патент на корисну модель 14193 A01M7/00, 11/00; заявл. 20.09.2005; опубл. 15.05.2006, бюл. № 5.

132. Рибак Т.І., Підгурський М.І., Костюк В.І., Тесленко В.О., Залужний В.І. Універсальна вимірювальна система для дослідження динаміки сільськогосподарських машин. Надійність і довговічність машин і споруд, 2005. Вип. 25. С. 112–119.

133. С. Афанасьєв, В. Горбатов, В. Погорілий, Якісна елементна база - основа надійності вітчизняного обладнання, Техно АПК – Агропромисловий комплекс Технічний 5/6 (2006) 40-43.

134. Статистична обробка і оформлення результатів експериментальних досліджень (із досвіду написання дисертаційних робіт): Навчальний посібник. О.В. Кисельов, І.Б. Комарова, Д.О. Мілько, Р.О. Бакарджієв, за заг. ред. Д.О. Мілька; Інститут механізації тваринництва НААН. Електронний аналог друкованого видання (електронна книга). Запоріжжя. СТАТУС, 2017. 1181 с., 482 табл., 379 іл., додатк. 9 (147 табл., 9 іл.). Бібліогр.: 197 наймен. 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см.

135. Укр Пласт. Пластикові ємкості : веб-сайт. URL : <http://surl.li/jnlmsw> .

136. Укрпромсвіт : веб-сайт. URL : <https://ukrpromsvit.com.ua/ua/> .

137. Укрхімпласт : веб-сайт. URL : <https://ukrhimplast.com/>.

138. Хіддема Йоріс Ян (NL). Сільськогосподарська машина для внесення добрив зі змінюваною шириною колії. Патент на винахід ua 101212 с2 A01C 23/00 A01M 7/00 B60B 35/00 B60G 21/00. Заявлено 17.08.2009, а 2011 03179, опубліковано 11.03.2013, Бюл. № 5.

139. Ясній П.В., Пиндус Ю.І., Гудь М.І. Аналіз напружено-деформованого стану підсиленої циліндричної оболонки при вільних поперечних коливаннях // Prospect. Dev. Oil Gas Fields. 2020. № 4 (77). С. 41–49.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Список опублікованих праць за темою дисертації

Публікації, які відображають основні наукові результати дисертації

1. Babii A., Levytskyi B., Dovbush T., Babii M., Khomuk N., Dovbush A., Valiashek V. Mathematical model of sprayer tank loading. Procedia Structural Integrity, 2024. No 59, 609-616. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.086>. **(Scopus).**

2. Babii A.; Aulin V.; Babii M.; Levytskyi B. (2022) Investigation of the working capacity of the operating body suspension functional-transporting machine. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 105, no 1, pp. 5–12. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2022.01.005. **(Фахове видання України).**

3. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Аналіз конструктивних особливостей мініобприскувачів для невеликих фермерських господарств. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.ІІ. С. 116-125. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.116-125](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.116-125). **(Фахове видання України).**

4. Babii A., Levytskyi B. (2024) Research of stress-strain state of tank of small-size self-propelled sprayer. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 115, no 3, pp. 91–99. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.03.091. **(Фахове видання України).**

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

5. Левицький Б. Причини зниження ефективності обприскування. Матеріали III Міжнародної студентської науково-технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 23-24 квітня 2020 р.), 2020. С.33 *(участь очна)*.

6. Бабій А.В., Левицький Б.Б. Аналітична модель збурення вертикальних коливань штанги сільськогосподарського обприскувача. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої пам'яті професора Гевка Богдана Матвійовича „Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин. “ ФОП Паляниця ВА. 23-24 вересня 2021. С. 57-58 *(участь очна)*.

7. Левицький Б., Вовк І. Виокремлення задач, вирішення яких підвищує якість хімічного захисту рослин обприскувачами. V Міжнародна студентська науково-технічна конференція «Природничі та гуманітарні науки. актуальні питання». ТНТУ. 2022. С.10-11 *(участь очна)*.

8. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Концептуальні рішення для проектування малогабаритного обприскувача. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики». Тернопіль 29-30 вересня 2022. С.51-52 *(участь очна)*.

9. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Дослідження опору переміщенню обприскувача. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 13-15 квітня 2022 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. С.106-107 *(участь он-лайн)*.

10. Бабій А.В., Левицький Б.Б. Підвищення ефективності хімічного захисту рослин при використанні міні обприскувачів. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency

of machines, processes and systems", 19-21 квітня 2023 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. С.158-159 (*участь он-лайн*).

11. Бабій А.В., Левицький Б.Б., Гамрач В.О. Норма внесення робочого препарату як чинник ефективності хімічного захисту рослин. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції, 7-8 червня 2023 р., м. Луцьк [Електронний ресурс] – Луцьк: ЛНТУ, 2023. С.5-6 (*участь он-лайн*).

12. Левицький Б.Б., Бабій В.А. Система стабілізації штанги малогабаритного обприскувача. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. С. 98-99 (*участь очна*).

Публікації, які додатково відображають результати дисертації

13. Бабій А.В., Левицький Б.Б., Гладь Ю.Б., Андрейків О.Є. Підвіска штанги обприскувача. Деклараційний патент на корисну модель ua 157047 U A01M 7/00. Заявлено 09.01.2024, u 2024 00132, опубліковано 04.09.2024, Бюл. № 36.

ДОДАТОК Б

Патент «Підвіска штанги обприскувача»





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **157047** (13) **U**
(51) МПК (2024.01)
A01M 7/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

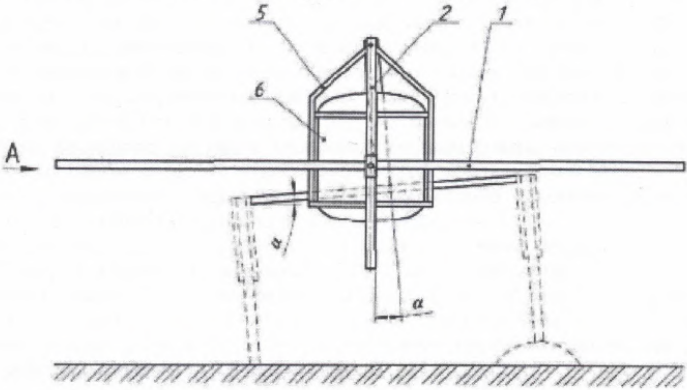
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2024 00132	(72) Винахідник(и):	Бабій Андрій Васильович (UA), Левицький Богдан Богданович (UA), Гладьо Юрій Богданович (UA), Андрейків Олександр Євгенович (UA)
(22) Дата подання заявки:	09.01.2024	(73) Володілець (володільці):	ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	05.09.2024		
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	04.09.2024, Бюл.№ 36		

(54) ПІДВІСКА ШТАНГИ ОБПРИСКУВАЧА

(57) Реферат:

Підвіска штанги обприскувача складається з націпної штанги, кріпильної балки штанги, що розміщена на основній рамі, та бака. Кріпильна балка штанги виконана у вигляді вертикальної напрямної, на якій закріплено націпну штангу з можливістю переміщення та фіксації у заданому положенні, а інший кінець вертикальної напрямної нерухомо з'єднаний з віссю, що шарнірно оберта на основну раму та містить нерухомо приєднану рамку із вмонтованим баком, які мають можливість вільного обертання відносно основної рами.



Фиг. 1

UA 157047 U

UA 157047 U

Корисна модель належить до галузі машинобудування і може бути використана в конструкціях сільськогосподарських штангових обприскувачів та інших транспортних машинах, що мають націпне обладнання, якому необхідна стабілізація під час руху.

Відома конструкція підвіски штанги обприскувача складається з націпної штанги, кріпильної балки штанги, що розміщена на основній рамі, та бака (Обприскувач для мінітрактора 100 л: веб-сайт. URL: <https://dobryvfermer.com.ua/p/1457175803-oprvskivatel-na-100-litrov-lt-dlva-minitraktora> (дата звернення: 04.11.2023)).

До недоліків вказаної конструкції підвіски штанги обприскувача належить нездатність регулювати штангу по висоті та стабілізувати її у горизонтальному положенні при русі обприскувача польовими нерівностями.

В основу корисної моделі поставлено задачу забезпечити можливість регулювання штанги по висоті та стабілізування її у горизонтальному положенні при русі обприскувача польовими нерівностями, що значно підвищить якість технологічного процесу обприскування та підвищить ресурс роботи самої штанги.

Поставлена задача вирішується шляхом виконання підвіски штанги обприскувача у вигляді націпної штанги, кріпильної балки штанги, що розміщена на основній рамі, та бака, виконавши кріпильну балку штанги у вигляді вертикальної напрямної, на якій закріплено націпну штангу з можливістю переміщення та фіксації у заданому положенні. Інший кінець вертикальної напрямної нерухомо з'єднаний з віссю, що шарнірно оберта на основну раму та містить нерухомо приєднану рамку із вмонтованим баком, які мають можливість вільного обертання відносно основної рами.

Суть корисної моделі пояснюється графічними зображеннями, де представлена конструкція підвіски штанги обприскувача: фіг. 1 - загальний вигляд; фіг. 2 - вигляд А.

Конструкція підвіски штанги обприскувача складається з націпної штанги 1, яка закріплена на кріпильній балці, що виконана у вигляді вертикальної напрямної 2 з можливістю переміщення по ній та фіксації у заданому положенні. Вертикальна напрямна 2 у верхній частині має перпендикулярно приєднану вісь 3, що шарнірно оберта на основну раму 4. До осі 3 нерухомо приєднано рамку 5, всередині якої вмонтовано бак 6, з можливістю вільного обертання разом з віссю 3 відносно основної рами 4.

Конструкція підвіски штанги обприскувача працює наступним чином.

Залежно від біологічного розвитку рослин, які підлягають, наприклад, хімічному захисту, націпну штангу 1 горизонтально встановлюють на заданій висоті над оброблюваною поверхнею, переміщуючи та фіксуючи її на вертикальній напрямній 2. При виконанні технологічного процесу штанговий обприскувач рухається зі швидкістю V польовими нерівностями, які збурюють коливання націпного обладнання, зокрема націпної штанги 1, у поперечно-вертикальній площині. Кінематичне збурення передається від шасі обприскувача, якщо розглядати варіанти причіпного чи самохідного обприскувачів або шасі енергозасобу у варіанті націпного обприскувача на основну раму 4, яка змінює своє положення у цій же площині, відхиляючись на кут α , а відповідним чином і на націпну штангу 1, провокуючи її коливання. Але за рахунок того, що вісь 3 шарнірно приєднана до основної рами 4 та має нерухомо приєднану рамку 5 із вмонтованим баком 6 (коливання рідини всередині бака не розглядаємо, вважаємо, що там є заспокоювачі), центр ваги яких значно віддалений від осі 3 їх обертання, що разом дозволяє утворити фізичний маятник, який завжди буде прагнути займати вертикальне положення, тоді і вертикальна напрямна 2 займе вертикальне положення, а націпна штанга 1 зберігатиме горизонтальне положення.

Звідси випливає, що при русі обприскувача польовими нерівностями і збуренні коливань у поперечно-вертикальній площині націпна штанга 1 зберігатиме горизонтальне положення, що дозволить витримати більш сталою відстань до об'єкта обробки і тим самим значно підвищить якість технологічного процесу обприскування рослин. Крім того, стабільне горизонтальне положення націпної штанги 1 зменшить динамічні перевантаження, що дозволить підвищити ресурс її роботи у порівнянні з базовим варіантом.

Таким чином, запропонована конструкція підвіски штанги обприскувача забезпечує можливість регулювання штанги по висоті та стабілізування її у горизонтальному положенні при русі обприскувача польовими нерівностями, що значно підвищить якість технологічного процесу обприскування та ресурс роботи самої штанги.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Підвіска штанги обприскувача, яка складається з націпної штанги, кріпильної балки штанги, що розміщена на основній рамі, та бака, яка відрізняється тим, що кріпильна балка штанги

UA 157047 U

виконана у вигляді вертикальної напрямної, на якій закріплено начіпну штангу з можливістю переміщення та фіксації у заданому положенні, а інший кінець вертикальної напрямної нерухомо з'єднаний з віссю, що шарнірно оперта на основну раму та містить нерухомо приєднану рамку із вмонтованим баком, які мають можливість вільного обертання відносно основної рами.

5

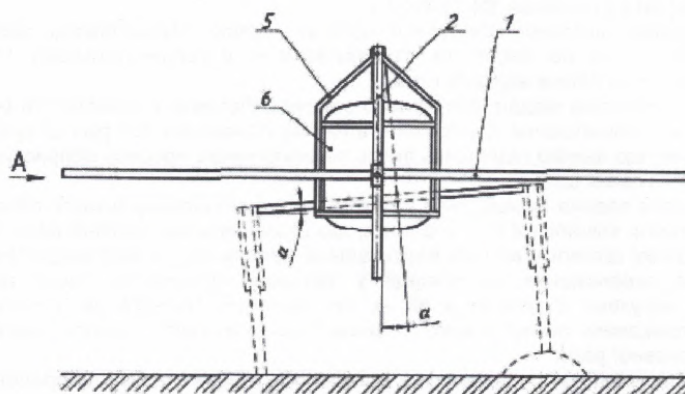


Fig. 1

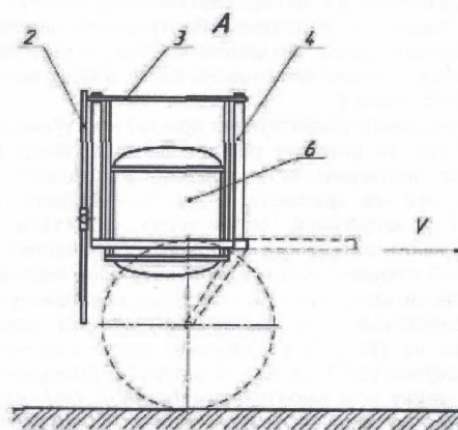


Fig. 2

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

ДО "Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій", вул. Дмитра Годзенка, 1, м. Київ – 42, 01601

ДОДАТОК В

Механізм зміни ширини колії

Принцип роботи механізму зміни ширини колії малогабаритного обприскувача пояснимо на прикладі світлин, які засвідчують певні етапи технічного виконання такого механізму.

На рис. В.1 показаний фрагмент рами обприскувача, де на основній рамі 2 розміщена стійка 1 рамки кріплення бака та показано розсувні консолі вилки колеса 3.



Рисунок В.1 – Фрагмент рами обприскувача

Зміна положення розсувних консолей вилок коліс 3 (рис. В.1) здійснюється спеціальним гвинтом з шестигранною головкою, рис. В.2 (показано стрілкою). Обертаючи за головку спеціальний гвинт (рис. В.3), який має одну сторону з правою різьбою, а іншу – з лівою, відповідно розсувні консолі або звужуються однаково, або розширюються, змінюючи ширину колії.

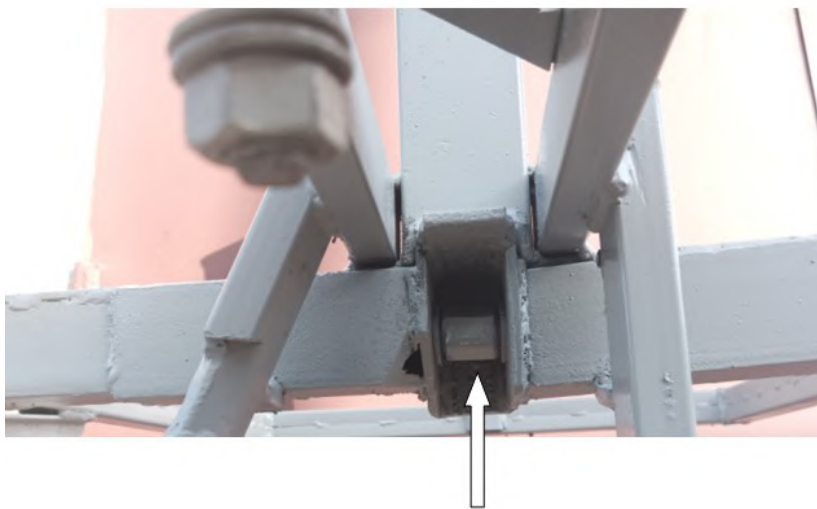


Рисунок В.2 – Місце регулювання ширини колії



Рисунок В.3 – Спеціальний гвинт зміни ширини колії



Рисунок В.4 – Гвинтова пара: розсувна консоль – спеціальний гвинт

Наведена конструкція механізму зміни ширини колії обприскувача є простою та надійною конструкцією, яка дозволяє безступенево змінити ширину колії обприскувача на величину будь-яких міждь в межах 900-1500 мм.



Рисунок В.5 – Розсувні консолі взборі

ДОДАТОК Г

Акти впровадження



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ДОВ «Плотича Агро»

Шило В.П.

2025 р.

АКТ

**про впровадження у виробництво результатів наукових досліджень
дисертаційної роботи здобувача Левицького Богдана Богдановича, аспіранта кафедри
технічної механіки та сільськогосподарських машин
Тернопільського національного технічного університету
імені Івана Пулюя**

Даний акт засвідчує те, що основні результати наукового дослідження, які виконані здобувачем Левицьким Б.Б., щодо обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів малогабаритного самохідного обприскувача, для якого розроблено маятникову підвіску штанги зі штучно збільшеною масою, застосовано пневмогідравлічну систему нагнітання робочої рідини та розроблено шасі з регулюванням шириною колії мають наукову та практичну цінність для нашого підприємства, яке випускає широкий спектр сільськогосподарської техніки та запасних частин.

До конструкторського відділу підприємства передано методики розрахунку пневмогідравлічної системи, підвіски штанги обприскувача, програми експериментальних досліджень та їх результати, які будуть використовуватись при вдосконаленні та проектуванні аналогічних систем та машин в цілому.

Голова комісії :

Журба Михайло Станіславович

Члени комісії:

Колодій Андрій Олегович

Федаш Ярослав Миколайович



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
ТНУ ім. Г. Пулюя

професор Павло МАРУЩАК

22 01 2025 року

АКТ

про впровадження наукових досліджень
дисертаційної роботи в освітній процес

Даним актом підтверджуємо, що результати теоретичних і експериментальних досліджень дисертаційної роботи на тему **«ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МАЛОГАБАРИТНОГО САМОХІДНОГО ОБПРИСКУВАЧА»** дисертанта Левицького Богдана Богдановича, яка подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування впроваджено в освітній процес в якості окремих тем при викладанні дисциплін «Сільськогосподарські машин: конструкції та розрахунок», «Методологія та організація науково-прикладних досліджень» на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин при підготовці бакалаврів та магістрів спеціальності «Агроінженерія».

Декан факультету інженерії
машин, споруд та технологій
к.т.н., доцент

Роман ЛЕЩУК

ДОДАТОК Д

Розрахунок економічної ефективності застосування розробленого обприскувача

Економічна ефективність малогабаритного самохідного штангового обприскувача косарки з маятниковою підвіскою штанги та доданою її масою досягається за рахунок підвищення продуктивності машини, більшого річного напрацювання та менших експлуатаційних витрат.

Економічну оцінку ефективності внесених змін машини виконуємо згідно ДСТУ 4397:2005 «Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробовування», шляхом порівняння затрат на базову та модернізовану машину.

Приведені затрати на одиницю наробітку (на 1 га) визначаються за формулою

$$П = I + KE, \quad (Д.1)$$

де I – прямі експлуатаційні затрати на одиницю наробітку;

K – капітальні вкладення на одиницю наробітку;

E – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Прямі експлуатаційні затрати на одиницю наробітку

$$I = З + Г + Р + А + \Phi, \quad (Д.2)$$

де $З$ – затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу;

$Г$ – затрати на паливно-мастильні матеріали;

$Р$ – затрати на технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт;

$А$ – затрати на реновацію;

Φ – інші затрати (при наявності).

Необхідні характеристики для розрахунку економічної ефективності базової і удосконаленої машини наведені у таблиці Д.1.

Таблиця Д.1 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Показники	Базовий варіант	Новий варіант
1	2	3
1. Характеристики машин	Обприскувач причіпний NorthStar (79 л)+мінітрактор	Розроблений самохідний штанговий обприскувач
1.1 Машини, які порівнюються		
1.2 Оптова ціна машин, грн.	25000	39000
1.3 Продуктивність за годину основного часу, га/год	1,5	2,7
1.4 Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	1	1
1.5 Витрати пального, л/га	3,5	1,5
1.6 Марка трактора	Міні-трактор	—
1.7 Ціна трактора, грн.	78000	—
1.8 Нормативне річне завантаження, год.:		
- трактора	300	—
- с/г машини	50	75
2 Інші показники		
2.1 Коефіцієнт переводу оптової ціни в балансову	1,1	1,1
2.2 Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень	0,2	0,2

Продовження табл. Д.1

1	2	3
2.3 Процент відчислень на реновацію по основній роботі:		
- на сільськогосподарську техніку;	14,3	14,3
- на трактор	12,5	—
2.5 Процент відрахувань на:		
- поточний ремонт і техогляд для основної роботи с/г машини;	10	10
- на капітальний ремонт;	2	2
- поточний ремонт і техогляд для основної роботи трактора	14,9	—
2.6 Розряд обслуговуючого персоналу на основній роботі	V	V
2.7 Погодинна ставка тракториста (з врахуванням всіх видів доплат) грн.	115	115
2.8 Ціна 1 л пального, грн.	55	55

Затрати праці у людино-годинах на одиницю наробітку при виконанні машиною виробничого процесу визначаємо за формулою

$$T = \frac{L}{W}, \quad (\text{Д.3})$$

де L – кількість виробничого персоналу на обслуговуванні техніки;

W – продуктивність машини.

Затрати на реновацію машини на одиницю наробітку

$$A = \frac{B \cdot a}{W \cdot T_3}, \quad (\text{Д.4})$$

де a – коефіцієнт відчислення на реновацію;

T_3 – річне завантаження технічних засобів;

B – балансова ціна машини.

Капітальні вкладення на машину на одиницю наробітку визначаємо за формулою

$$K = \frac{B}{W \cdot T_3}. \quad (\text{Д.5})$$

Затрати на технічне обслуговування і ремонти поточний і капітальний визначаємо за формулою

$$P = \frac{B(\chi_T + \chi_K)}{W_{\text{експ}} \cdot T_3}, \quad (\text{Д.6})$$

де χ_T – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування;

χ_K – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт;

$W_{\text{експ}}$ – продуктивність агрегату за 1 годину експлуатаційного часу.

Затрати на паливно-мастильні матеріали на одиницю наробітку визначаємо за формулою

$$\Gamma = q \cdot \Pi, \quad (\text{Д.7})$$

де q – розхід паливно-змащувальних матеріалів на одиницю наробітку;

Π – ціна 1 л палива.

Балансова ціна машини

$$B = \Pi' \cdot k, \quad (\text{Д.8})$$

де Π' – оптова ціна машини;

k – коефіцієнт переводу з оптової ціни на балансову.

Розрахунок затрат праці, експлуатаційних витрат і приведених витрат на базову і нову машину та енергетичний засіб подано у таблиці Д.2.

Таблиця Д.2 – Розрахунок затрат праці, приведених і експлуатаційних витрат

Базовий варіант – Обприскувач причіпний NorthStar (79 л)+мінітрактор	Новий варіант – Розроблений самохідний штанговий обприскувач	Різниця показників
1	2	3
$T_B = \frac{1}{1,5} = 0,667$ люд/га	$T_H = \frac{1}{2,7} = 0,37$ люд/га	0,297
$3_B = \frac{115}{1,5} = 76,67$ грн/га	$3_H = \frac{115}{2,7} = 42,59$ грн/га	34,08
$A_B = \frac{1,1 \cdot 25000 \cdot 0,143}{1,5 \cdot 50} = 52,43$ грн/га	$A_H = \frac{1,1 \cdot 39000 \cdot 0,143}{2,7 \cdot 75} = 30,3$ грн/га	22,14
$A_T = \frac{1,1 \cdot 78000 \cdot 0,125}{1,5 \cdot 300} = 23,83$ грн/га	$A_T = 0$ грн/га	23,83
$P_B = \frac{1,1 \cdot 25000 \cdot (0,1 + 0,02)}{1,5 \cdot 50} = 44,0$ грн/га	$P_H = \frac{1,1 \cdot 39000 \cdot (0,1 + 0,02)}{2,7 \cdot 75} = 25,42$ грн/га	18,58
$P_T = \frac{1,1 \cdot 78000 \cdot 0,149}{1,5 \cdot 300} = 28,41$ грн/га	$P_T = 0$ грн/га	28,41
$P_{П.Б} = P_B + P_T =$ $= 44,0 + 28,41 = 72,41$ грн/га	$P_{П.Н} = P_H + P_T =$ $= 25,42 + 0 = 25,42$ грн/га	46,99

Продовження табл. Д.2

$\Gamma_T = 3,5 \cdot 55 / 1,5 = 128,33$ грн/га	$\Gamma_T = 1,5 \cdot 55 / 2,7 = 30,56$ грн/га	97,78
$I_B = A_B + P_B =$ $= 52,43 + 44,0 = 96,43$ грн/га	$I_H = A_H + P_H =$ $= 30,3 + 25,42 = 55,72$ грн/га	40,72
$I_T = A_T + P_T + \Gamma_T + Z_B =$ $= 23,83 + 28,41 + 128,33 + 115/1,5 =$ $= 257,24$ грн/га	$I_T = A_T + P_T + \Gamma_T + Z_H =$ $= 0 + 0 + 30,56 + 115/2,7 = 73,15$ грн/га	184,1
$I_{П.Б} = I_B + I_T =$ $= 96,43 + 257,24 = 353,67$ грн/га	$I_{П.Н} = I_H + I_T =$ $= 55,72 + 73,15 = 128,87$ грн/га	224,81
$K_B = \frac{1,1 \cdot 25000}{1,5 \cdot 50} = 366,67$ грн/га	$K_H = \frac{1,1 \cdot 39000}{2,7 \cdot 75} = 211,85$ грн/га	154,82
$K_T = \frac{1,1 \cdot 78000}{1,5 \cdot 300} = 190,67$ грн/га	$K_T = 0$ грн/га	190,67
$K_{П.Б} = K_B + K_T =$ $= 366,67 + 190,67 = 557,33$ грн/га	$K_{П.Н} = K_H + K_T =$ $= 211,85 + 0 = 211,85$ грн/га	345,48
$\Pi_B = I_{П.Б} + K_{П.Б} E =$ $= 353,67 + 128,86 \cdot 0,2 =$ $= 465,14$ грн/га	$\Pi_H = I_{П.Н} + K_{П.Н} E =$ $= 128,87 + 211,85 \cdot 0,2 =$ $= 171,24$ грн/га	293,91

Розрахунок річного економічного ефекту від виробництва і використання нової техніки, винаходів і рацпропозицій у сільськогосподарському машинобудуванні та нових засобів праці довгочасного використання з кращими якісними характеристиками здійснюється розробниками і виробниками цих засобів праці за формулою

$$E_{\Phi} = \left[\Pi_B \cdot \frac{B_H}{B_B} \cdot \frac{P_{П.Б}}{P_{П.Н}} + \frac{(I'_B - I'_H) - E_H (K'_H - K'_B)}{P_{П.Н} \cdot E_H} - \Pi_H \right] \cdot A_2, \quad (Д.9)$$

де Π_B – приведені затрати на одиницю базового комплексу;

Π_H – приведені затрати на одиницю нового комплексу;

B_H і B_B – відповідно річні об'єми роботи, виконувані при використанні одиниці базового і нового засобу праці, у натуральних одиницях:

$$B_B \approx 75 \text{ га}; B_H = 202,5 \text{ га.}$$

$\frac{B_H}{B_B}$ – коефіцієнт обліку росту продуктивності одиниці нового засобу

порівняно з базовим; $\frac{B_H}{B_B} = \frac{202,5}{75} = 2,7$;

A_2 – річний обсяг виробництва нових знарядь праці в розрахунковому році, в натуральних одиницях, $A_2 = 1$ шт.

$\frac{P_{П.Б}}{P_{П.Н}}$ – коефіцієнт врахування зміни строку служби нового засобу праці

порівняно з базовим;

E_H – нормативний коефіцієнт ефективності, $E_H = 0,2$;

I'_B і I'_H – річні експлуатаційні витрати споживача при використанні ним базового і нового засобу праці у розрахунку на об'єми робіт, які виконуються з допомогою нового засобу праці. У цих затратах враховується тільки частина амортизації, яка призначена на капітальний ремонт засобів праці, тобто без врахування витрат на їх відновлення.

Ці показники визначаються за формулами:

$$I'_B = I_{П.Б} \cdot B_H = 353,67 \cdot 202,5 = 71620 \text{ грн.}; \quad (\text{Д.10})$$

$$I'_H = I_{П.Н} \cdot B_H = 128,87 \cdot 202,5 = 2610 \text{ грн.}, \quad (\text{Д.11})$$

K'_B і K'_H – річні капітальні вкладення споживача на машину (одиницю напрацювання) при використанні ним базового і нового комплексів,

визначаються за формулами:

$$K'_B = K_{П.Б} \cdot B_H = 557,33 \cdot 202,5 = 112860 \text{ грн.}; \quad (\text{Д.12})$$

$$K'_H = K_{П.Н} \cdot B_H = 211,85 \cdot 202,5 = 429000 \text{ грн.} \quad (\text{Д.13})$$

Підставимо отримані значення у формулу (Д.9)

$$E_\phi = \left[465,14 \cdot 2,7 \cdot \frac{72,41}{25,42} + \frac{(71620 - 26100) - 0,2 \cdot (42900 - 112860)}{25,42 \cdot 0,2} - 171,23 \right] \cdot 1 = 15111,4 \text{ грн.}$$

Термін окупності вдосконаленої машини визначаємо за формулою

$$T_{OK} = \frac{K'_H}{E_\phi} = \frac{42900}{15111,4} = 2,84 \text{ року.} \quad (\text{Д.14})$$

Цей показник показує про високу економічну ефективність проведеного вдосконалення.