

УДК 621.302:621.314.1

І.А. ВІКОВИЧ, Б.М. ДІВЕЄВ, І.Р. ДОРОШ*
Національний університет “Львівська політехніка”;
*ПП “Дора”; м. Львів

РОЗРАХУНОК ТА МІНІМІЗАЦІЯ КОЛИВНИХ ПРОЦЕСІВ У ШТАНГАХ ОБПРИСКУВАЧІВ

© Вікович І.А., Дівеєв Б.М., Дорош І.Р., 2011

Велику увагу приділено рівномірному розподілу препаратів штанговими обприскувачами на поверхню поля. Зменшення кількості хімікатів поряд із зменшенням коливань штанги може бути здійснене на основі нових поліпшених методів дослідження. Представлено дискретно-континуальні моделі динаміки таких машин, як штанговий обприскувач з подовгастим штанговим елементом. Отримано алгоритми зменшення вібрації штанги. Запропоновано нові вібропоглинальні елементи.

Uniform spray deposits by boom-sprayers onto surface surrounding the sprayed field has gained much attention. Reduction of the amount of chemicals used as well as reduction of spray drift may be achieved by improved and new application techniques. The discrete-continue models of machines dynamics of such wheeled machines as boom-sprayer with elongated boom element are offered. The algorithms for vibration decreasing of boom are received. The new vibroabsorbing elements are proposed.

Вступ. Оптимальне проектування сільгоспагрегатів, зокрема штангових обприскувачів, охоплює широке коло інженерних дисциплін – від технічних до екологічних. У цій роботі на основі раніше відомих та отриманих авторами математичних моделей динаміки та міцності складних конструкцій розв’язується задача багатокритеріального раціонального проектування штанги обприскувачів. Розглянуто питання стабілізації у вертикальній та горизонтальній площині основного елемента конструкцій агрегата – великогабаритної штанги у режимах динамічного навантаження під час переміщення обприскувача по рельєфу поля. Можливі різні схеми класифікації штангових обприскувачів. Основна з них – за функціональним параметром: шириною захвату. Якщо на підприємствах СНД випускаються наразі штанги шириною захвату до 24 м, то у світовій практиці відомі штанги завдовжки близько 36 м. Матеріал також може бути різним. Переважно це є сталь, причому на наших підприємствах доволі низькоякісна. За недостатнього рівня стабілізації штанги у вертикальній площині можливий контакт штанги з поверхнею поля. Цьому сприяє той факт, що часто за технологічними умовами висота штанги не перевищує 0.5 м над рівнем поля. Отже, поряд з нерівномірним обприскуванням недостатня стабілізація штанги може викликати її поламку. Коливання штанги, особливо у горизонтальному напрямі, значно впливають на рівномірність обприскування. Горизонтальна площина коливань часто виступає як найнебезпечніша для міцності, оскільки найбільш поширена конструкція штанги – це плоска вертикальна ферма.

Аналіз останніх досліджень. У динаміці складних конструкцій багато уваги приділяється методам конденсації систем рівнянь високого порядку, що охоплюють широкий частотний спектр. Однак у реальному випадку вібраційного збурення колісного екіпажу від рельєфу дороги вищі частоти поглинаються у шинах коліс і підвісі. Тому фактично залишається тільки низькочастотна складова, яка і викликає руйнування несучої конструкції. Це характерно для великогабаритних штангових обприскувачів, які порівняно повільно переміщуються на колесах. У цій роботі

запропоновано алгоритм конденсації для основного робочого елемента штангового обприскувача – великогабаритної ферми на підвісці. Якість обприскування та довговічність обприскувача визначає переважно динаміка цього елемента. Кінематика штанги у вертикальній площині з достатньою для практики точністю визначається моделлю жорсткого тіла. Проте для коливань штанги у горизонтальній площині, площині меншої жорсткості динамічна модель штанги не адекватна до моделі у вертикальній площині, бо проявляється явище хльосту її кінців. Ще менше ця модель може застосовуватися до визначення динамічних напружень у штанзі.

Дослідження динаміки штангових обприскувачів переважно ґрунтуються ([1-4] на застосуванні пакетів програм розрахунку (ППР): ProEngineer, ADAMS, CATIA, NASTRAN, ANSYS, COSMOS, Mechanical Desktop та ін.. Ці пакети доволі потужні, але мають ряд недоліків: а) надто дорогі для малопотужних підприємств сільськогосподарського машинобудування; б) потребують адаптації до наших технічних стандартів та перекладу; в) освоєння їх доволі важке і вимагає спеціального навчання персоналу; г) основні вузли машин (елементи сухого тертя, нелінійні демпфери тощо) недоступні для розрахунку за допомогою цих пакетів, або потребують значних зусиль для розрахунку. Можна використовувати також пакети APM WinMashin або ANALIS. Останні менш потужні, проте значно дешевші та застосовуються з врахуванням їхніх недоліків: для APM – дуже довгий час розрахунку, неможливість керувати процесом розрахунку, змінювати густину сітки скінченних елементів, неадекватність визначення напружень у кутових точках перерізів стрижнів, завищення цих значень порівняно з інженерними формулами у кілька разів при крученні, відсутність зведених таблиць параметрів конструкції та результатів у простій формі; для ANALIS – можливість проводити лише статичні розрахунки.

Окремою, найважливішою і найважчою є задача оптимального проектування конструкцій. Фактично вона розв'язується методом декомпозиції конструкції і зменшення кількості змінних параметрів та спрямованого пошуку у редукованій множині параметрів. На жаль, основні вищенаведені програмні засоби не надають можливості параметричної оптимізації. Не враховують вони і ресурсні запаси міцності вузлів машин.

Для моделювання технологічних процесів, що відбуваються за допомогою транспортних засобів, зокрема за допомогою колісних машин, розроблено ряд РС [5–11]. Частий недолік традиційних моделей – недостатнє вивчення взаємозв'язку між транспортними і технологічними процесами. Найбільшого поширення набули незв'язані дискретні моделі. Хоча вони й уможливають доволі точно визначати вплив динаміки руху на технологічний процес, проте зворотний вплив, який в окремих випадках доволі значний, повною мірою дослідити неможливо. У цій роботі розглянуто клас дискретно-континуальних моделей [5–11], які дають змогу гнучкіше моделювати ці процеси. У [7] наведені рівняння динамічної рівноваги системи рама–бак з рідина–штанга. Вони отримані з балансу моментів, викликаних інерційними та пружними силами, кутовими коливаннями стосовно поздовжньої осі обприскувача, штанги та рідини в баці. Методика визначення коефіцієнтів рівнянь ґрунтується на вивченні першої форми коливань пружних рам навісного обладнання, рідини в баці та нелінійно-пружних і дисипативних характеристик з'єднань [6].

Особливості конструкцій штанг штангових обприскувачів. Штанга штангового обприскувача переважно є плоскою для штанг розмірів менше за 18 м або являє собою просторову ферму для штанг більших розмірів. Зустрічаються штанги і з коробчастими секціями. Обприскувач має три цикли навантаження: 1) транспортне положення; 2) розгортання; 3) робоче положення. Розглянемо робоче положення штанги.

Динамічні характеристики штанги. Штангу, так само, як і переважну кількість елементів машин, треба розглядати під час циклічних навантажень. На рис. 1 показані динамічні характеристики крила штанги, отримані за допомогою пакета WinMachin.

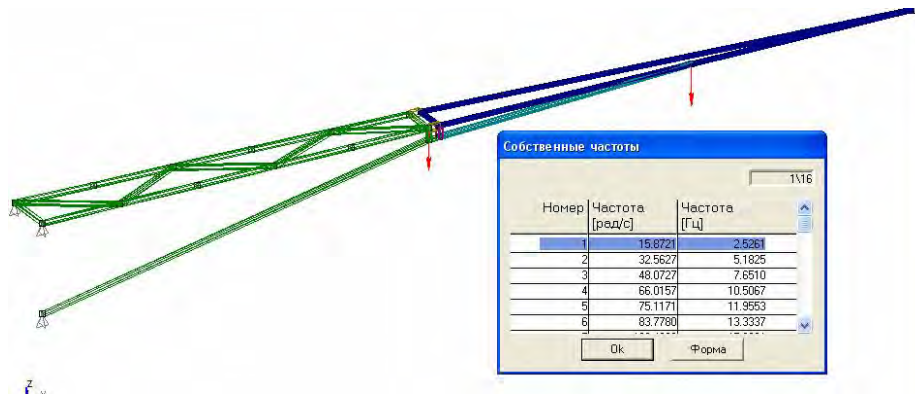


Рис. 1. Частотні характеристики крила штанги

Основним джерелом динамічних збурень штангового обприскувача, як і для кожного колісного агрегата, є взаємодія коліс з рельєфом поля. Характер коливань штанги та її амплітудно-частотні характеристики показано на рис. 2.

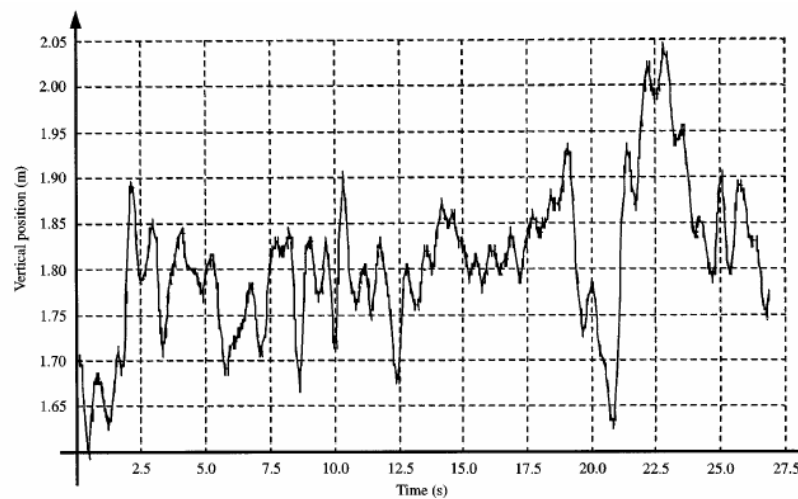


Рис. 2 а. Характер зовнішнього збурення на штангу

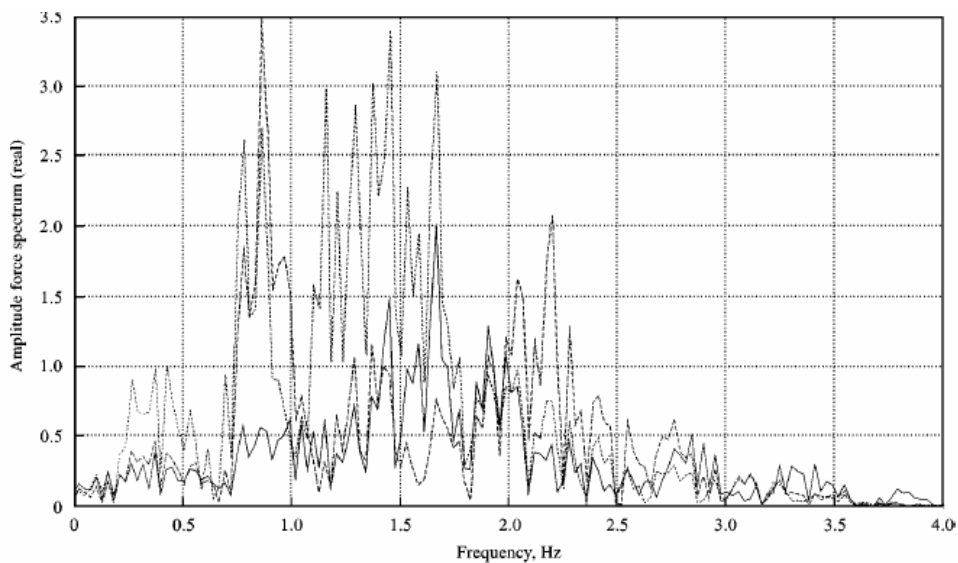


Fig. 4. Input force intensities at 4, 8 and 12 km/h; —, 4 km/h; ---, 8 km/h; ·····, 12 km/h

Рис. 2 б. Частотні характеристики зовнішнього збурення для штангового обприскувача

Вони отримані для різних швидкостей (4,8,12 км/г) агрегата на основі експериментальних досліджень [4].

Стабілізація штанги у вертикальній площині. Найважливішою функціональною властивістю обприскувачів є швидке та рівномірне розприскування препаратів на найбільшу площу без винесення цих препаратів за межі оброблюваної ділянки. Особливо важливу роль відіграють параметри таких функціональних вузлів, як штанга з підвіскою для штангових обприскувачів. Особливого вивчення потребує динаміка поширення повітряної суміші безпосередньо біля обприскувача та у приповерхневому шарі атмосфери. Для вивчення динаміки штангового елемента у вертикальній та горизонтальній площині достатньо розроблені відповідні математичні моделі [1–14]. У штангових обприскувачах рівномірність обприскування тісно корелюється з коливаннями штанги стосовно поверхні ґрунту. За рахунок оптимізації підвіски вдалося досягти значного зменшення цих коливань, що, своєю чергою, уможливило вирішити питання про збільшення ресурсу штанги, адже зменшується ймовірність зачіпання штанги за ґрунт та виникнення значних ударних напружень. Для оптимізації агрегатів розроблено комплекси програм. Вони ґрунтуються на адекватному дискретно-континуальному моделюванні динаміки [5–13] та генетичних алгоритмах оптимізації. Нижче, на рис. 3–5 показано приклади оптимізації А-подібної підвіски штанги та підвіски причепа.

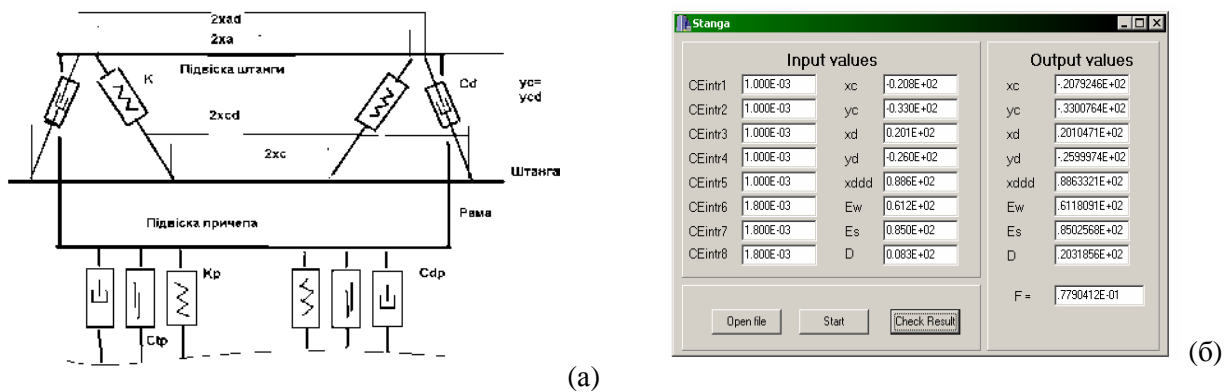


Рис. 3. Розрахункова схема коливань агрегата у вертикальній площині (а); вікно оптимізації за параметрами підвіски штанги і рами (б)

На основі експериментальних даних (рис. 2) генерувалися випадкові процеси з заданими спектральними густинами. Цими випадковими процесами моделювалися збурення від поверхні поля. До цього випадкового збурення додавалося деяке кутове відхилення рельєфу, що за деякий проміжок часу наростало до максимального сталого значення. На рис. 4 показано результат генетичної оптимізації підвіски за параметрами підвіски. За цільову функцію вибиралася величина

$$F_C = \max(j_R - j_0), \quad (1)$$

де j_0 – кут нахилу осі коліс агрегата; j_R – кут нахилу штанги.

Результати оптимізації перевірялися на картах рівнів віброзахисту (рис. 5). Тут по осі абсцис – піврозмір верхньої бази А-підвіски, по осі ординат – рівень демпфування.

Можна зауважити, що зі зростанням нахилу рельєфу поля верхня база підвіски прямує до нижньої (0.5 м). Тобто підвіска стає паралелограмною. За відсутності нахилів оптимальною, як і треба було очікувати, стає А-підвіска з мінімальною верхньою базою, тобто, фактично, маятникова.

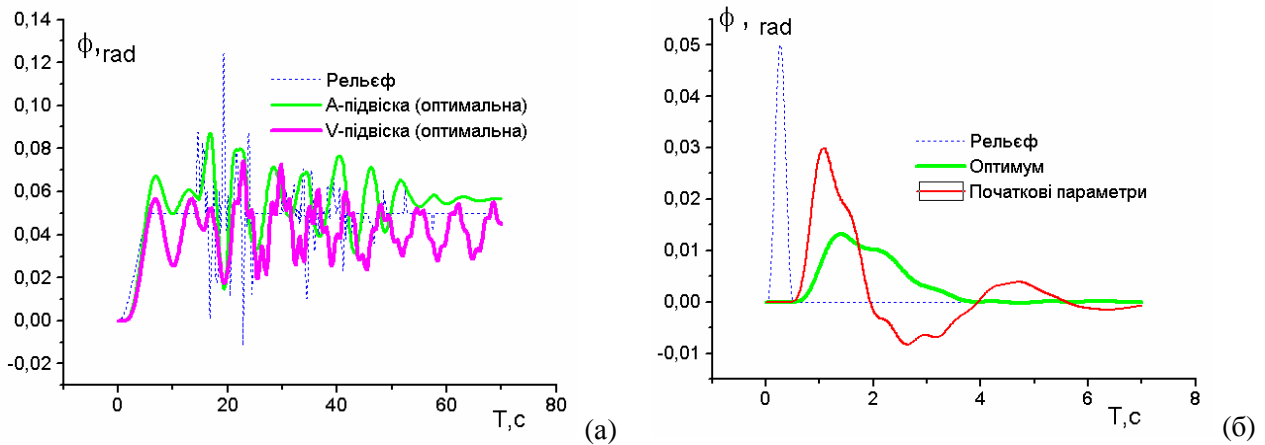


Рис. 4. Приклади проїзду по рельєфу: а – випадковий рельєф, оптимізовані А- та V- подібні штанги; б – проїзд через горб звичайної і оптимізованої штанги

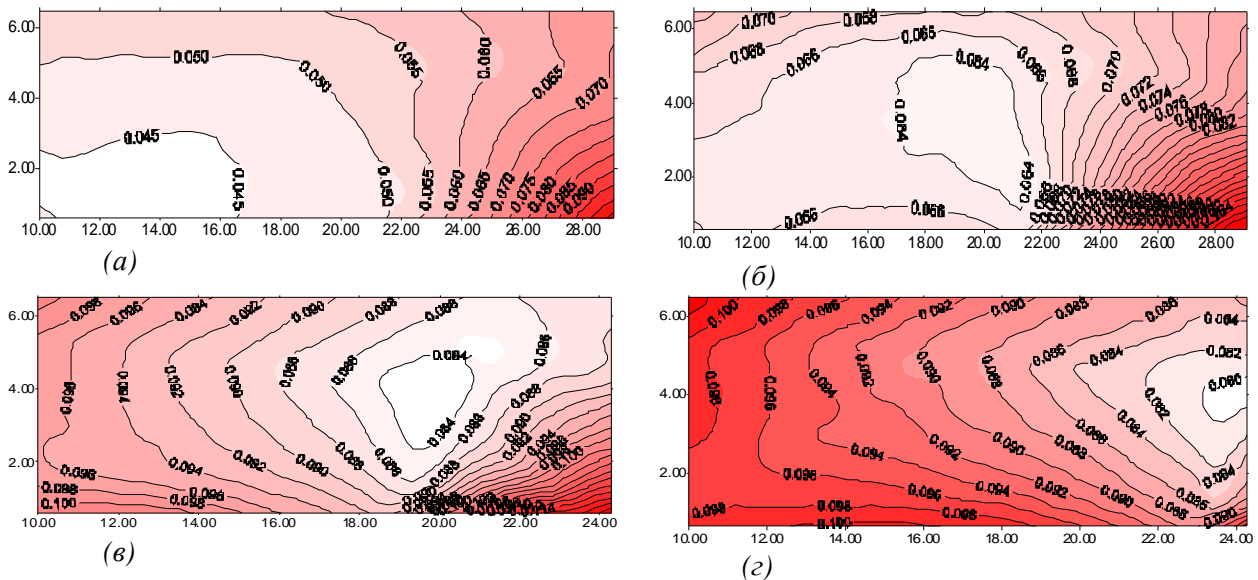


Рис. 5. Карти рівнів вібразахисту А-подібної підвіски: а – поле без схилів; кут нахилу поля становлять 30 % від максимального куткового відхилення; б – 60 %; в – 100 %

Стабілізація штанги у горизонтальній площині. В останній час велика увага звертається на стабілізацію штанги у горизонтальній площині. Це пов'язано як з міцністю штанги, так і з рівномірністю обприскування. У зв'язку зі значно меншою, як правило, жорсткістю штанги у горизонтальній площині у цьому випадку необхідно розглядати деформативність штанги. У [5–11] запропоновано два способи врахування деформативності штанги: перший, – це моделювання штанги балкою Тимошенка змінного перерізу, другий – моделювання штанги посекційно з врахуванням у вузлах з'єднання секцій як пружності зв'язків, так і пружності самих секцій. В обох випадках мало-параметрична модель штанги уточнювалася на основі розрахунку методом скінченних елементів (рис. 1). У результаті досліджень було встановлено, що амортизація штанги в горизонтальній площині може в окремих випадках бути шкідливою. Тому розглянемо застосування динамічного гасника коливань (ДГК [15, 16]) для зменшення коливань штанги у горизонтальній площині (рис. 6).

Розглянемо таку просту розрахункову схему консольного стрижня змінного перерізу з ДГК (рис. 6, а). Розглянемо двосекційну розрахункову модель штанги ([5–11]).

На рис. 6, б показано характер затухання в схемі рис. 6, а за ударного збурення за відсутності і наявності ДГК. На рис. 6, в показано оптимізовану конструкцію ДГК комбінованого ударно-маяткового типу, суміщену з ударозахисним механізмом для великогабаритної штанги. Вага штанги – 300 кг, довжина – 18 м. Можна побачити з рис. 6, б, що за порівняно невеликої маси ДГК він дуже ефективний. Як показано у [12–15], ДГК маяткового типу (рис. 6, в) може бути ще ефективнішим.

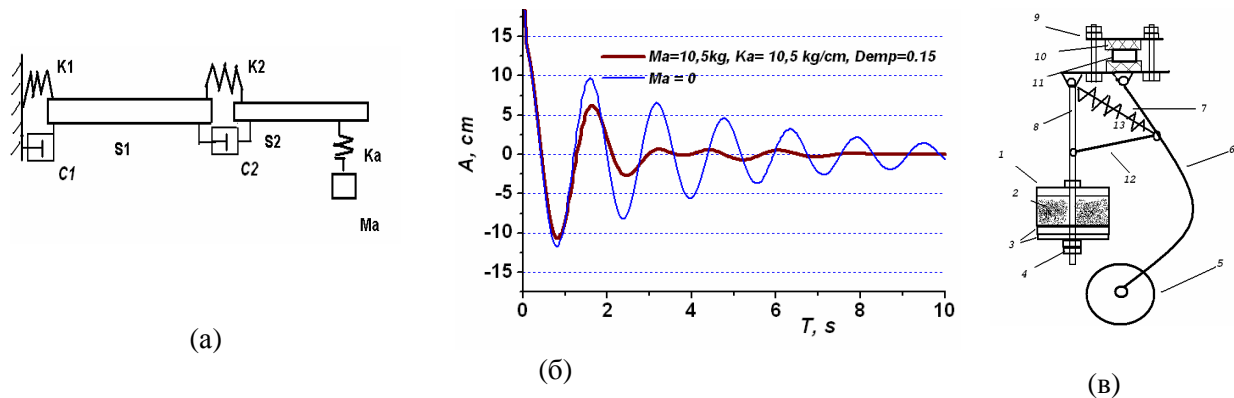


Рис. 6. Штанга з ДГК: а – розрахункова схема двосекційної штанги з ДГК; б – характер затухання коливань з оптимальним ДГК та без ДГК ($M_a=0$); в – ДГК для штангового обприскувача маяткового типу

Можливе застосування ДГК для зменшення коливань штанги і у вертикальній площині. Особливістю цього випадку є дуже мала власна частота коливань штанги на підвісці (для серійної 18-метрової штанги 0.3 Гц). Вирішенням питання стабілізації штанги у вертикальній площині може бути ДГК рідинного типу (рис. 7).

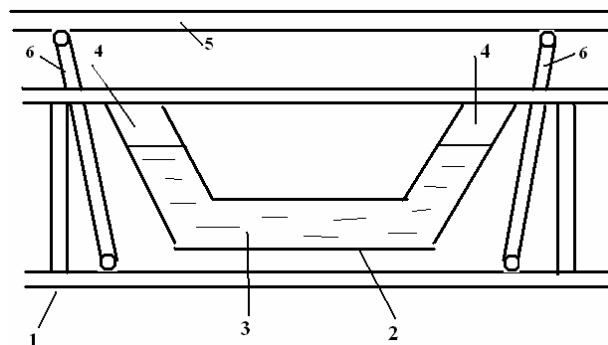


Рис. 7. ДГК рідинного типу (2–4), приєднаний до центральної секції штанги (1) на важелевій підвісці (6)

У перспективі можливе застосування такого типу ДГК для стабілізації штанги і у горизонтальній площині.

Висновки. Для розв'язання інженерної задачі оптимального проектування агрегатів з великогабаритними подовгастими функціональними елементами, зрештою, як і для будь-якої вібронавантаженої техніки, не існує стандартних програмних засобів. Універсальні, переважно імпорتنі програми мало пристосовані до специфіки проектування цих конструкцій та описання умов експлуатації машин, вже не говорячи про їхню вартість та важкість освоєння. У цій роботі наведено ефективний комплекс програм моделювання динамічних процесів, що визначають ресурсні та

функціональні властивості штангових обприскувачів. За допомогою таких програм проаналізовано міцність і функціональність штанг обприскувачів. Малопараметричні математичні моделі дають змогу в інтерактивному режимі оптимізувати ці конструкції ще на стадії проектування, а не після виготовлення, що потребує більше затрат. Додатково введені ДГК забезпечують зменшення інтенсивності коливань і тим самим підвищують функціональні та ресурсні властивості.

1. De Jong, A., Van de Zande, J.-C., Stallinga, H., 2000. The effects of vertical and horizontal boom movements on the uniformity of spray distribution. *Agricultural Engineering Conference, Paper no. 00-PM-015*.
2. Enfalt, P., Engqvist, A., Alness, K., 1997. Assessment of the dynamic spray distribution on a surface using image analysis. *Aspects Appl. Biol.* 48, 17–25.
3. Herbst, A., Wolf, P., 2000. Spray deposit distribution from agricultural boom sprayers in dynamic conditions. *Proceedings of the 25th International Conference on Noise and Vibration Engineering, Belgium*, pp. 1599–1605.
4. D. Ooms*, R. Ruter, F. Lebeau, M.-F. Destain Impact of the horizontal movements of a sprayer boom on the longitudinal spray distribution in field conditions *Crop Protection* 22 (2003) 813–820.
5. Дівеєв Б.М., Вікович І.А., Бутутер І.А., Ройко Ю.Я. Керування вібраційними процесами динамічних гасників коливань в сільгоспагрегатах з обертовими елементами // *Вісн. Національного університету “Львівська політехніка” “Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні”*. – 2006. – № 40. – С. 99–105.
6. Дмитриченко М.Ф., Вікович І.А., Дівеєв Б.М. Зменшення коливань штанги обприскувача за допомогою динамічних гасників коливань // *Зб. наук. пр. Асоціації “Автобус”: Проектування, виробництво та експлуатація автомобільних засобів і поїздів*. – Львів, 2006. – Вип. № 9. – С. 47–52. (Українсько-словацький проект).
7. Igor Viktorovich, Bohdan Diveyev, Igor Butyter. Prospects of Modern Methods for Optimum Designing Mobile Vehicles. *Матеріали XIV українсько-польської конференції “САПР у проектуванні машин. Питання впровадження та навчання” CADM’2006*. – Львів, 2006. – С. 130–132.
8. Дівеєв Б.М., Дорош І.А. Проблеми віброзахисту та динамічної стабілізації у штангових обприскувачах. // *Всеукр. наук.-техн. журнал “Вібрації в техніці та технологіях”*. – Вінниця: ВДАУ, 2006. – № 1 (43). – С. 27–29.
9. Z.A. Stotsko, V.M. Diveyev, V.I. Sokil, V.G. Topilnytskyu. Устройства устранения вибраций технологических машин. *Часопис Кошицького технічного університету „Manufacturing engineering”*, cislo 2, rocnik V. – 2006. – S. 52–53.
10. Стоцько З.А. Дівеєв Б.М. Сокіл Б.І. Топільницький В.Г. Моделювання динаміки вібронавантажених машин: *Вісник Хмельницького національного університету; Вісник Технологічного університету Поділля “Технічні науки”*. – С. 43–46. Дівеєв Б.М. Оптимізація процесів віброзахисту на основі напівавтоматичного гасника коливань // *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: Вісник Національного університету “Львівська політехніка”*, 2005. – № 39. – С. 71–76.
11. Дівеєв Б.М., Грицай В.Я., Коваль Т.Б. Взаємодія подовгастого елемента конструкції з динамічними гасниками коливань маятникового типу з ударною масою. *Вісн. Національного університету “Львівська політехніка” // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. – Львів, 2009. – № 43. – С. 66–75.
12. Дівеєв Б.М., Вікович І.А., Грицай В.Я., Коваль Т.Б. Взаємодія подовгастого елемента конструкції з динамічними гасниками коливань різних типів. // *Всеукр. наук.-техн. журнал “Вібрації в техніці та технологіях”*. – Вінниця: ВДАУ, 2009. – № 2 (55). – С. 20–25.
13. Дівеєв Б.М., Глобчак М.В., Грицай В.Я., Коваль Т.Б. Динамічний гасник коливань маятникового типу з ударною масою: *Матеріали Дев'ятої щорічної Міжнародної промислової конференції 9–13 лютого 2009 г., п. Славське “Ефективність реалізації наукового, ресурсного і промислового потенціала в сучасних умовах”*. – Львів, 2009. – С. 106–109.
14. Bohdan Diveyev, Igor Dorosh, Volodymyr Hrycaj, Taras Koval. Different type absorbers design for elongated elements vibration decreasing. *CAD in Machinery Design Implementation and Educational Problems*. – Lviv, Ukraine 2010. – С. 34–35.
15. *Вібрації в техніці. Т.6. Захист від вібрацій і ударів*. – М.: Машиностроение. 1981. – 456 с.
16. Den Hartog, J. P. (1956), *Mechanical Vibrations (4th edition)* Mc Graw-Hill, New York.