

**Рис. 3. Структурна схема установки для селективного сортування:** 1) оптичний перетворювач; 2) аналого-цифровий перетворювач; 3) мікропроцесор; 4) зворотний перетворювач для керування лампою; 5) цифровий індикатор; 6) ультрафіолетова лампа; 7) лист фанери з нанесеними фарбою мітками

Застосування запропонованої системи в поєднанні з автоматизованою лінією дасть змогу одразу відправляти фанеру на відповідні склади для продукції певної сортності або сигналізувати про потребу переналаштування виробничої лінії у разі надто високого рівня браку.

**Висновки.** Запропонована система дає змогу здійснювати швидкий неруйнівний контроль якості фанери та її автоматизоване селективне сортування. Як мікропроцесорну систему можна застосувати персональний комп'ютер з відповідним програмним забезпеченням.

Запропонований спосіб контролю та селективного сортування дає змогу значно пришвидшити процеси сортування та контролю якості фанери на кінцевому етапі виробництва.

### Література

1. Головач В.М. Аналіз реакції елементів фанери на ударні впливи / В.М. Головач, О.С. Баранова // Лісове і садово-паркове господарство : електронний фаховий журнал. – 2015. – № 8. – С. 123-136.
2. Баранова О.С. Дефектоскопія композитних матеріалів з застосуванням ударно-акустичного методу неруйнівного контролю / О.С. Баранова // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – К. : Вид-во КНУТД. – 2015. – № 6(92). – С. 150-156.
3. Головач В.М. Аналіз впливу характеристик дефекту фанери на кількість пульсацій вихідного сигналу ударного датчика / В.М. Головач, О.С. Баранова // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2015. – Вип. 25.10. – С. 280-286.

Надійшла до редакції 04.05.2016 р.

### Баранова О.С., Василенко Н.П., Скрипник І.Ю., Головач В.М. Неразрушаючий акустический контроль качества фанеры с автоматизированной селективной сортировкой

Рассмотрена проблема автоматизации процесса обнаружения внутренних дефектов фанеры с последующей селективной сортировкой в зависимости от их количества. В условиях современного производства для дефектоскопии фанеры применяется метод ручного простукивания, который требует значительных временных затрат, поэтому возникает необходимость создания оборудования неразрушающего контроля для определения расслоенных областей фанеры на ранних стадиях производства или контроля ее качества на конечных стадиях.

Предложен метод автоматизированной маркировки и селективной сортировки фанеры на конечном этапе производства по количеству наличествующих дефектов, который позволяет существенно ускорить процесс дефектоскопии.

**Ключевые слова:** фанера, неразрушающий контроль, метод свободных колебаний, селективная сортировка.

### Baranova O S., Vasilenko M.P., Skrypnyk I.Yu., Golovach V.M. Non-destructive Acoustic Quality Control of Plywood with Automated Selective Sorting

The problem of plywood internal defects detection with the next selective sorting depending on the number of defects is studied. Nowadays the most common method of plywood non-destructive testing is the manual acoustic method. Such method is time-consuming, so it is necessary to create the non-destructive testing equipment to detect the bundle defect at the early production stages or to perform the quality control at the final production stages. The method automated defects marking and selective sorting of plywood at the final production stages by the number of detected defects that allow increasing the non-destructive testing speed is proposed.

**Keywords:** plywood, non-destructive testing, free oscillations method, selective sorting.

УДК 621.9:048.6

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ МАТРИЦІ ВИРУБНОГО ШТАМПУ

М.В. Бойко<sup>1</sup>, О.Т. Велика<sup>2</sup>, С.Є. Ляковська<sup>3</sup>, Н.-Т.І. Великий<sup>4</sup>

Проведено розрахунок конструкції матриці вирубного штампу на міцність і жорсткість методом скінчених елементів. Для цього побудовано 3D модель матриці і виконано розрахунок за допомогою прикладної бібліотеки APMFEM, яка призначена для виконання експрес-розрахунків твердотільних об'єктів у системі КОМПАС-3D і візуалізації результатів цих розрахунків. На основі аналізу отриманих результатів оптимізовано існуючу конструкцію матриці, яка задовольняє умови її експлуатації. Запропонований аналіз розрахунку дає змогу перейти до вдосконаленого варіанта конструкції матриці, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження по периметру контуру деталі, яка вирубується.

**Ключові слова:** матриця, вирубний штамп, пуансон, скінченно-елементний аналіз.

**Вступ.** Штамп – інструмент, призначений для надання деталі заданої конфігурації за допомогою пластичної деформації заготовки або поділом її на частини. Для кожної деталі потрібен свій штамп. Класифікують штампи за технологічними і конструктивними ознаками.

До технологічних належать: виконувана операція – вирубування, гнуття, витяжка; ступінь складності операцій (поєднання операцій). До конструктивних ознак належать: способи з'єднання робочих частин, фіксація заготовок, методи знімання та видалення виробів у процесі штамповки.

Назву штампу визначає виконувана операція: вирубку виконують на вирубних штампах, витяжку – витяжними, згинання – згинальними і т. ін. Принципова відмінність цих штамів полягає в конструкції деталей технологічного призначення – пуансона та матриці [1]. Вирубкою називають вирізування матеріалу по замкнутому контурі на пресах із застосуванням штамів для отримання зовнішнього контуру деталі.

<sup>1</sup> ст. викл. М.В. Бойко – НУ "Львівська політехніка";

<sup>2</sup> доц. О.Т. Велика, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

<sup>3</sup> асист. С.Є. Ляковська, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

<sup>4</sup> студ. Н.-Т.І. Великий – НУ "Львівська політехніка"

Робоча частина пуансона вирубного штампа відповідає формі контура деталі, яка вирубуеться. Матриця штампу має отвір, який відповідає контуру пуансона із заданим зазором, який залежить від товщини матеріалу деталі. Заготовкою для вирубки є листовий матеріал. Вирубкою отримують зовнішній контур деталі, а також внутрішні контури – отвори. За якістю поверхні розрізняють звичайну і чистову вирубку. У технологічному процесі використовують, відповідно, вирубні штампи і пробивні штампи.

Конструкція деталі та її функціональне призначення у складальній одиниці впливають на прийняття багатьох технічних рішень під час побудови технологічного процесу її механічного оброблення. Перед подачею деталі на виробництво потрібно, проаналізувавши складальне креслення та конструкцію деталі, виявити проблемні ділянки, усунути вузькі місця в її небезпечних перерізах. Тому під час проектування треба уявляти конструкцію деталі, її призначення у складальній одиниці, принцип роботи, взаємодію з іншими деталями. Важливим етапом є побудова креслення деталі, розроблення 3D моделі, розрахунок її на міцність та жорсткість.

У роботах [3, 4] виконано потрібні розрахунки, які вирішували подібні проблеми під час конструювання технологічного оснащення. Так, у роботі [3] методом скінченних елементів проведено розрахунок прямокутної матриці прес-форми на міцність і жорсткість.

**Методика розв'язування.** Під час проектування оснащення на виробництві для скорочення терміну проектування, часто як аналог використовують раніше спроектоване оснащення штампу на деталь, яка за конфігурацією подібна на деталь, для якої проектується штамп. Здебільшого, в разі використання такого аналогу для нового проекту розрахунки не виконують, а лише коректують саму конфігурацію на робочих кресленнях. Тому прорахунки, допущені під час конструювання такого оснащення, виявляються вже під час її експлуатації. У нашому випадку в процесі експлуатації виникає руйнування елемента матриці, яка формує зовнішній контур.

Матриця є однією із основних деталей, під час проектування якої відбувається процес формування виробів з будь-яких листових матеріалів. Одним з основних кроків покращення конструкції матриці та запобігання її руйнуванню у процесі експлуатації полягає в усуненні вузьких місць у "небезпечних" перерізах. Геометрія деталі визначає конфігурацію матриці. Досліджувану конструкцію матриці вирубного штампу, яка в процесі експлуатації руйнувалась, показано на рис. 1.

Потрібно оптимізувати існуючу конструкцію матриці так, щоб вона задовольняла умови її експлуатації.

Використаємо для дослідження та аналізу напружено-деформованого стану матриці вирубного штампу на міцність і жорсткість метод скінченних елементів САЕ системи. Провівши розрахунки цієї конструкції матриці методом скінченних елементів, визначаємо проблемні ділянки матриці, де є висока ймовірність її руйнування. Метод скінченних елементів (МСКЕ або FEM – Finite Element Method) сьогодні широко використовують для вирішення різних завдань механіки деформованого твердого тіла, зокрема – для виконання експрес-розрахунків на міцність на етапі 3D-проектування конструкцій.

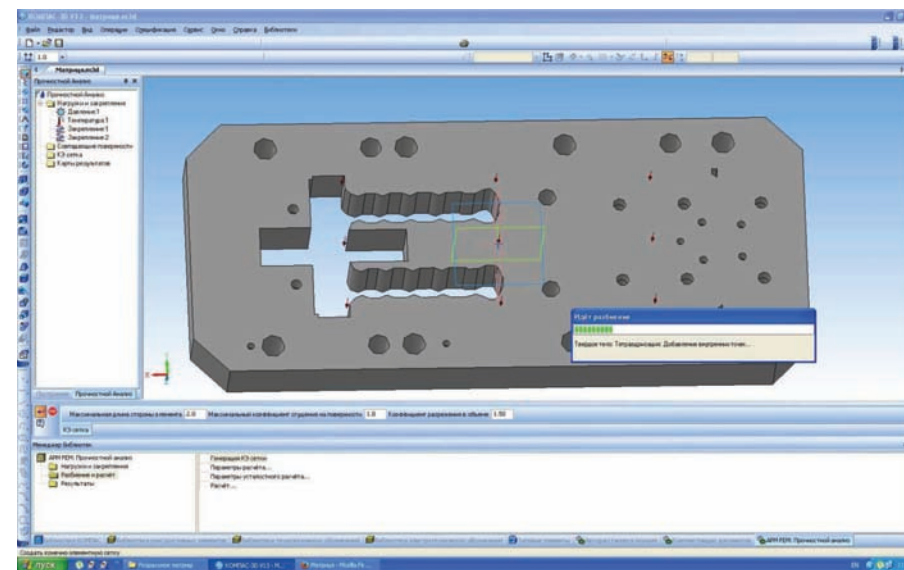


Рис. 1. Конструкція досліджуваної матриці вирубного штампу

Суть методу полягає в розбитті твердотільної моделі на скінченну кількість підобластей (елементів), складанні і подальшому розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Більшість сучасних САЕ-систем має спеціальні інструменти, призначені для автоматизації подібних розрахунків. Алгоритм автоматизованого розрахунку матриці вирубного штампу охоплює такі основні етапи [2]:

- спочатку проектується в 3D модулі САЕ системи тривимірний модель матриці, для якої потрібно провести розрахунок (див. рис. 1);
- для проведення розрахунків, у САЕ системі задаються такі параметри запроєктованої моделі: матеріал деталі, площі і форми поперечного перерізу, її закріплення та навантаження, які виникають у процесі виготовлення;
- вибирається тип скінченно-елементного аналізу (статичний чи динамічний), тип та розмір скінченних елементів, точність майбутнього розрахунку тощо;
- на останньому етапі в автоматичному режимі, закритому від користувача, відповідно до вхідних даних виконується розрахунок моделі деталі на міцність (система вибирає вузли в об'ємі деталі, розбиває деталь на кінцеві елементи, нумерує вузли, будує матрицю елементів, складає рівняння розрахунків). Результати розрахунку відображаються у вигляді табличних даних та візуальних епюр.

Для розрахунку використаємо прикладну бібліотеку APM FEM, яка призначена для виконання експрес-розрахунків твердотільних об'єктів у системі КОМПАС-3D і візуалізації результатів цих розрахунків. До складу APM FEM входять інструменти підготовки деталей і складань до розрахунків, задання граничних умов і навантажень, а також вбудовані генератори скінченно-елементної (СКЕ) сітки (як з постійним, так і зі змінним кроком) і постпроцесор. Цей функціональний набір дає змогу змоделювати твердотільний об'єкт і комплекс



сно проаналізувати поведінку розрахункової моделі за різних дій з погляду статички, власних частот, стійкості і теплового навантаження.

Для створення скінченно-елементного подання об'єкта в АРМ FEM передбачена функція генерації СКЕ-сітки, при виклику якої відбувається відповідне розбиття об'єкта із заданим кроком. Якщо створена розрахункова модель має складні нерівномірні геометричні переходи, то може бути проведене т. зв. адаптивне розбиття. Для того, щоб результат процесу був якіснішим, генератор СКЕ-сітки автоматично (з урахуванням заданого користувачем максимального коефіцієнта згущення) варіює величину кроку розбиття.

**Результати дослідження.** Для виконання розрахунку побудуємо в КОМПАС-3D модель матриці (див. рис. 1). Далі запускаємо прикладну бібліотеку АРМ FEM, яка знаходиться в розділі "Расчет и построение" Менеджера бібліотек. Для розбиття моделі на елементи потрібно виконати команду бібліотеки "Генерация КЭ сетки". Після побудови сітки виконаємо команду бібліотеки "Расчет". В меню типу розрахунку виберемо "Статический расчет". Для візуалізації і аналізу результатів розрахунку виконаємо команду бібліотеки "Карта результатов", яку подано на рис. 2.

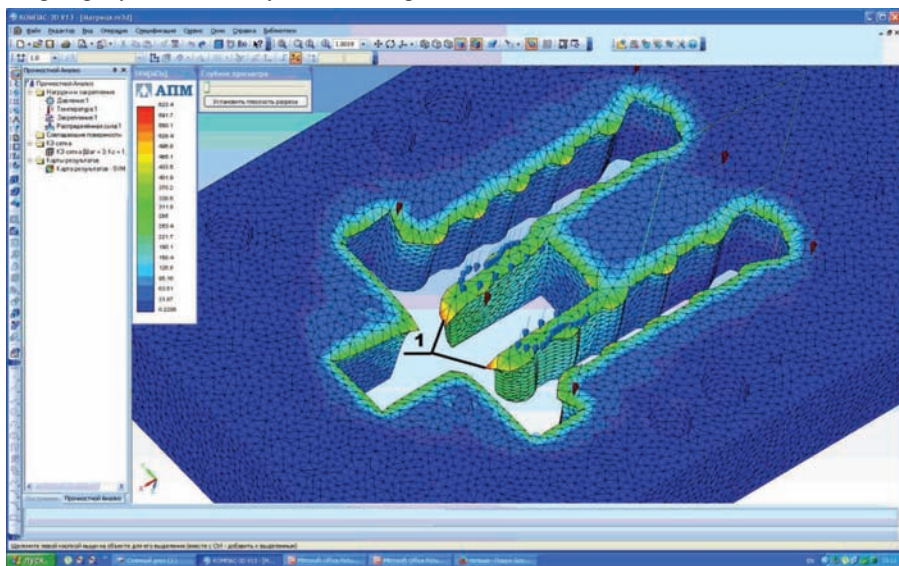


Рис. 2. Тривимірна модель досліджуваної матриці штамп, з результатами отриманих розрахунків

Аналізуючи карту результатів розрахунку, виявляємо проблемні ділянки матриці вздовж її контуру, які сприймають найбільше навантаження під час вирубки деталі (зона 1). Тому ця ділянка контуру матриці часто руйнується, що призводить до зупинки виробництва. Для усунення цієї проблеми розробляємо модель матриці, в якій частина контуру деталі із проблемної зони буде вирубуватися на попередньому кроці (рис. 3) (зона 2).

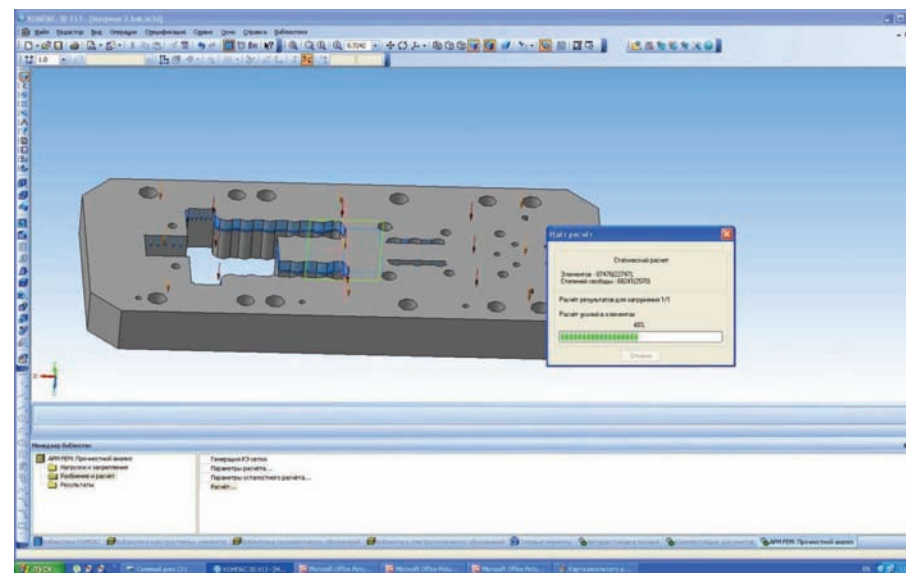


Рис. 3. Модернізована конструкція матриці вирубного штамп

Для перевірки правильності рішення щодо зміни конструкції матриці проведемо аналогічні розрахунки для модернізованої матриці вирубного штамп (рис. 4). У діалоговому режимі з САЕ/CAD системою виконуються нові скінченно-елементні розрахунки, з метою досягнення потрібного результату для забезпечення необхідної надійності експлуатації майбутнього виробу.

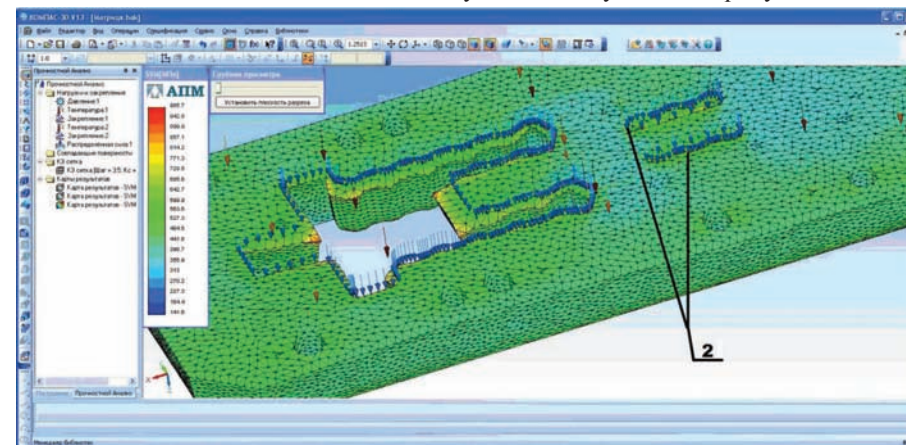


Рис. 4. Віртуальні результати деформаційного розрахунку модернізованої конструкції матриці

Проаналізувавши карту нових результатів розрахунків, бачимо, що вдалося підвищити експлуатаційні характеристики матриці, а відтак і штамп загалом.

**Висновки.** Запропонований аналіз розрахунку дає змогу перейти до вдосконаленого кращого варіанта конструкції матриці, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження по периметру контуру деталі, яка вирубється. На основі отриманих результатів виконаних автоматизованих розрахунків розроблено покращену конструкцію матриці, що має кращі експлуатаційні властивості завдяки відсутності проблемних ділянок, які були в попередній конструкції матриці.

### Література

1. Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства в машиностроении / под ред. О.И. Семепкова. – В 2-х т. – Т. 2. – Минск : Изд-во "Высшейшая шк.", 1977. – 334 с.
2. Алямовский А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов и др. – СПб. : Изд-во БХВ "Петербург". – 2006. – 799 с.
3. Велика О.Т. Розрахунок прямокутної матриці прес-форми на міцність і жорсткість / О.Т. Велика, В.Г. Топільницький, М.В. Бойко, Р.В. Лампіка // Автоматизація виробничих процесів в машинобудуванні та приладобудуванні : Міжгалузевий зб. наук. праць. – 2010. – Вип. 44. – С. 74-79.
4. Велика О.Т. Оптимізація геометричних параметрів під час розрахунків деталей у середовищі CAD/CAE AutoCADMechanical 2006 / О.Т. Велика, С.Є. Лясковська // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2012. – № 729. – С. 80-85.

Надійшла до редакції 26.05.2016 р.

### **Бойко М.В., Велика О.Т., Лясковська С.Є., Великий Н.-Т.И. Исследование и оптимизация конструктивных параметров матрицы вырубного штампа**

Проведен расчет конструкции матрицы вырубного штампа на прочность и жесткость методом конечных элементов. Для этого построена 3D модель матрицы и выполнен расчет с помощью прикладной библиотеки APM FEM, которая предназначена для выполнения экспресс-расчетов твердотельных объектов в системе КОМПАС-3D и визуализации результатов этих расчетов. На основе анализа полученных результатов оптимизирована существующая конструкция матрицы, удовлетворяющая условиям ее эксплуатации. Предложенный метод расчета позволяет перейти к усовершенствованному лучшему варианту конструкции матрицы, обеспечивает равномерное распределение нагрузки по периметру контура детали, которая вырубается.

**Ключевые слова:** матрица, вырубной штамп, пуансон, конечно-элементный анализ.

### **Bojko M.V, Velyka O.T., Liaskovska S.Ye., Velykyj N.-T.I. The Research and Optimization of the Design Parameters of Notching Stamp Matrix**

The calculation of the design of the matrix for notching stamp for the strength and stiffness by finite element method is done. That's why we built 3D model of the matrix and calculation is made using Applied Library APM FEM, which is designed to perform rapid calculations of solid objects in KOMPAS-3D and visualization of the results of these calculations. Based on the analysis of the results, existing design matrix that satisfies the conditions of its operation is optimized.

**Keywords:** matrix, notching stamp, puncheon, finite element analiz.

### УДК 629.113

## РЕЗОНАНСНІ КОЛИВАННЯ ПРИЧЕПА ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*І.І. Верхола<sup>1</sup>, А.О. Дзюба<sup>2</sup>*

Розглянуто задачу про вертикальні коливання причепа для перевезення вантажів спеціального призначення. Для фізичної моделі зазначеного об'єкта, що є двомасовою системою, побудовано, за обґрунтованих припущень, математичну модель коливань; розроблено методику побудови її аналітичного розв'язку. Як наслідок, отримано: а) умову резонансного переміщення причепа вздовж впорядкованої системи нерівностей; б) аналітичні залежності, які описують визначальні параметри коливань як підресореної, так і непідресореної мас для нерезонансного та резонансного випадків.

**Ключові слова:** непідресорена та підресорена маси, амплітуда та частота коливань, явище резонансу.

**Аналіз останніх досліджень.** Для захисту людей і вантажів від перевантажень, зумовлених рухом транспортних засобів (ТЗ) вздовж шляху із нерівностями, використовують різні типи систем підресорювання (СП): пружинні (ресорні), торсіонні, пневматичні [1-4] та ін. Кожній із них відповідає певний закон зміни відновлювальної сили, а значить різні особливості коливань підресореної маси (ПМ), а отже – динамічні навантаження на вантажі. Встановити останні вдається тією чи іншою мірою на базі аналітичних методів дослідження або чисельної симуляції відповідних математичних моделей [5, 6] динаміки ПМ – непідресорена маса. Щодо аналітичних методів дослідження, то вони отримали ґрунтовний розвиток для нескладних розрахункових (фізичних) моделей динаміки ТЗ та лінійних законів зміни відновлювальної сили пружних елементів і сили опору демпферних пристроїв СП. Основні результати, які впливають із них, обґрунтовані для незначних за величиною переміщень підресореної та непідресореної мас. У випадку, коли ТЗ рухається вздовж шляху із значними нерівностями, результати, отримані на базі формальної лінеаризації нелінійних силових характеристик СП (та пневматичних шин – для більш складних розрахункових моделей), не завжди відповідають реальному процесу коливань підресореної та непідресореної мас. Із останнього випливає потреба розроблення уточнених математичних моделей процесу та створення для них аналітичного (навіть наближеного) апарату їх інтегрування.

Для таких систем лише в окремих випадках нелінійних пружних сил [7] вдалося встановити низку особливостей коливань ПМ. Разом з тим, для транспортування великогабаритних віброчутливих (небезпечних) вантажів чи об'єктів, у багатьох випадках, використовують спеціальні причепа чи напівпричепа. Дослідженням динаміки таких систем приділено значно менше уваги. Зокрема, у [8-10] для перевезення небезпечних вантажів запропоновано на причепах встановлювати додаткову систему віброзахисту, т. зв. систему квазінульової жорсткості. Такі системи захисту можна використовувати для транспортування ванта-

<sup>1</sup> доц. І.І. Верхола, канд. техн. наук – Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного;  
<sup>2</sup> заст. нач. факультету, підполковник А.О. Дзюба – Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного