

УДК 621.777.01

Я.В. Іванчук, к.т.н., доцент  
Вінницький національний технічний університет

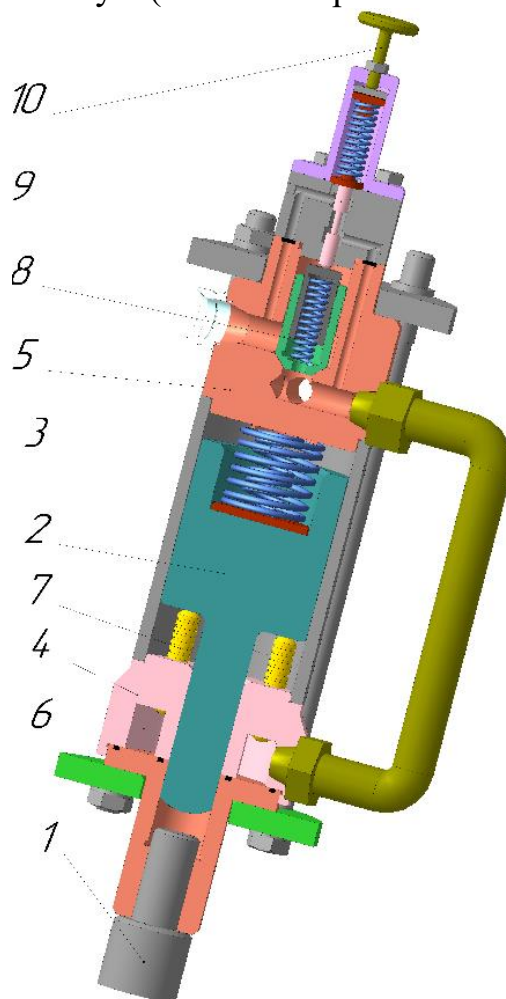
## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ ВІБРОУДАРНИМ ПРИСТРОЄМ

Застосування ударних машин для руйнування гірських порід відкрило шлях, на якому суттєвий продуктивності досягається не за рахунок нарощування потужності базових машин, а за рахунок збільшення енергії одиничних ударів, нарощування частоти ударів при повному використанні потужності базових машин. Проте досвід застосування машин ударної дії спонукав до створення розв'язку ряду проблем, розуміння яких неможливо без аналізу впливу на ударних імпульсів на руйнуюче середовище, без аналізу динаміки навісного обладнання і всієї машини під дією навантажень від робочого ударного механізму [1, 2]. Тому побудова математичної моделі, яка дозволить досліджувати технологічний процес руйнування гірської породи при імпульсному навантаженні на різних режимах роботи гідроімпульсного привода віброударного пристрою з метою визначення основних робочих характеристик є актуальною задачею.

У Вінницькому національному технічному університеті на кафедрі галузевого машинобудування для ефективного руйнування гірських порід на базі гідроімпульсного привода (ГІП) з двокаскадним клапаном пульсатором [3, 4]. На рисунку 1 представлена тривимірна САD-модель навісного віброударного пристрою на базі ГІП.

Навісний віброударний пристрій складається із робочого органу 1 (долото із конічним наконечником) на верхню основу якого прикладається періодичне ударне навантаження ударною масою 2 під дією сил тяжіння і сил повернення пружного елемента 3. Зворотно-поступальний рух ударної маси 2 відбувається за рахунок дії гідроімпульсного привода, який складається із гідроциліндра 4 і генератора імпульсів тиску 5 (двокаскадного клапана-пульсатора). У робочій порожнині (див. рис. 1) гідроциліндра 4 створюється періодична зміна тиску амплітудою  $\Delta p = p_1 - p_2$ , яка передається на плунжера гідроциліндра 7. У свою чергу плунжера, під дією поточного тиску в порожнині 6 гідроциліндра 4, переміщує ударну масу 2, що спричиняє деформацію пружного елемента 3 і накопиченню потенційної енергії від сил тяжіння. Після відкриття клапану другого каскаду 8 відбувається злив робочої рідини, що спричиняє падіння тиску у робочій порожнині гідроциліндра 4. При цьому відбувається переміщення ударної маси 2 у початкове положення, що спричиняє ударну взаємодію із робочим органом 1. Енергія ударної взаємодії складається із потенційної енергії сил повернення пружного елемента 3 і сил тяжіння ударної маси 2. Налагодження

тиску спрацювання  $p_2$  генератора імпульсів тиску 5 залежить від налагодження пружини 10, а регулювання з'єднанням напірної гідролінії зі зливною клапаном другого каскаду 8 (скидання робочого тиску до тиску  $p_1$ ) відбувається за допомогою запірною елементу 9 (клапана першого каскаду) у вигляді золотника.



*Рисунок 1 – Тривимірний модель навісного віброударного пристрою на базі ГПП*

Загальна математична модель технологічного процесу руйнування гірської породи за допомогою віброударного пристрою на базі ГПП складається окремо із математичної моделі гідродинамічних процесів в ГПП [5], математичної моделі ударної взаємодії робочого органу і ударної маси на базі моделі Сірса [6], а також математичної моделі напружено-деформованого стану гірської породи і самого робочого органу.

За допомогою сучасних комп'ютерних систем на потужностях обчислювальних кластерів КС Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України за допомогою методами чисельного моделювання на базі відомих програмних комплексів FlowVision [1], Matlab Simulink [2, 7] і APM Structure [5, 7] були реалізовані наведені вище математичні моделі. Результатами моделювання є розподіл тиску в робочій порожнині ГПП віброударного пристрою, а також її швидкості (рис. 2).

Наступними результатами розрахунку є діаграми робочих параметрів ГПП (рис. 3), а саме: діаграми зміни переміщення (рис. 3, а) і швидкості (рис. 3, б) відповідних рухомих елементів ГПП.

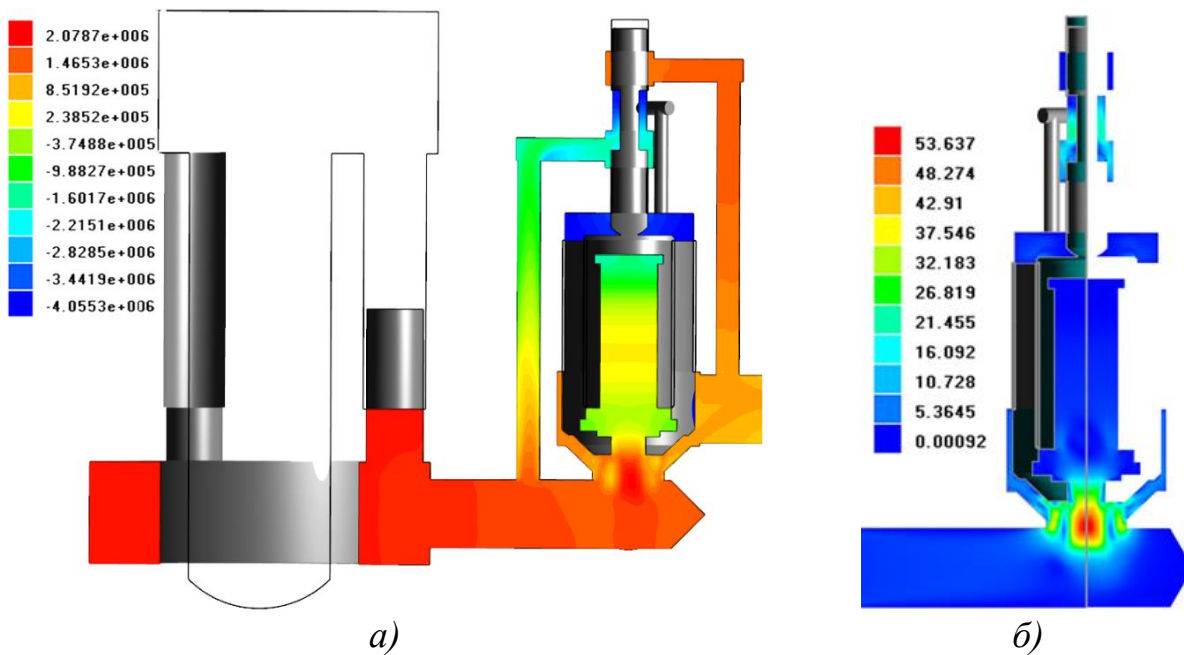
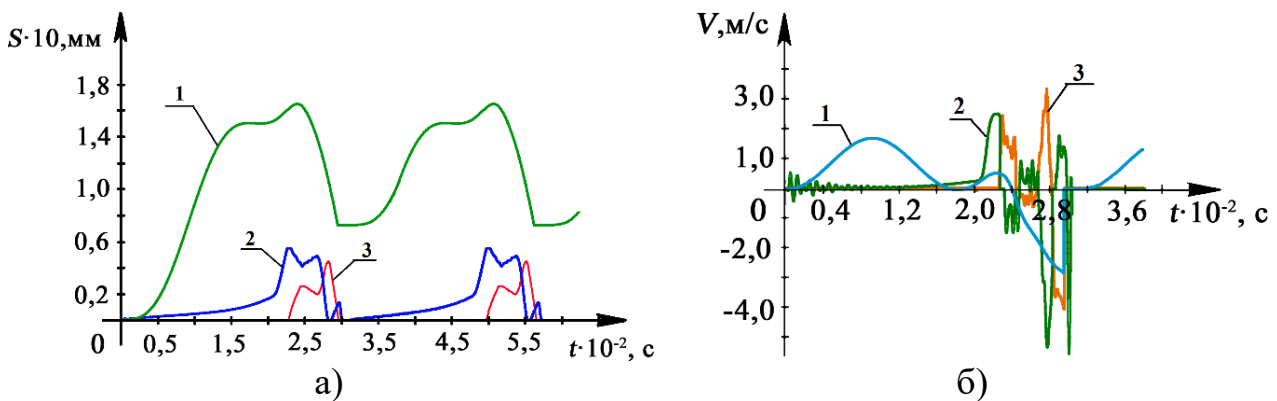


Рисунок 2 – Розподіл тиску (а) і швидкості (б) в робочій порожнині ГПП віброударного пристрою



1 – ударна маса; 2 – клапан першого каскаду; 3 – клапан другого каскаду  
Рисунок 3 – Діаграми зміни робочих параметрів ГПП: а) зміни переміщення; б) зміни швидкості

На основі приведених розрахунків елементів ГПП за допомогою технології FSI [5, 7, 8] в програмі APM Structure визначили напружено-деформований стан виконавчого органу віброударного пристрою (рис. 4, а) і самої оброблювальної породи (рис. 4, б).

Порівнюючи власні частоти коливань виконавчого органу (163 Hz, 344 Hz) віброударного пристрою (див. рис. 4, а) і частоту роботи самого пристрою (34 Hz) можна прийти до висновку, що негативні резонансні явища не спостерігаються. Також можна замітити виникнення екстремальних напружень у самій гірській породі, що піддається віброударному руйнуванню.

**Висновки.** Розроблено ефективну конструкцію віброударного пристрою на базі ГПП в основі якого є двокаскадний клапан-пульсатор, для реалізації найбільш ефективних режимів імпульсного впливу на оброблювані середовища.

Отримані результати чисельного моделювання технологічних процесів віброударного руйнування гірських порід віброударним пристроєм на базі ГПП,

показав переваги обраного підходу до проектування, а також дозволив довести ефективність розробленої конструкції ГПІ, на базі двокаскадного клапана-пульсатора.

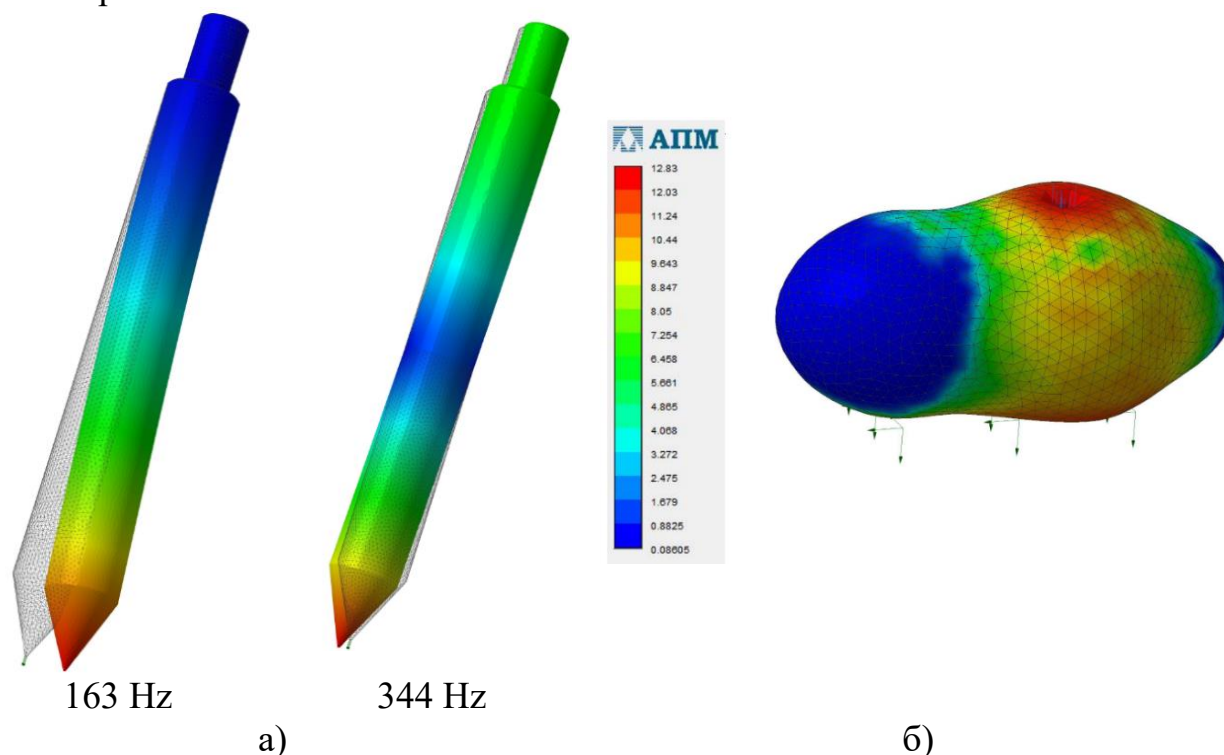


Рисунок 4 – Напружено-деформований стан елементів віброударного пристрою: а) власні частоти коливань робочого органу; б) гірської породи

#### Література

1. Іскович-Лотоцький Р.Д. Вібраційні та віброударні пристрої для розвантаження транспортних засобів : монографія / Р.Д. Іскович-Лотоцький, Я.В. Іванчук. – Вінниця : Вінниця, 2012. – 155 с.
2. Іскович-Лотоцький Р.Д. Технологія моделювання оцінки параметрів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом : монографія / Р.Д. Іскович-Лотоцький, О.В. Зелінська, Я.В. Іванчук. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 152 с.
3. Веселовська Н.Р. Загальні принципи побудови і дослідження детермінованих моделей вібраційних та віброударних машин з гідроімпульсним приводом / Н.Р. Веселовська, О.В. Зелінська, Я.В. Іванчук // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця, 2018. – № 4 (91). – С. 21 – 28.
4. Іванчук Я.В. Математичний метод визначення стійкості коливальних систем під дією зовнішнього вібраційного навантаження / Я.В. Іванчук // Технічні науки та технології : науковий журнал / Чернігів. нац. техн. ун-т. – Чернігів : ЧНТУ, 2018. – № 2 (12). – с. 25 – 33 . doi: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-25-33.
5. Іскович-Лотоцький Р.Д. Моделювання процесу оброблення дрібнодисперсних деревинних матеріалів під дією вібраційного і віброударного навантаження / Р.Д. Іскович–Лотоцький, Я.В. Іванчук, Я.П. Веселовський // Науковий вісник НЛТУ України: збірник наукових праць. – Львів. – 2018. – Том

28, № 5. – С. 124 – 129. doi: 10.15421/40280526.

6. Іскович–Лотоцький Р.Д. Оптимізація конструктивних параметрів інерційного вібропрес–молота // Р.Д. Іскович–Лотоцький, Я.В. Іванчук, Я.П. Веселовський // Вісник машинобудування та транспорту. – 2016. – №2. – С. 43 – 50.

7. Іскович–Лотоцький Р.Д. Моделювання робочих процесів в піролізній установці для утилізації відходів / Р.Д. Іскович–Лотоцький, Я.В. Іванчук, Я.П. Веселовський // Східно–європейський журнал передових технологій. – Харків, 2016. – Том 1, № 8(79). – С.11 – 20. doi: 10.15587/1729-4061.2016.59419.

8. Іскович–Лотоцький Р.Д. Моделювання робочих процесів гідроімпульсного привода з однокаскадним клапаном пульсатором [Текст] / Р.Д. Іскович–Лотоцький, Я.В. Іванчук, Я.П. Веселовський // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця, 2017. – № 3(86). – С.10 – 19.

## УДК 693.542.523

*І.І. Назаренко, д.т.н., професор  
М.О. Клименко, к.т.н., доцент  
В.І. Лесько, доцент  
А.І. Чичур, к.т.н.*

*Київський національний університет будівництва і архітектури*

## **ІМОВІРНІСНА ПРОСТОРОВА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ В ГРАВІТАЦІЙНИХ БЕТНОЗМІШУВАЧАХ**

Попередні дослідження з підвищення ефективності бетонозмішувачів гравітаційного та примусового перемішування [3] вказують, що суттєвого поліпшення можна досягти шляхом застосування раціональних конструкторських і технологічних параметрів змішувачів, а саме форма і кут нахилу змішувального барабана, змішувальних лопатей тощо.

Розміри і кут нахилу барабана приймається основною варіативною складовою процесу перемішування, який і визначає продуктивність змішувача і, як наслідок, його технічні параметри: потужність привода, геометрію змішувальної камери, тощо. На характер роботи гравітаційного змішувача впливають крім того розміри, кут нахилу і форма лопатей.

Таким чином, до основних показників ефективності роботи гравітаційного барабанного змішувача, що підлягають визначенню в процесі теоретичних та експериментальних досліджень, відносяться:

- розміри і форма барабана;
- кут нахилу барабана;
- частота обертання барабана та час, за який досягається однорідність;
- потужність привода на перемішування.

Оскільки розміри і кут нахилу барабана є технологічними параметрами і безпосередньо впливають на якість суміші і переміщення перемішувального середовища, то в процесі теоретичного дослідження визначаються їх раціональна