

2. Zakladnyi O.M., Zakladnyi O.O.. Vplyv sposobiv keruvannya inverterom ventyl'nogo dvyguna na vstanovlenu potugnist' elektroobladnannya// Informatsiynyy zbirnyk «Promyslova elektroenergetyka ta elektrotehnika» Promelektro. 2008. №4. S. 20-25.

3. Hong-Gyun Lee, Jung-Chul Lee, Su-Myeong Nam, Jung-Sik Choi, Jae-Sub Ko, Dong-Hwa Chung, “The Speed Control and Estimation of IPMSM using Adaptive FNN and ANN”, ICCAS2005, June 2-5 2012, KINTEX, Gyeonggi-Do, Korea.

УДК 621.311.001.57(063)

**О.А. Закладной**, канд. техн. наук, доцент;

**А.Н. Закладной**, канд. техн. наук, доцент;

**Д.Ю. Могилат, В.Г. Смоляр**

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»  
УПРАВЛЕНИЕ ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ЭЛЕКТРОПОГРУЗЧИКА С ПОМОЩЬЮ  
ФАЗЗИ-НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

*Исследованы две виртуальные модели электропривода с вентильным двигателем для электропогрузчика в среде MATLAB: первая – с подчиненным управлением и двумя регуляторами – скорости и тока, вторая – с регулятором на основе фаззи-нейронной сети. Показано, что для электропогрузчика наиболее целесообразным является использование управления фаззи-нейронной сетью, которая имеет лучшие динамические показатели и удовлетворяет условиям энергоэффективности.*

**Ключевые слова:** вентильный двигатель, фаззи-нейронная сеть, электропогрузчик, система управления, виртуальная модель электропривода.

Надійшла 26.08.2014

Received 26.08.2014

УДК 622.531: 004.4

**Л.К. Лістовщик**, канд. техн. наук

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОБОЙКОВОЇ УДАРНОЇ СИСТЕМИ В  
СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS SIMULATION**

*Наведено математичну модель двобойкової ударної системи, в якій один бойок є керованим, а інший – некерованим, інерційним. Визначена умова ефективного використання такої ударної системи з точки зору найбільш повної передачі енергії деформації в породу. Метою роботи є визначення міцнісних характеристик ударних мас при генерації ними ударного навантаження в залежності від швидкості стівудару та масово-геометричних показників за допомогою програмної оболонки SolidWorks Simulation. Отримані за допомогою моделювання деформації та механічні напруження в елементах ударної системи дозволяють зробити висновки щодо раціонального вибору швидкісних та масових параметрів ударної системи, підібрати матеріал бойків та значно скоротити матеріальні і часові витрати на моделювання і випробування.*

**Ключові слова:** удар, силова імпульсна система, SolidWorks Simulation, напруження, деформації.

**Вступ**

Машини ударної дії широко використовуються в промисловості для руйнування порід, валунів, негабаритів. Такі машини забезпечують високу концентрацію навантаження на локальній ділянці і по енергоємності руйнування (17-25 Дж/см<sup>3</sup>) поступають лише вибухові (6 Дж/см<sup>3</sup>) [1]. Перевагами ударних машин є універсальність, здатність руйнувати міцні матеріали при малій масі і габаритах, що обумовлює їх високу мобільність. Застосування таких машин у вугільній, гірничорудній, будівельній, металообробній та інших галузях промисловості дозволяє механізувати багато трудомістких технологічних процесів і збільшити в 1,5...2 рази продуктивність у порівнянні з ручною працею при одночасному підвищенні якості робіт.

В останні десятиліття інтенсивно ведуться науково-дослідні і проектно-конструкторські роботи зі

створення машин ударної дії з гідравлічним, пневматичним, електричним, бензиновим приводом. Застосування їх в якості виконавчих органів гірничих, дорожніх, будівельних і інших машин вимагає удосконалення основних техніко-економічних показників, підвищення ККД руйнування породи, зниження експлуатаційних витрат, зменшення шуму, вібрації.

З розвитком обчислювальної техніки з'являється все більше можливостей суттєво зменшити витрати на стадії проектування і дослідження нового зразка, шляхом заміни виготовлення експериментального зразка ударної машини та її стендові випробування на віртуальне дослідження в одній із оболонок систем автоматизованого проектування. Тому проблема адекватного віртуального дослідження ударних систем з метою створення і удосконалення ударної системи з точки зору енергоефективності актуальна і своєчасна.

#### Математична модель

Двобойкові ударні системи є відомими і різноманітними за конструкцією, але доведені до промислових зразків лише одиниці. Основною перешкодою в розповсюдженні двобойкових ударних систем є складність реалізації погодженого руху бойків. Одним з варіантів реалізації є двобойкова ударна система, в якій лише один боек керується, а інший є інерційним [2].

В такому випадку ударна взаємодія двобойкової ударної системи з інструментом має вид (рис. 1):

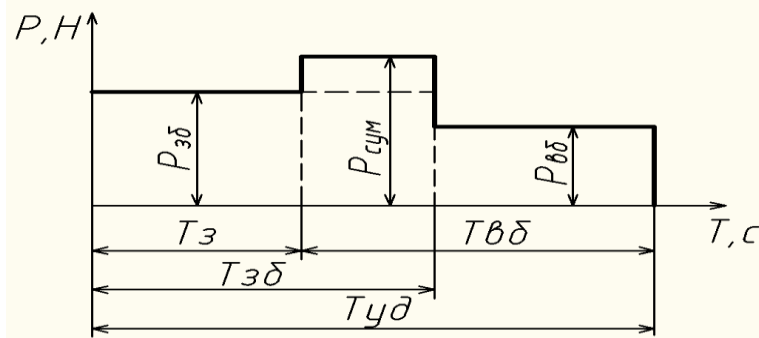


Рис. 1. Складовий ударний імпульс створений двобойковою ударною системою:

$P_{зб}$  – зусилля в імпульсі від зовнішнього бойка;  $P_{вб}$  – зусилля в імпульсі від внутрішнього бойка;  $P_{сум}$  – сумарне зусилля від обох бойків;  $T_{зб}$  – період ударного навантаження від зовнішнього бойка;  $T_{вб}$  – період ударного навантаження від внутрішнього бойка;  $T_z$  – період руху внутрішнього бойка після контакту зовнішнього з інструментом;  $T_{уд}$  – період складового ударного імпульсу.

Першим в ударну взаємодію з інструментом вступає зовнішній боек і генерує в інструменті ударний імпульс з наступними параметрами:

$$T_{зб} = \frac{2L_{зб}}{a},$$

де  $L_{зб}$  – довжина зовнішнього бойка, м;  $a$  – швидкість звуку в матеріалі бойка, м/с.

Внутрішній боек ударяє з деяким запізненням в часі  $T_z$ . Параметри імпульсу:

$$T_{вб} = \frac{2L_{вб}}{a},$$

де  $L_{вб}$  – довжина внутрішнього бойка, м.

При такій схемі можливі два варіанти роботи двобойкової ударної системи:

-  $T_z > T_{зб}$ . В такому випадку система формує два послідовні імпульси деформації. Але в проміжку між слідуванням імпульсів, порода в зоні контакту інструмента з масивом встигає розвантажитись. Такий режим може використовуватись як один із способів підвищення частоти ударів.

-  $T_z \leq T_{зб}$ . Імпульси від зовнішнього і внутрішнього бойків накладаються в деякому діапазоні і формують в інструменті складовий ударний імпульс, основні параметри якого визначаються інтервалом слідування імпульсів  $T_z$ , а період складового імпульса визначається як:

$$T_{уд} = T_z + T_{вб},$$

або

$$T_{уд} = \frac{L_l}{V_0} + \frac{2L_{вб}}{a},$$

де  $L_l$  – зазор між бойками, м;  $V_0$  – передударна швидкість бойків, м/с.

Звідки необхідний зазор при відомих геометричних параметрах бойків буде визначатись як:

$$L_l = T_{уд} V_0 - \frac{2L_{вб} V_0}{a} \quad (1)$$

Виходячи з залежності (1) введена умова ефективного використання двобойкової ударної системи:

$$T_3 \leq T_{36}$$

Оскільки розглядається циклічна система, то при невиконанні даної умови внутрішній боек взаємодіє з зовнішнім вже під час розвантаження породи від ударного навантаження зовнішнього бойка. При зменшенні маси внутрішнього бойка цей режим може бути використаний в процесі динамічного віброгасіння, або як засіб для підвищення частоти ударів [2].

### Моделювання

Поряд із задачами раціонального розподілення подвійних ударів у часі існує також актуальна задача раціонального режиму роботи з точки зору забезпечення міцнісних характеристик системи. У багатьох роботах, наприклад [1, 2], теоретично і практично доведено, що з метою збільшення ударного навантаження на породу перевагу слід надавати збільшенню передударної швидкості. Але, з іншого боку, існує обмеження максимальної швидкості через потенційне виникнення пластичної деформації мас, які співударяються. В модулі SolidWorks Simulation існує можливість моделювання процесу удару двобойкової системи, та знаходження деформацій і напружень в ударних масах при ударі [3]. Вхідними параметрами для такого дослідження є матеріал бойків, швидкість співудару та жорсткість елемента, по якому відбувається удар. Вихідними параметрами є фіксація епюр еквівалентних напружень за Мізесом та деформацій елементів ударної системи.

Отримані при дослідженні результати моделювання дозволяють зробити висновки про запас міцності та небезпечні перерізи, в яких напруження перевищує межу текучості матеріалу, а отже дають змогу змінити геометричну конфігурацію моделі або вхідні параметри дослідження на більш прийнятні. На рис. 2 наведено результати дослідження двобойкової ударної системи у вигляді епюр перерізів у найбільш інформативних місцях ударної системи. Вхідними умовами є зазор між бойками, який відповідає умові ефективного використання системи, передударна швидкість – 7 м/с, матеріал виготовлення бойків – сталь з межею текучості 620 МПа.

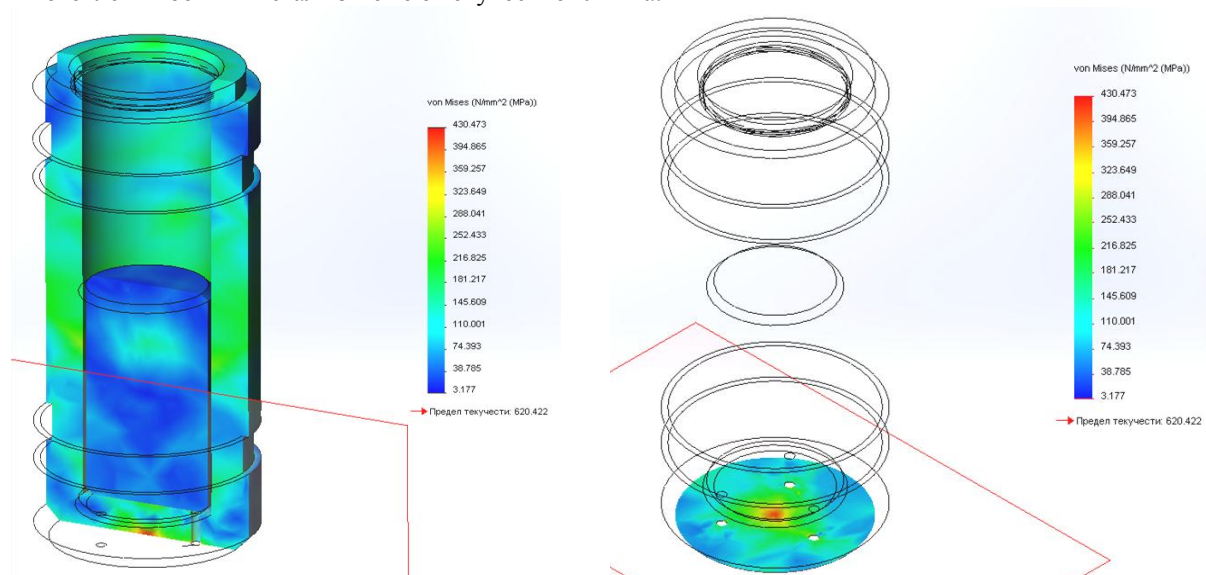


Рис. 2. Результати дослідження двобойкової ударної системи в середовищі SolidWorks Simulation

На рис. 3 наведено графік розподілення напружень в одному з небезпечних перерізів поблизу дна зовнішнього бойка, де точка 0 відповідає центру бойка, а 17 – радіусу бойка.

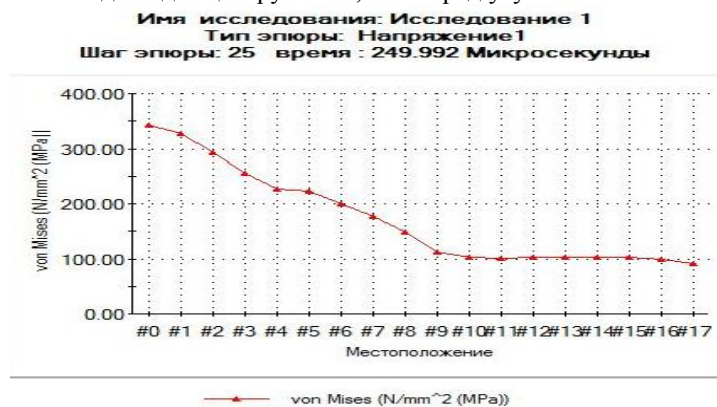


Рис. 3. Розподілення напружень по радіусу зовнішнього бойка

Результати дослідження показали, що найбільші механічні напруження спостерігаються на 250-й мікросекунді удару в зовнішньому бойкові в центрі дна бойка при ударній взаємодії його з інструментом, максимальне значення напруження складає 430 МПа, а максимальна відносна деформація – 0,97 мм. Максимальне напруження у внутрішньому бойкові складає 151 МПа. Обидва бойки витримують прикладене до них ударне навантаження, однак слід звернути увагу на товщину дна зовнішнього бойка.

#### **Висновки**

1. Послідовний удар двох мас з достатньою точністю моделюється в середовищі SolidWorks Simulation з можливістю зміни вхідних умов в широкому діапазоні.
2. Визначення деформацій та механічних напружень в елементах ударної системи дозволяє вибрати раціональні швидкісні та масові параметри бойків, підібрати матеріал ударної системи.
3. Моделювання ударних систем в середовищі SolidWorks Simulation допомагає значно скоротити матеріальні і часові витрати

#### **Список літератури**

1. Сліденко В.М. Моделювання функціонування імпульсного виконавчого органа маніпулятора/ Сліденко В.М., Шевчук С.П., Лістовщик Л.К., Бокало В.Я. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 3/2009 (56) частина 2. С. 135 – 137.
2. Лістовщик Л.К. Обґрунтування параметрів двобойкового гідромолотка для руйнування гірських порід / Л.К. Лістовщик // Вісник Криворізького технічного університету: Збірник наукових праць. – 2011. – Вип. 27. – С. 255 – 258.
3. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс, 2011. 464 с.

**L. Listovshchik**

**National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»**

#### **STUDY A DOUBLE-FACED PERCUSSION SYSTEM IN THE SOLIDWORKS SIMULATION**

*In this article is present mathematical model of a double-faced system, one head of this system is controlled, and the second is inertial. The condition of effective use of the system in terms of the most complete transfer of the strain energy in the rock. The magnitude of deformations and stresses in the elements of shock systems allow to draw conclusions about the rational choice of speed and mass parameters of the shock system, pick material of heads and significantly reduce material and time costs for simulation and testing.*

**Keywords:** impact, power pulse system, SolidWorks Simulation, stress, deformation.

1. Slidenko V.M. Modeljvannja funkcionuvannja impul'snogo vykonavchogo organa manipuljatora/ Slidenko V.M., Shevchuk S.P., Listovshchik L.K., Bokalo V.Ja. // Visnyk Kremenčuc'kogo derzhavnogo politehničnogo universytetu imeni Myhajla Ostrograds'kogo. – Kremenčuk: KDPU, 2008. – Vyp. 3/2009 (56) chastyna 2. S. 135 – 137.
2. Listovshchik L.K. Obgruntuvannja parametriv dvobojkovogo gidromolotka dlja rujnuvannja girs'kyh porid / L.K. Listovshchik // Visnyk Kryvoriz'kogo tehničnogo universytetu: Zbirnyk naukovyh prac'. – 2011. – Vyp. 27. – S. 255 – 258.
3. Aljamovskij A.A. Inženernye raschety v SolidWorks Simulation. M.: DMK Press, 2011. 464 s.

УДК 622.531: 004.4

**Л.К. Лістовщик**, канд. техн. наук

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»**

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ДВОХБОЙКОВОЙ УДАРНОЙ СИСТЕМЫ В СРЕДЕ SOLIDWORKS SIMULATION**

*Приведена математическая модель двухбойковой ударной системы, в которой один боек является управляющим, а второй – инерционным. Определено условие эффективного использования этой системы с точки зрения наиболее полной передачи энергии деформации в породу. Целью работы является определение прочностных характеристик ударных масс при генерации ими ударной нагрузки в зависимости от скорости соударения и массово-геометрических показателей с помощью программной оболочки SolidWorks Simulation. Полученные величины деформаций и механические напряжения в элементах ударной системы позволяют сделать выводы об рациональном выборе скоростных и массовых параметров ударной системы, подобрать материал бойков и значительно сократить материальные и временные затраты на моделирование и испытание.*

**Ключевые слова:** удар, силовая импульсная система, SolidWorks Simulation, напряжения, деформации.

Надійшла 30.09.2014

Received 30.09.2014