

УДК 631.3.55

Марія Паньків¹, к.т.н., доц.; Віктор Барановський¹, д.т.н., проф.; Віталій Паньків¹, к.т.н., доц.; Сергій Мариненко¹, к.т.н., доц.; Г. Герасимчук², к.т.н., доц.

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

²Луцький національний технічний університет, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ТАНГЕНЦІАЛЬНОЇ СИЛИ ПРУЖНОГО УДАРУ

Анотація. Руйнування або пошкодження матеріалу, яке виникає під час пружного удару є наслідком контактної взаємодії двох тіл – робочого органу машини та, наприклад, продуктів рослинництва галузі аграрного виробництва. Це значно погіршує якість продукту та економічну ефективність його виробництва. Тангенціальна сила, яка є складовою сумарної сили контакту двох тіл, відіграє також свою руйнівну роль в процесі пошкодження продукту. В статті наведено теоретичний аналіз кількісної оцінки впливу i -х дій тангенціальної сили удару по оброблюваному продукту.

Ключові слова: продукт, контакт, удар, пошкодження, сила, пляма, цикл, імпульс.

Maria Pankiv, Ph.D., Assoc. Prof.; Viktor Baranovsky, Ph.D., Prof.; Vitaliy Pankiv, Ph.D., Assoc. Prof.; Serhij Marinenko, Ph.D., Assoc. Prof.; H. Gerasimchuk, Ph.D., Assoc. Prof.

MODELING OF TANGENTIAL FORCE OF ELASTIC IMPACT

Abstract. The destruction or damage of the material that occurs during an elastic impact is the result of the contact interaction of two bodies - the working body of the machine and, for example, the products of crop production in the field of agricultural production. This significantly worsens the quality of the product and the economic efficiency of its production. The tangential force, which is a component of the total contact force of two bodies, also plays its destructive role in the process of product damage. The article provides a theoretical analysis of the quantitative assessment of the impact of tangential impact force on the processed product.

Keywords: product, contact, impact, damage, force, flame, cycle, momentum.

Ударна взаємодія робочого органу машини та матеріалу (в подальшому продукту обробки) проявляється у вигляді механічного контакту двох тіл і визначається імпульсом прискорень, середньою у часі контактною силою, різкістю удару та максимумом сумарної сили контакту [1].

В загальному випадку під час механічного удару жорсткого робочого органу машини по менше міцному продукту обробки виникають і інтенсифікуються нормальний S_n і тангенціальний S_τ ударні імпульси, які реалізуються за допомогою змінних в часі виникаючих нормальної F_n та тангенціальної F_τ сил, які прикладені до двох тіл.

Таким чином, щоб оцінити результати впливу силової дії робочого органу на продукт обробки необхідно визначити та проаналізувати ці складові сили контакту двох тіл. Технологічні вимоги до процесів виробництва корисного суспільного продукту, при яких робочий органа наносить удар по продукту обробки, визначають кількісні та якісні умови реалізації складових сил контактної взаємодії двох тіл. Це служить основою при виборі динамічних режимів роботи робочого органу або ударного тіла [2]. При цьому, ударна взаємодія двох тіл відбувається при дискретному механічному контакті та починається в момент їх дотику в точці найбільш високих виступів-нерівностей.

Дотик в такій точці контакту двох тіл є основною точкою дотику, або основною точкою удару, а навантаження удару, яке формується в результаті механічного контакту оцінюється повною змінною нормальної сили удару.

На основі моделі пружного удару [3] ця сила складається з двох компонентів $F_n^{(1k)}$ і $F_n^{(2k)}$, при чому

$$\left. \begin{aligned} F_n^{(1k)} &= C_m (\delta_{np} + \delta_{nl})^\alpha; \\ F_n^{(2k)} &= \mathcal{G}_{\delta_{np}} \gamma dV_n / dt \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де C_m , α – постійні коефіцієнти, які визначаються залежно від механічних характеристик тіл співудару; δ_{np} , δ_{nl} – відповідно, пружна та пластична деформація в точці контакту двох тіл; $\mathcal{G}_{\delta_{np}}$ – швидкість пружної деформації в точці удару; γ – щільність продукту обробки; dV_n / dt – змінний об'єм деформованих частин продукту, який залежить від швидкості розповсюдження зміни внутрішньої границі продукту в процесі пружної та пластичної деформації в зоні контакту.

Тоді повна (сумарна) сила F_n удару згідно (1) становить

$$F_n = C_m (\delta_{np} + \delta_{nl})^\alpha + \mathcal{G}_{\delta_{np}} \gamma dV_n / dt. \quad (2)$$

Нормальна F_n та тангенціальна F_τ сили прикладені в основній точці удару двох тіл. Під час удару доволі жорсткого робочого органу, який рухається з нормальною \mathcal{G}_n та тангенціальною \mathcal{G}_τ відносними швидкостями в природній системі координат, входить в контакт в основній точці дотику з продуктом обробки та під дією набутої ним кінетичної енергії викликає пружну та пластичну деформацію дотичних нерівностей поверхні ударяючого (робочого органу) та ударного (оброблювальний продукт) тіл.

Нормальна пружна δ_{np} та пластична δ_{nl} деформація нерівностей під час формування механічного контакту двох тіл є результатом їх стиснення нормальною силою F_n . При такому зближенні основна точка дотику генерується в пляму контакту. У процесі подальшого зближення двох ударних тіл в дотик входять нові нерівності, які мають виступи відносно меншої висоти. Це збільшує кількість одиничних плям контакту та сумарну фактичну площу плям, що в свою чергу зменшує тиск на ці плями. Відносне зближення двох ударних тіл припиняється тоді, коли навантаження на контакт, що формується дорівнює його несучій здатності.

Деформація зсуву являє собою місцеву деформацію контактуючих нерівностей плям контакту, які формуються в тангенціальному напрямку.

Дотичне напруження τ_{1k} одиничної плями контакту при відсутності тангенціального проковзування буде дорівнювати

$$\tau_{1k} \leq f_m \sigma_n, \quad (3)$$

де f_m – коефіцієнт тертя ковзання при відсутності тангенціального проковзування на всій площі одиничної плями контакту (коефіцієнт тертя спокою); σ_n – нормальне напруження плями контакту.

Вважається, що коефіцієнти f_m кожної одиничної плями контакту є постійними та рівними між собою [4]. Тоді в зоні тангенціального ковзання плям контакту виконується умова

$$\tau_{2k} > f_g \sigma_n, \quad (4)$$

де f_g – коефіцієнт тертя ковзання при тангенціальному проковзуванні на всій площі одиничної плями контакту (коефіцієнт тертя руху).

При цьому, приймаємо, що характер зміни коефіцієнта f_g кожної одиничної плями контакту однаковий. При формуванні наступних плям контакту дотику під впливом нормальної сили F_n значно зростає тангенціальна сила F_τ , яка має лінійну залежність відносно сили F_n . Сила F_τ передається силами тертя від ударяючого робочого органу ударному продукту переробки через плями контакту, що формуються, а з збільшенням тангенціальної сили F_τ зростають напруження зсуву одиничної плями контакту.

При виконанні умови (3) площа одиничної плями контакту являє собою зону фрикційного зчеплення [4], а коли відбувається перехід від умови (3) до умови (4) – на одиничній плямі контакту збільшується зона тангенціального ковзання за рахунок зменшення зони фрикційного зчеплення.

Якщо сила F_τ одиничної плями контакту більше сили тертя F_m цієї плями (за умови $F_m = f_m F_{1c}$, де F_{1c} – сила стиснення однієї плями контакту), тоді зона тангенціального ковзання охоплює всю її площу [4]. В цьому випадку тангенціальне проковзування $[\delta_\tau]$ досягає граничного значення та визначається за формулою

$$[\delta_\tau] = 3(2 - \mu) / 8Gr_k, \quad (5)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона; G – модуль зсуву продукту обробки; r_k – середній еквівалентний радіус плями контакту.

При подальшому збільшенні тангенціальної сили F_τ яка діє на одиничну пляму контакту за умови $F_\tau \geq F_{1\tau}$ при $F_n = const$, починається проковзування цієї плями по всій його площі [4]. При цьому приймаємо, що за такої еволюції плями контакту тіл співудару їх основні числові характеристики залишаються незмінними.

Тоді, при нормальному та тангенціальному навантаженні на фрикційний контакт, в ньому поряд з акумуляцією механічної енергії при пружній деформації дотичних нерівностей тіл контакту відбувається їх дисипація. Джерело її появи в одиничних плямах контакту тіл дотику при їх тангенціальному проковзуванню є пружний гістерезис, який реалізується за допомогою сил тертя в зоні знакоперемінного відносного ковзання плям контакту.

Подальший кількісний аналіз дисипативної енергії ΔW в одиничній плямі контакту, кінетичної енергії та роботи системи з врахуванням загального числа N активних циклів знакоперемінного тангенціального навантаження контактною силою F_τ дозволить розробити залежності, які будуть основою для кількісної оцінки тангенціальної сили удару робочого органу машини по продукту обробки за якогось реалізується тангенціальний ударний імпульс.

Перелік посилань

1. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник; за ред. Д. Г. Войтюка / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін. К.: Вища освіта, 2005. 464 с.
2. Baranovsky V., Truhanska O. Pankiv M., Bandura V. Research of a contact impact of a root crop with a screw auger. Research in Agricultural Engineering, 2020. Vol. 66. No 1. P. 33–42.
3. А.С. Бабенко, М.І. Бобир, С.Л. Бойко [та ін.]. Теорія пружності. Київ : Основа, 2009. 244с.
4. Павловський М.А. Теоретична механіка. Вид. Техніка, Київ. 2002 р. 510 с.