



Кафедра загальнотехнічних дисциплін

УДК 631.361.8

Аналіз напружено-деформованого стану елементів сепаратора насіння огірка

Бабенко Д.В.

канд. техн. наук, професор, перший проректор
Миколаївського національного аграрного університету

Анотація. Проведено аналіз напружено-деформованого стану сталевих елементів сепаратора насіння огірка, включно з валами барабанів, кривошипно-шатунним механізмом та решетами. Виконано оцінку згинальних, крутильних та вібраційних напружень. Розрахунки показали, що максимальні напруження у всіх вузлах значно нижчі за допустимі для сталі, що забезпечує надійну експлуатацію та довговічність конструкції. Результати дозволяють обґрунтувати вибір матеріалів і розмірів елементів для ефективного та безпечного функціонування сепаратора.

Ключові слова: сепаратор насіння, огірок, напружено-деформований стан, сталь, вали, кривошипно-шатунний механізм, решета, вібраційні навантаження, міцність конструкції.

Ефективність переробки овочевої сировини, зокрема під час виділення насіння огірка, значною мірою визначається надійністю та довговічністю технологічного обладнання. Сепаратори насіння працюють в умовах змінних механічних навантажень, зумовлених взаємодією робочих органів із вологими багатокомпонентними середовищами (мезга, насіння, сік), що супроводжується ударними, абразивними та циклічними впливами. За таких умов особливої актуальності набуває дослідження напружено-деформованого стану елементів конструкції, оскільки локальні концентрації напружень і надмірні деформації можуть призводити до зниження ресурсу, порушення геометричної стабільності вузлів та втрати технологічної ефективності процесу сепарації.

Аналіз напружено-деформованого стану дозволяє встановити розподіл напружень і деформацій у характерних перерізах конструкції, визначити критично навантажені зони, оцінити коефіцієнти запасу міцності та обґрунтувати вибір матеріалів і конструкційних параметрів. З урахуванням специфіки роботи сепаратора насіння огірка, важливим є врахування контактної взаємодії робочих органів із сировиною, динамічних навантажень від обертових і коливних елементів, а також впливу вібрацій і зносу.

Сучасні підходи до дослідження напружено-деформованого стану базуються на поєднанні аналітичних методів опору матеріалів і чисельного моделювання, зокрема методу кінцевих елементів, що дає змогу підвищити точність оцінювання напружень у складних просторових конструкціях. Це створює передумови для оптимізації геометричних параметрів елементів сепаратора, зниження матеріаломісткості та підвищення експлуатаційної надійності обладнання.

Метою роботи є аналіз напружено-деформованого стану елементів сепаратора насіння огірка з метою виявлення критичних зон навантаження та обґрунтування раціональних конструкційних параметрів, що забезпечують підвищення міцності й довговічності обладнання.

У сучасних дослідженнях процесів виділення насіння з овочевої та баштанної сировини значна увага приділяється конструктивним особливостям сепараційного обладнання та механіці взаємодії «робочий орган – біоматеріал». У працях [1] та інших дослідників у галузі харчової та біологічної інженерії розглядаються фізико-механічні властивості рослинної сировини, що визначають режими подрібнення, транспортування і сепарації. Показано, що вологість, пружні характеристики та структурна неоднорідність мезги суттєво впливають на силову взаємодію з робочими органами, формуючи змінні та часто нестаціонарні навантаження на елементи машин.

Питання напружено-деформованого стану конструкцій технологічного обладнання детально висвітлено в класичних і сучасних працях з опору матеріалів і чисельного моделювання, зокрема у роботах [2]. Застосування методу скінченних елементів дозволяє отримувати точні розподіли напружень і деформацій у складних просторових конструкціях, враховуючи контактні взаємодії, нелінійні властивості матеріалів та динамічні навантаження. У низці англомовних досліджень підкреслюється, що для машин агропромислового призначення характерними є локальні концентрації напружень у зонах з'єднань, кріплень та переходів перерізів, що визначає необхідність їх детального аналізу на етапі проектування.

Сепаратор насіння огірка складається з приймального бункера для насінневих плодів, встановленого на загальній рамі, що конструктивно поєднана з дробильною камерою. У середині дробильної камери розміщено подрібнювальний та протиральний барабани, які забезпечують руйнування плодової маси та первинне відокремлення насіння від м'якоті. Привід барабанів здійснюється електродвигуном через клинопасову передачу та клинопасовий варіатор, що дозволяє регулювати швидкісні режими роботи залежно від фізико-механічних властивостей сировини.

Подрібнена маса виводиться з камери через розвантажувальний лоток і надходить до сепараційного вузла. Сепаратор встановлений на рамі та включає два решета (верхнє та нижнє), які здійснюють коливальний рух у протифазі. Грохоти підвішені на шарнірних підвісках, що забезпечують їх просторову стабілізацію та зниження динамічних навантажень на конструкцію. Коливальний рух реалізується за допомогою кривошипно-шатунних механізмів, кінематично з'єднаних із решетами через шарнірні тяги. Обертання кривошипів забезпечується окремим електродвигуном через клинопасову передачу та варіатор, що дозволяє змінювати амплітудно-частотні характеристики коливань [3]. Технологічний процес відбору насіння огірка включає кілька послідовних етапів. На першому етапі плоди подаються транспортером у

приймальний бункер, звідки надходять у дробильну камеру. У результаті взаємодії з подрібнювальним і протиральним барабанами відбувається руйнування плодів та утворення багатокомпонентної маси, що складається з насіння, м'якоті, соку та часток кірки. Отримана суміш надходить на поверхню верхнього решета, яке виконує функцію грубого розділення. Розміри отворів решета (приблизно 5×15 мм для огірка) забезпечують відокремлення крупних фракцій, зокрема часток кірки, які видаляються як надрешітний продукт. Насіння разом із дрібними домішками проходить крізь отвори верхнього решета та потрапляє на нижнє решето. На другому етапі здійснюється більш тонке сепарування. Нижнє решето забезпечує відокремлення насіння від м'якоті, соку та дрібнодисперсних домішок. Насіння з частковими домішками транспортується до подальших стадій очищення, тоді як рідка та дрібнодисперсна фаза проходить крізь отвори решета, збирається в піддоні та відводиться насосом. арактерною особливістю роботи сепаратора є поєднання ударних, вібраційних і контактних навантажень, що діють на його конструктивні елементи. Найбільш навантаженими вузлами є вали барабанів, елементи кривошипно-шатунного механізму та підвіски грохотів. Змінні режими роботи та взаємодія з в'язкопластичною сировиною обумовлюють необхідність аналізу напружено-деформованого стану цих елементів для забезпечення їх надійності та довговічності.

Для розрахунку напружено-деформованого стану основних елементів сепаратора насіння огірка приймемо такі вихідні значення [4]: модуль Юнга $E=2 \cdot 10^5$ МПа; коефіцієнт Пуассона $\nu=0.3$; допустимі напруження для сталі $\sigma_{доп}=160$ МПа. Вали барабанів мають такі вихідні характеристики: діаметр $d=35$ мм=0.035 м; довжина між опорами $L=1$ м; згинальна сила $F=200$ Н; крутний момент $T=50$ Н·м.

Розрахуємо згинальний момент:

$$M_{\max} = \frac{FL}{4} = \frac{200 \cdot 1}{4} = 50 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1)$$

Напруження згину:

$$\sigma_{\max} = \frac{32M_{\max}}{\pi d^3} \quad (2)$$

Підставимо:

$$\sigma_{\max} = \frac{32 \cdot 50}{3,1416 \cdot (0.035)^3} = \frac{1600}{0,000134} = 11,9 \cdot 10^6 \text{ Па} = 11,9 \text{ МПа} \quad (3)$$

Напруження кручення:

$$\tau_{\max} = \frac{16T}{\pi d^3} = \frac{16 \cdot 50}{3,1416 \cdot (0.035)^3} = 5,95 \cdot 10^6 \text{ Па} = 5,95 \text{ МПа} \quad (4)$$

Для кривошипно-шатунного механізму: діаметр кривошипа $d=30$ мм=0.03 м; довжина важеля $L=0.25$ м; сила $F_s=150$ Н.

Тоді згинальний момент:

$$M = F_s \cdot L = 150 \cdot 0.25 = 37.5 \text{ Н} \quad (5)$$

Напруження згину:

$$\sigma_{кр} = \frac{32M}{\pi d^3} = \frac{32 \cdot 37.5}{3,1416 \cdot 0.03^3} = \frac{1200}{8,48 \cdot 10^{-5}} \approx 14,15 \cdot 10^6 \text{ Па} = 14,15 \text{ МПа} \quad (6)$$

Перевірка міцності:

$$\sigma_{кр} = 14.15 < \sigma_{доп} = 160 \text{ МПа}$$

Вібраційне навантаження решета розраховується виходячи з таких параметрів: маса решета $m=10$ кг; амплітуда коливання $x_{\max}=0.005$ м; жорсткість підвісок $k=5000$ Н/м

Тоді сила від коливання:

$$F = k \cdot x_{\max} = 5000 \cdot 0.005 = 25 \text{ Н}$$

Напруження в центрі пластини (тонке решето, формула для прямокутної пластини):

$$\sigma_{реш} = \frac{3FL^2}{2bh^2} = \frac{3 \cdot 25 \cdot 0.6^2}{2 \cdot 0.3 \cdot 0.005^2} = 1.8 \cdot 10^6 \text{ Па} = 1.8 \text{ МПа} \quad (7)$$

Перевірка: $\sigma_{реш} = 1.8 < \sigma_{доп} = 160 \text{ МПа}$

Сталеві конструктивні елементи сепаратора насіння огірка знаходяться в межах допустимих напружень і забезпечують надійну експлуатацію при заданих навантаженнях.

Проведений аналіз напружено-деформованого стану сталевих елементів сепаратора насіння огірка показав, що всі основні вузли конструкції працюють у межах допустимих напружень і забезпечують надійну експлуатацію. Максимальні еквівалентні напруження у валах барабанів становлять 15,75 МПа, що значно нижче допустимого значення для сталі 160 МПа, що свідчить про достатню міцність і жорсткість при згинально-торсійних навантаженнях. Напруження у кривошипно-шатунному механізмі не перевищує 14,15 МПа, що дозволяє надійно передавати зусилля від приводу до грохотів без ризику руйнування. Вібраційні навантаження на решета створюють напруження близько 1,8 МПа, що також значно менше допустимого, а підвіски забезпечують стабільність коливань і обмежують прогин. Загалом конструкція сепаратора здатна витримувати ударні, контактні та вібраційні навантаження, характерні для технологічного процесу, з достатнім запасом міцності. Для підвищення довговічності рекомендується регулярний контроль стану підшипників і шарнірних з'єднань, які передають колівальні навантаження.

Визначено, що оновлення підходів до оптимізації конструкцій з урахуванням втомної міцності, вібраційних навантажень і зносу. Встановлено, що інтеграція агроінженерних підходів із методами механіки деформованого твердого тіла дозволяє підвищити ефективність роботи обладнання та знизити енерговитрати. Водночас, аналіз літератури свідчить про недостатню кількість досліджень, спрямованих саме на комплексний аналіз напружено-деформованого стану сепараторів насіння огірка, що обумовлює актуальність подальших наукових розвідок у цьому напрямі.

References:

1. Wu, Y., et al. (2024). Simulation analysis and parameter optimization of seed–flesh separation process based on DEM. *Agriculture*, 14(7), 1008. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071008>.
2. Ahmed, A., Zhang, Z., Manzoor, S. H., Abdelhamid, M. A., & Gul, N. (2026). Cucumber picking robots: Technological progress, challenges, and future directions. *Smart Agricultural Technology*, 13, 101813. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2026.101813>.
3. Babenko, D., Dotsenko, N., Gorbenko, O., & Kim, N. (2021). Justification of the introduction of a seed separator for vegetable and tomato crops as part of a technological line. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 25(2), 80-87. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-2\(110\)-10](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-2(110)-10).
4. Бабенко, Д.В., Доценко Н.А., Горбенко, О.А. (2023). Механіка матеріалів і конструкцій. Частина 2: практикум для навчання на основі інтерактивного графічно-цифрового контенту: навчальний посібник. Миколаїв: МНАУ, 2021. 176 с.

Abstract. An analysis of the stress-strain state of steel elements of a cucumber seed separator, including drum shafts, a crank mechanism and sieves, was carried out. An assessment of bending, torsional and vibration stresses was performed. Calculations showed that the maximum stresses in all nodes are significantly lower than those permissible for steel, which ensures reliable operation and durability of the structure. The results allow us to justify the choice of materials and dimensions of elements for the effective and safe functioning of the separator.

Keywords: seed separator, cucumber, stress-strain state, steel, shafts, crank mechanism, sieve, vibration loads, structural strength.

Конструктивно-технологічне та кінетичне дослідження олійного преса з підвищеною енергоефективністю

Доценко Н.А.

доктор. пед. наук, професор, професор кафедри загальнотехнічних дисциплін
Миколаївського національного аграрного університету

Анотація. У роботі представлено результати конструктивно-технологічного та кінематичного дослідження олійного преса з підвищеною енергоефективністю. Розроблено удосконалену конструкцію шнекового преса зі змінним кроком витків та регульованим підпресувальним вузлом, що включає підпресовуючі вальці та пропарювач, які забезпечують рівномірний розподіл тиску вздовж зони пресування. Проведений кінематичний аналіз механізму приводу обґрунтував доцільність застосування черв'ячно-циліндричного редуктора з частотним регулюванням, що дозволяє адаптувати режим роботи до властивостей сировини. Встановлено оптимальну частоту обертання шнека на рівні 120 об/хв. За результатами лабораторних випробувань досягнуто зниження питомих витрат енергії на 28% (до 13,4 кВт·год/т), підвищення виходу олії на 2,3 відсоткових пункти та збільшення ресурсу робочих органів на 35%. Запропоноване технічне рішення сприяє зниженню собівартості переробки, підвищенню якості продукції та забезпеченню енергоефективності виробництва відповідно до сучасних вимог сталого розвитку агропромислового комплексу.

Ключові слова: олійний прес, шнековий прес, енергоефективність, кінематичний аналіз, конструктивні параметри, частота обертання, редуктор, пресування олії, питомі витрати енергії, ресурс робочих органів.

Олійна галузь є однією з пріоритетних у харчовій промисловості України. Підвищення ефективності переробки олійних культур - соняшнику, ріпаку, сої - є стратегічним завданням агропромислового комплексу. Наявні конструкції шнекових олійних пресів характеризуються значними питомими витратами енергії (до 18–22