

УДК 631.363

I. Shevchuk, V. Devin, State Agrarian and Engineering University in Podilya

APPLICATION FINITE ELEMENT METHOD FOR DESIGN CALCULATIONS HAMMER CRUSHERS

Annotation. *On cattle-ranch and feed mills for grinding cornmeal widely used hammer crushers, which have a simple design, versatility, portability, reliability and have a wide range of performance. One of the most important elements of the crusher has disks that rotate. The strength and durability of disks is determined to obtain high machine parameters, provide the required service life. The problem of the situation is that traditional methods of calculating the strength and durability of the rotary crusher parts can not provide subsequent radical improvement of the process. In this regard, the development of new methods for calculating the stress strain state, the optimum dimensions of the working machine for grinding grain feed, which have a broader technological possibility, less energy and metal, provide good quality grinding, is a topical task.*

Using the mathematical apparatus of the finite element method simplifies the construction of the object model in which to investigate the stress strain state. Finite element method allows to get a solution in the form of stress and strain

fields in almost any section of the construction details. These advantages of the method have hitherto been used in the design of hammer crusher. Their implementation will reduce metal hardware to increase its reliability and reduce the cost and, ultimately, improve the quality of feeds that are produced.

Advantage of the finite element method it is possible to present at the calculation of disk of hammer crusher. For this purpose we suggest to use the module express of analysis of the system of APM FEM COMPASS of company Askon, Russian federation.

Key words: method of finite elements, hammer crusher, disk

І.І. Шевчук, здобувач,

В.В. Девін, кандидат технічних наук, доцент ПДАТУ

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РОЗРАХУНКІВ МОЛОТКОВИХ ДРОБАРОК

Викладена методика застосування сучасних систем автоматизованого проектування для конструкторських розрахунків деталей молоткових дробарок.

Ключові слова: метод скінчених елементів, молоткова дробарка, диск.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. На тваринницьких фермах і комбікормових заводах для подрібнення фуражного зерна широко використовуються молоткові дробарки, які відрізняються простотою конструкції, універсальністю, компактністю, надійністю в роботі і мають широкий спектр продуктивності. Одним з найважливіших елементів дробарок є диски, що обертаються. Міцність і довговічність дисків визначають можливість здобуття високих параметрів роботи машин, забезпечують необхідний термін їх служби. Проблема ситуації полягає в тому, що традиційні методи розрахунку міцності і довговічності обертових деталей дробарок не можуть забезпечити подальше корінне вдосконалення даного процесу. У зв'язку з цим розробка нових методів розрахунку напружено-деформованого стану, оптимальних розмірів робочих органів машин для подрібнення зернових кормів, що мають ширші технологічні можливості, меншу енергоємність і металоємність, забезпечують хорошу якість подрібнення, є актуальним завданням.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.

На сьогоднішній день при проектуванні елементів конструкцій молоткових дробарок за існуючими методиками [1-3] розраховуються на міцність наступні основні деталі машини: вал дробарки, підшипники вала, диски, молотки і їх кріплення до диска. Розрахунки на міцність деталей машини проводяться за найбільш важких умов роботи, тобто при максимальних можливих обертах і з урахуванням коливальних процесів в окремих деталях.

Вал дробарки розраховують на міцність, жорсткість, поперечні і крутильні коливання. Проектний, або попередній, розрахунок вала на міцність проводиться за деформаціями згину і кручення. При цьому розрахунку визначають розміри перерізів окремих ділянок вала. Довжину ділянок вала вибирають з конструктивних міркувань з врахуванням найбільш компактного розташування деталей. Після конструктивного оформлення вала машини проводять перевірочний розрахунок, при якому визначають коефіцієнти запасу міцності в небезпечних перерізах.

Конструктивні розміри диска призначають з умов розміщення молотків і забезпечення мінімальної необхідної колової швидкості молотка. При розрахунку на міцність матеріалу диска виконують лише перевірочний розрахунок для визначення дійсного напруження і коефіцієнтів запасу міцності. Розрахунок осей підвісу молотків, товщини диска, перемички між отворами під осі підвісу і зовнішнім краєм диска проводять, виходячи з деформації зрізу і зминання.

Після аналізу застосованих методів розрахунку елементів конструкції молоткових дробарок можна зробити висновок, що ці розрахунки, засновані на коефіцієнтах запасу міцності, не дозволяють ефективно використовувати методи оптимального проектування, враховувати якість виготовлення деталей, ефективно упроваджувати системи автоматизованого проектування (САПР). Класичний підхід в розрахунках на міцність не розкриває самого механізму руйнування, який з достатньою точністю може бути представлений з позиції механіки руйнування.

Тому при виготовленні основних елементів молоткових дробарок необхідно використовувати уточнений метод розрахунку на міцність – метод скінчених елементів (МСЕ) [1].

Найнаочніше перевагу МСЕ можна представити при розрахунку диска молоткової дробарки. Для цього ми пропонуємо використати модуль експрес-аналізу системи АРМ FEM КОМПАС російської компанії Аскон.

Мета статті – розробити методику і алгоритм дослідження напружено-деформованого стану диска молоткової дробарки з використанням програмних продуктів комп'ютерного моделювання.

Виклад основного матеріалу дослідження. При обертанні тіл у всіх елементах їх об'єму виникають відцентрові сили, наслідком яких є механічні напруження. На кожен елемент об'єму тіла, що обертається, діє відцентрова сила $f_{ц} = \rho\omega^2 r$, де ρ – питома вага матеріалу; ω – кутова частота обертання; r – радіус обертання. Швидкість обертання n , об./с., пов'язана з кутовою частотою обертання ω , рад/с. співвідношенням $n = \frac{\omega}{2\pi}$. Оскільки елементи тіла, що обертається, під дією відцентрових сил переміщуються в тілі (в межах пружності), на кожен елемент діють не лише відцентрові сили, а й сили пружності сусідніх елементів. У результаті цього розподіл механічних напружень в тілі, що обертається, залежатиме від форми тіла і властивостей пружності тіла μ – модуля об'ємної пружності (коефіцієнта Пуассона).

У диску постійної товщини розподіл напружень наступний [5]:
радіальні напруження (направлені паралельно радіусу):

$$\sigma_R = \frac{3+\mu}{8} \rho\omega^2 \left(R^2 + R_0^2 - r^2 - \frac{R^2 R_0^2}{r^2} \right); \quad (1)$$

тангенціальні напруження (направлені перпендикулярно радіусу):

$$\sigma_T = \frac{3+\mu}{8} \rho\omega^2 \left(R^2 + R_0^2 - r^2 \frac{1+3\mu}{3+\mu} - \frac{R^2 R_0^2}{r^2} \right), \quad (2)$$

де R – зовнішній радіус диска;

R_0 – внутрішній радіус диска;

r – поточний радіус (рис. 1) (мається на увазі, що вісь обертання диска збігається з осями радіусів диска).

Еквівалентні напруження для пластичних матеріалів визначаються за четвертою теорією міцності, критерієм Мізеса (Von Mises):

$$\sigma_e^{IV} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}. \quad (3)$$

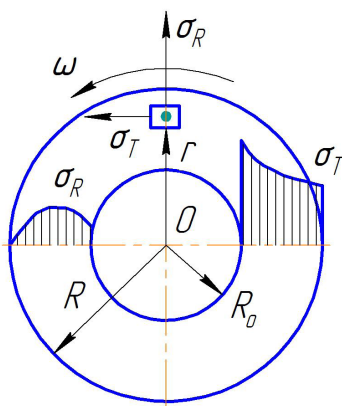


Рис. 1. Розподіл радіальних і тангенціальних напружень в диску, який обертається

Радіальне переміщення зовнішньої поверхні (деформація) диска рівної товщини від напружень:

$$\Delta R = \frac{\rho\omega^2 R^3}{4E} \left[1 - \mu + (3 + \mu) \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 \right]. \quad (4)$$

Диски деяких машин, окрім власного інерційного навантаження, додатково підлягають навантаженню від приєднаних деталей. Наприклад, в молоткових дробарках відцентрові сили інерції молотків передаються через осі підвісу дискам, навантажуючи їх на радіусі установки осей. Розподіляючи це навантаження рівномірно по колу вказаного радіуса, можна прийняти, що, окрім відцентрових сил інерції, на диск діють також радіальні зусилля, рівномірно розподілені по концентричних кільцевих перерізах радіуса установки осей [3].

У результаті диск можна наближено розглядати навантаженим по колу наступними силовими факторами: радіальними розподіленими силами інерції, що виникають в самому диску, діють в його серединній площині, і відцентровими силами інерції молотків, що діють на радіусі установки осей.

Так як диск дробарки з чотирма молотками – це симетрична конструкція за конфігурацією і навантаженням, то можна розглянути рівновагу чверті диска з одним молотком (рис. 2).

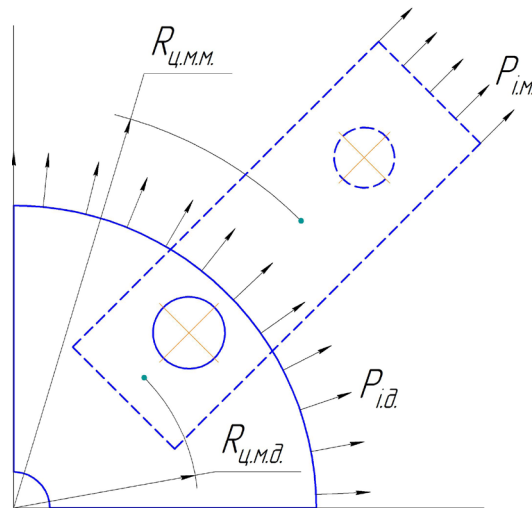


Рис. 2. Розрахункова схема чверті диска молоткової дробарки

Використовуючи метод кінетостатики, прикладемо до обода диска силу інерції $P_{i.д} = m_{д} \cdot \omega^2 \cdot R_{ц.м.д}$, де $m_{д}$ – маса чверті диска; ω – кутова частота обертання; $R_{ц.м.д}$ – відстань до центра мас сектора диска. До зовнішньої грані молотка прикладемо силу інерції $P_{i.м} = m_{м} \cdot \omega^2 \cdot R_{ц.м.м}$, де $m_{м}$ – маса молотка; ω – кутова частота обертання; $R_{ц.м.м}$ – відстань до центра мас молотка. Для заданих значень $\omega = 314 \text{ с}^{-1}$, $m_{д} = 0,034 \text{ кг}$, $m_{м} = 0,02 \text{ кг}$, $R_{ц.м.д} = 0,064 \text{ м}$, $R_{ц.м.м} = 0,141 \text{ м}$ отримуємо такі значення сил інерції: $P_{i.д} = 214 \text{ Н}$, $P_{i.м} = 284 \text{ Н}$.

Основні етапи розв'язання задачі за допомогою МСЕ наступні:

1. Підготовка геометричної 3D моделі і вибір матеріалу здійснюється засобами системи КОМПАС-3D. Для диска вибираємо матеріал сталь 45 з допустимим напруженням 200 МПа.
2. Аналіз і призначення граничних умов (закріплення, навантаження). Закріплення сектору диска виконане по твірних внутрішнього отвору, де він кріпиться до вала. Прикладені закріплення і навантаження на модель показано на рис. 3.

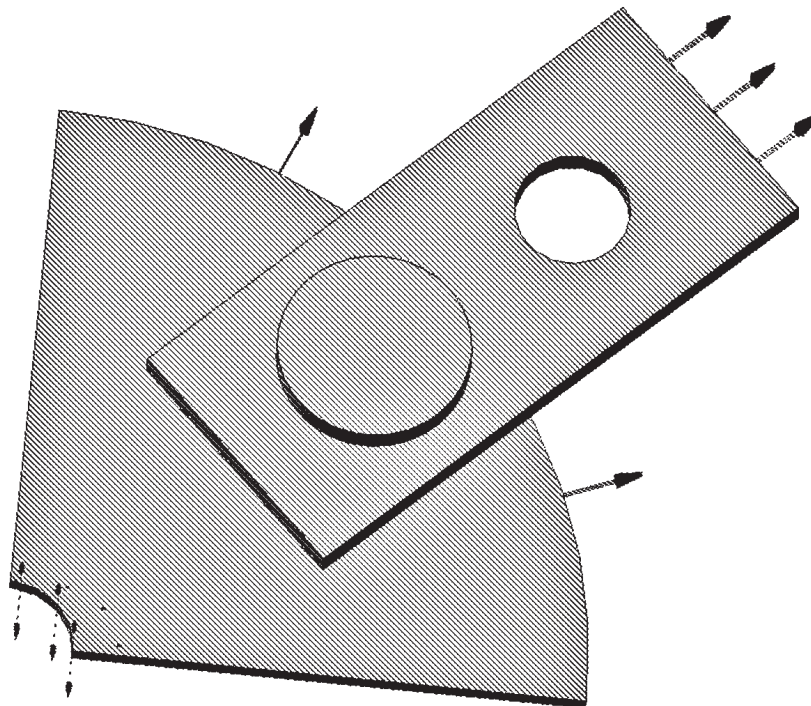


Рис. 3. Схема закріплення і навантаження моделі

3. Генерація кінцево-елементної сітки на 3D-моделі відбувається автоматично, але розміри скінчених елементів необхідно попередньо задати. У системі APM FEM КОМПАС скінчені елементи мають

форму тетраедра, кількість елементів по товщині деталі повинно бути 4...6. Товщина диска складає 5 мм, тому прийнята висота елемента 1,5 мм. Скінчено-елементна сітка моделі представлена на рис. 4.

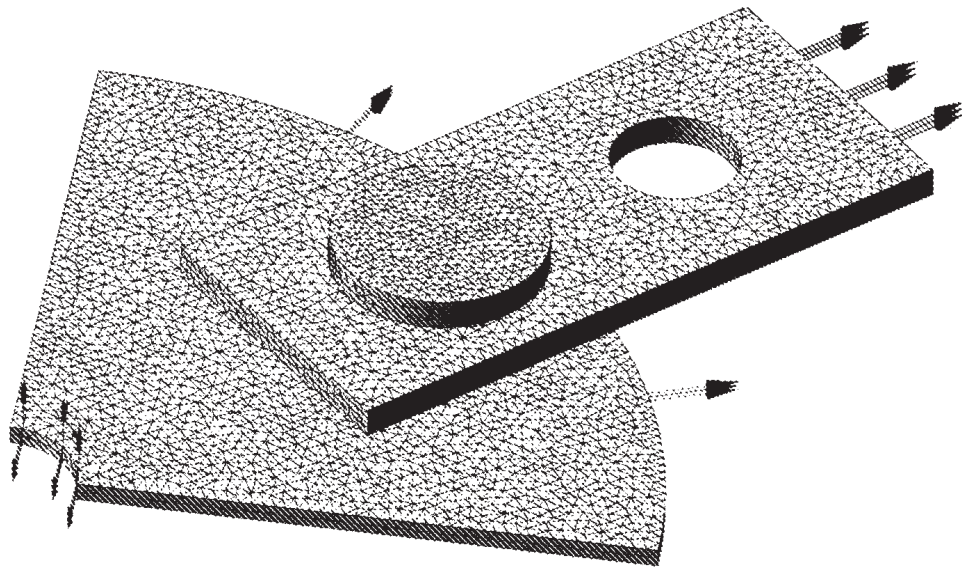


Рис. 4. Скінчено-елементна сітка моделі

4. Вибір необхідного типу розрахунку і налаштування його параметрів відбувається у вікні панелі АРМ FEM. Вибираємо статичний розрахунок.

5. У результаті розрахунку отримані епюри деформованої розрахункової моделі, в якій колірний діапазон залежить від рівня напружень в даному місці диска (рис. 5). Перегляд отриманих результатів і аналіз значень основних розрахункових характеристик (напружень, коефіцієнтів запасу, переміщень) дає інформацію для проведення модифікації моделі за результатами проведених обчислень (можна змінити геометричні розміри деталей або матеріал). Максимальні напруження виникають, як і очікувалось, на поверхні твірних внутрішнього отвору в місці кріплення диска до вала. Як показує діаграма напруження знаходяться в межах норми.

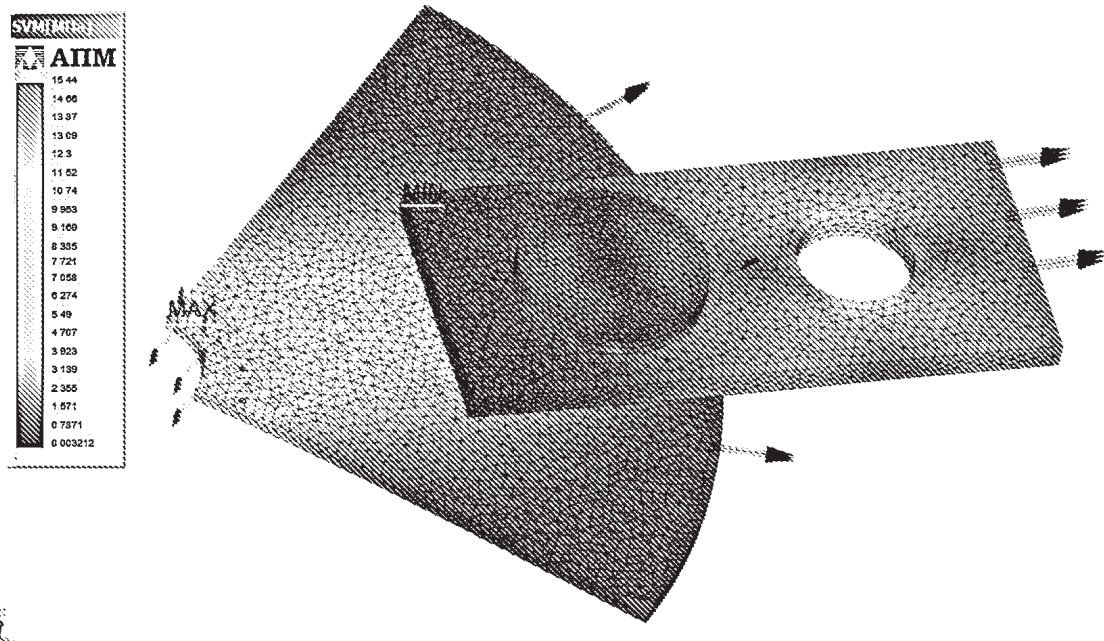


Рис. 5. Результати розрахунку

6. Останній етап – повторне проведення розрахункового аналізу для підтвердження робоздатності виробу.

Висновки. Застосування математичного апарату методу скінчених елементів спрощує побудову моделі об'єкта, в якому необхідно дослідити напружено-деформований стан. МСЕ дозволяє отримати рішення у вигляді полів напружень і деформацій практично в будь-якому перерізі деталей конструкції. Ці переваги методу до теперішнього часу ще не були використані при конструюванні молоткових дробарок. Їх реалізація дозволить зменшити металоємність устаткування, збільшити надійність його роботи і понизити собівартість і, зрештою, підвищити якість кормів, які виробляються.

Список використаних джерел

1. Демьянушко И. В., Биргер И. А. Расчет на прочность вращающихся дисков. – М. : Машиностроение, 1978. – 247 с.
2. Харламов С. В. Практикум по расчету и конструированию машин и аппаратов пищевых производств. – Л.: Агропромиздат. Ленинградское отд-ние, 1991. – 256 с.
3. Соколов В. И. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств: – М.: Машиностроение, 1983. – 447 с.
4. Сопротивление материалов / Под ред. акад. АН УССР Писаренко Г.С. – 5-е изд. перераб. и доп. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1979. – 696 с.
5. Справочник по сопротивлению материалов / Фесик С. П. – 2-е изд., перераб. доп. – К. : Будівельник, 1982. – 280 с.

Аннотация. Изложена методика применения современных систем автоматизированного проектирования для конструкторских расчетов деталей молотковых дробилок.

Ключевые слова: метод конечных элементов, молотковая дробилка, диск.