

ЗВІТ

про розробку науково-технічної продукції

**«Математичне моделювання течії
повітря в дробарці молотковій
вертикальній А1-ДМ2Р-55В»**

Виконавці:

В. Є. Костюк
О. І. Кирилаш

Хорол 2015

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 МАТЕМАТИЧНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА МЕТОД ЇЇ ВИРІШЕННЯ	4
1.1 Об'єкт і предмет дослідження	4
1.2 Математична модель та числовий метод розрахунку течії повітря в дробарці	6
2 РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЛОВИХ РОЗРАХУНКІВ ТА ЇХ АНАЛІЗ	9
ВИСНОВКИ	12
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	13

ВСТУП

В сільському господарстві набули широкого розповсюдження технології виробництва комбікормів безпосередньо в господарствах за допомогою комбікормових агрегатів, більша частина з яких мають в своєму складі молоткову дробарку. Робота дробарки оцінюється оптимальним співвідношенням трьох головних характеристик:

- ступенем подрібнення (якість);
- пропускною властивістю дробарки (продуктивність);
- витратою енергії на подрібнення (енергомісткість).

Проектуючи дробарки, не завжди вдається реально вийти на їх необхідні параметри та режими роботи, бо на сьогодні недостатньо з'ясована роль великої кількості різних чинників та ступінь впливу їх на роботу дробарок. Проте з досвіду експлуатації молоткових дробарок з пневматичним завантаженням відомо, що покращити якість подрібнення, знизити енергомісткість, а також збільшити продуктивність можливо, в числі іншого, за рахунок оптимізації повітряних потоків в дробильній камері. Перспективність і важливість науково-дослідних і конструкторських робіт у цьому напрямку пояснюється невикінченою методикою інженерного розрахунку цього типу машин, що в подальшому приводить до конструкцій, які мають істотні недоліки.

Зокрема при експлуатації дробарки молоткової вертикальної А1-ДМ2Р-55В розробки ПАТ «ХМЗ» спостерігались випадки скупчення подрібненого продукту в центрі сита $\varnothing 860$, супроводжуваних затиканням отворів решета шаром подрібненого продукту та зниженням внаслідок цього продуктивності дробарки. Виявлення причин цього явища потребує ретельного дослідження руху повітря в дробарці, зокрема структури течії крізь та навколо сита $\varnothing 860$, та розробки на цій основі ефективних конструктивних рішень. Виконання такого дослідження експериментальним методом унеможлиблюється технічними труднощами та відсутністю у підприємства належної виміральної техніки.

В даний час математичне (числове) моделювання стає одним з найбільш економічних та зручних способів детального аналізу складних аеродинамічних процесів в технічних об'єктах.

Даний звіт підготовлено за результатами розробки науково-технічної продукції «Математичне моделювання течії повітря в дробарці молоткової вертикальній А1-ДМ2Р-55В».

Робота складається з вступу, двох розділів, висновків та переліку посилань.

В першому розділі описані математична постановка задачі та метод її вирішення.

В другому розділі наведені результати виконаних числових розрахунків і їх аналіз.

Робота містить 13 сторінок друкованого тексту та 4 ілюстрації.

1 МАТЕМАТИЧНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА МЕТОД ЇЇ ВИРІШЕННЯ

1.1 Об'єкт і предмет дослідження

Об'єкт дослідження – течія повітря в дробарці молоткової вертикальній А1-ДМ2Р-55В (рис. 1.1) [1].

Дробарка молоткова марки А1-ДМ2Р-55В призначена для подрібнення зерна злакових, пливчастих, бобових культур, кукурудзи, зерноsumішей, шроту, дрібношматкової макухи та інших видів сировини (крім мінеральної) на підприємствах комбікормової промисловості.

Дробарка складається зі станини 1, кришки 2, молоткового ротора 3, приймача 4, завантажувача 5, камери вибухорозрядної 6, електродвигуна 9, корпусу ситового 11, механізму кріплення корпусу ситового 12, дверей 14 (див. рис. 1.1, б). Станина 1 є зварною конструкцією, на яку встановлені основні вузли дробарки. Кришка 2 – це несуча частина дробарки, що знімається, на яку встановлені робочі органи дробарки. Молотковий ротор 3 – основний робочий орган дробарки. Він виконаний у вигляді трьох дисків, що зварені між собою. На розпорних втулках стяжних вісей встановлені втулки, що призначені для обмеження переміщення молотків вздовж вісей їх підвісу. Приймач 4 являє собою конструкцію самотечій, що забезпечують рівномірний розподіл потоку продукту, що подрібнюється, на два потоки. Завантажувач 5 призначений для рівномірної подачі сировини в дробильну камеру. Завантажувач оснащений ручною засувкою регулювання подачі зерна та магнітним захистом для виділення металоманітних домішок. Камера вибухорозрядна 6 – це пристрій для відведення вибуху в аварійній ситуації, має вихідний діаметр 250 мм. Електродвигун 9 фланцем встановлюється на кришку. На вал двигуна насаджений ротор з молотками. Корпус ситовий 11 являє собою каркас із чотирма ситами 157×535 та одним ситом $\varnothing 860$. Конструкція корпусу надає можливість заміни та встановлення зношених сит, прижимов і дек. Діаметр отворів встановлених решет забезпечує крупність помолу. Двері 14 забезпечують доступ до корпусу ситового та молотків і дозволяють виконувати обслуговування робочих органів.

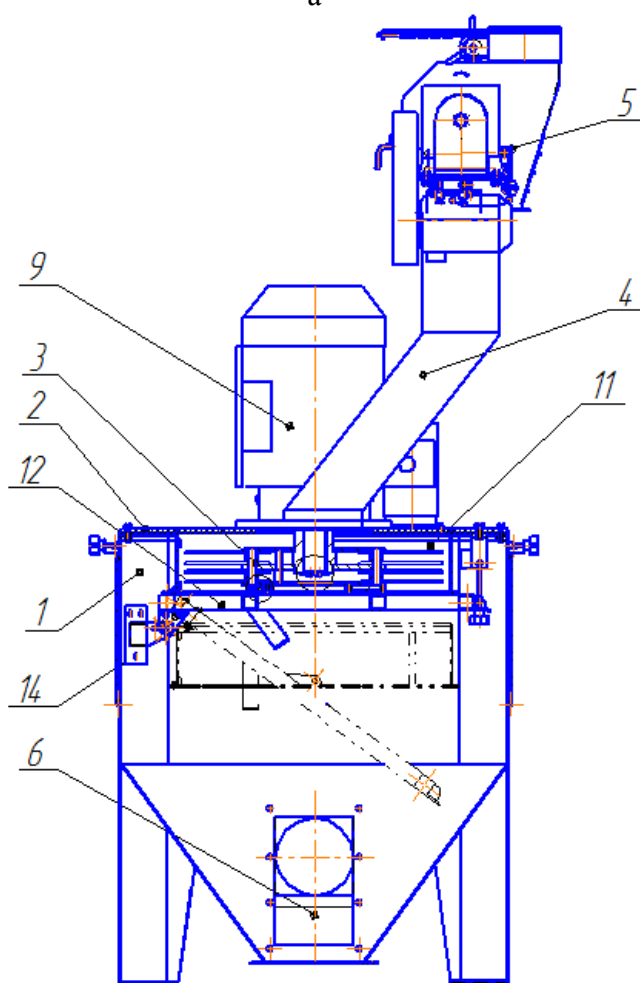
Дробарка працює таким чином: продукт подається в завантажувач, звідки, розподілений на два потоки, поступає в дробильну камеру та подрібнюється молотками ротора. Молотки, ударяючи зерно о сито та деки, руйнують його. Зруйновані зерна висіваються крізь сито та самотечією залишають дробарку.

Дробарка має такі проголошені технічні характеристики:

- продуктивність технічна при подрібненні ячменю вологістю не більше 15,5 % з об'ємною масою не менше $0,68 \text{ т/м}^3$, на решетах діаметром 6 мм – 10 т/год;
- частота обертання ротору – 3000 об/хв.;
- окружна швидкість молотків – близько 116 м/с.



а



б

а – загальний вигляд; б – устрій

Рис. 1.1 – Дробарка молоткова вертикальна А1-ДМ2Р-55В

Розташовані в корпусі ситовому ротор і молотки, обертаючись, сумісно працюють як елементи комбінованого радіально-дискового вентилятора, створюючи циркуляційний рух повітря в дробарці.

Предмет дослідження – поля швидкості повітря в дробарці з існуючою та модифікованою конструкціями ротора, зокрема структура течії повітря крізь та навколо сита $\varnothing 860$ та наявність або відсутність умов для скупчення подрібненого продукту в його центрі.

1.2 Математична модель та числовий метод розрахунку течії повітря в дробарці

При математичному опису аеродинамічних процесів у дробарці враховано явище турбулентності у припущенні, що повітря є нестисливим, а дробарка є герметичною (не має сполучення з атмосферою). Поведінка об'єкта дослідження описувалась системою диференціальних рівнянь в часткових похідних (ДРЧП), що складалась з нестационарних усереднених за Рейнольдсом рівнянь нерозривності, збереження імпульсу у формі Нав'є – Стокса та двох рівнянь диференційної моделі турбулентності $k - \varepsilon$ типу [2]:

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0, \quad i = 1, 2, 3, \quad (1.1)$$

$$\rho \frac{\partial u_j}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial u_j}{\partial x_i} = - \frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad i = 1, 2, 3; \quad j = 1, 2, 3, \quad (1.2)$$

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho \frac{\partial (u_i k)}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_m}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} - G + \rho \varepsilon = 0, \quad (1.3)$$

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho \frac{\partial (u_i \varepsilon)}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_m}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 1} G \frac{\varepsilon}{k} + C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} = 0, \quad (1.4)$$

де u_i – декартові компоненти (x, y або z) вектора усередненої швидкості повітря;

x_i – декартові координати (x, y або z);

ρ – густина повітря;

p – тиск повітря;

μ – динамічна в'язкість;

μ_m – турбулентна в'язкість, що визначається формулою Колмогорова – Прандтля;

$$k = \frac{1}{2} u'_i u'_i \text{ и } \varepsilon = \frac{1}{2} \nu \left(\frac{\partial u'_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u'_i}{\partial x_j} \right)^2 - \text{кінетична енергія турбулентності та питома швид-}$$

кість її дисипації відповідно;

u'_i – збурення швидкості повітря відносно усередненого значення;

ν – кінематична в'язкість;

h – питома ентальпія;

$$G = \mu_m \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \text{член, що характеризує генерацію кінетичної енергії тур-}$$

булентності за рахунок зсувних напружень;

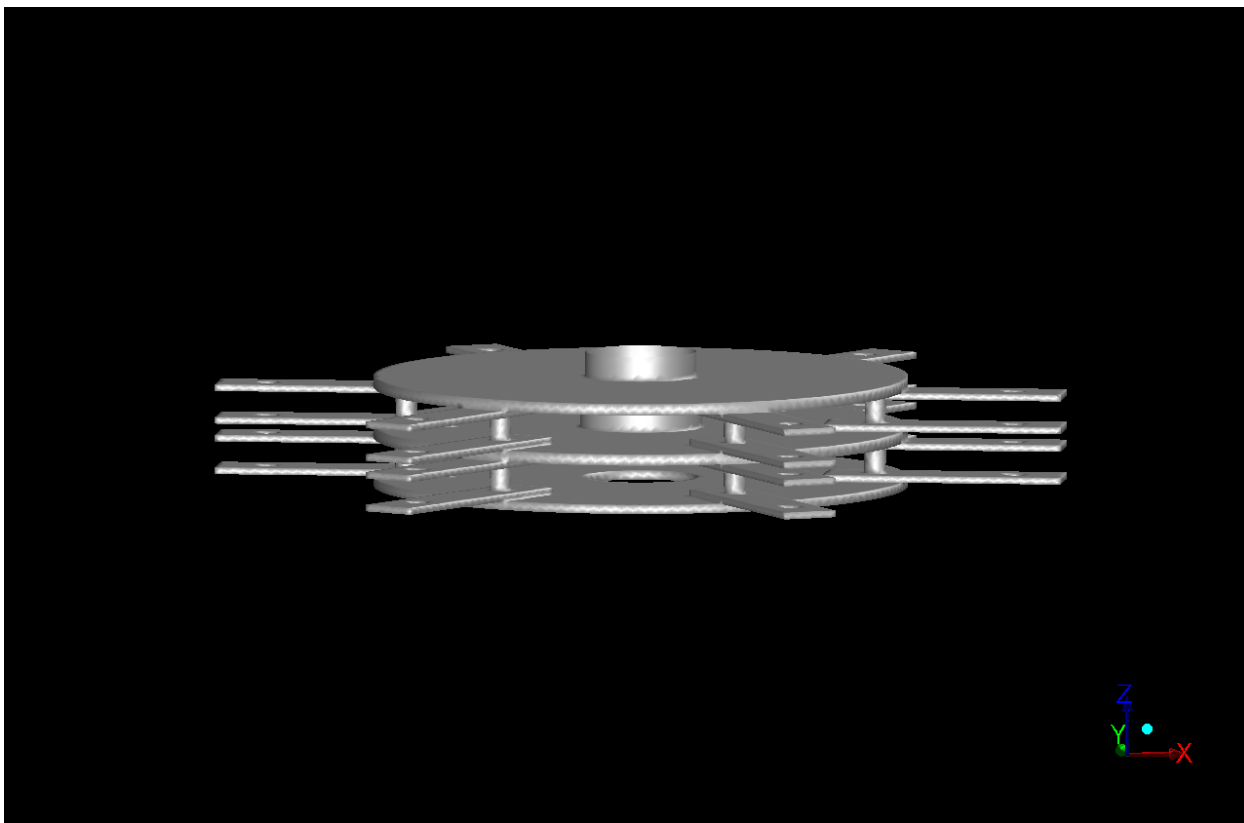
$\sigma_k, \sigma_\varepsilon, \sigma_m, C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}$ – емпіричні коефіцієнти.

Для урахування обертального руху ротора дробарки система рівнянь (1.1) – (1.4) для цих елементів розглядалася в рухомій неінерційній системі координат, а для всіх інших – в нерухомій інерційній системі координат.

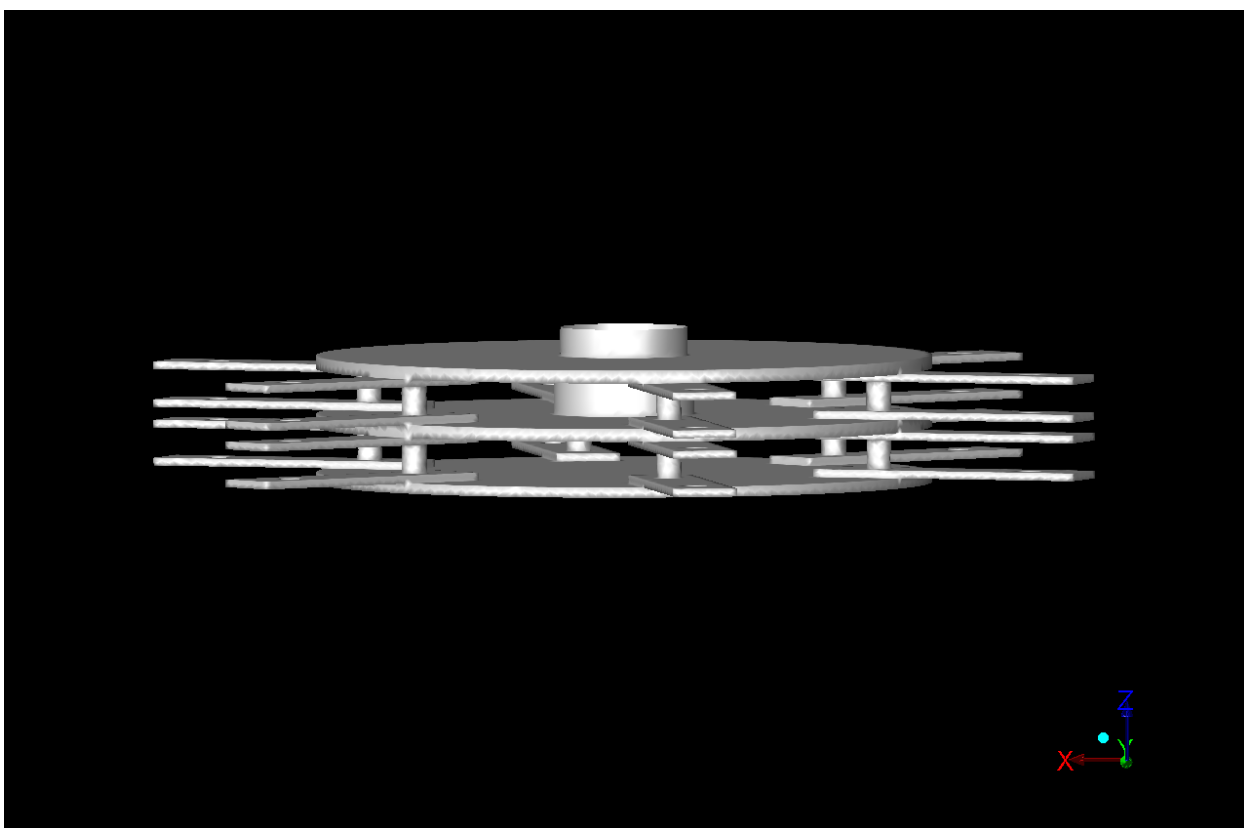
Числове рішення відшукували в межах розрахункових областей, що відповідали вихідній та модифікованій конструкціям ротора (рис. 1.2) та охоплювали внутрішній об'єм дробарки. Для економії комп'ютерних ресурсів твердотільні моделі розрахункових областей було спрощено, зокрема вилучені дрібні елементи конструкції та ті з них, що суттєво не впливають на загальний рух повітря. Сито моделювалось як нескінченно тонке пористе тіло з порозністю $\bar{F} = 0,5$ [3] та коефіцієнтом гідравлічного опору $\xi = 3,75$ [4] (без урахування опору продуктово-повітряного шару).

Розрахункова область вкривалася сіткою, що містила 363223 комірок поліедричної форми.

Числове інтегрування ДРЧП (1.1) – (1.4) здійснювалось методом контрольних об'ємів [5] з використанням схеми апроксимації конвекційних членів третього порядку точності MUSCL Ван Ліра [6]. Квазістаціонарне рішення знаходилось методом усталення. Значення змінних в комірках, що межують зі стінками, розраховували із використанням емпіричних функцій. На стінках розрахункової області завдавали обертальну швидкість, умови прилипання та нульову турбулентну в'язкість.



а



б

а – існуючий варіант (з отвором в нижньому диску);
б – модифікований варіант (без отвору в нижньому диску)
Рис. 1.2 – Розраховані конструкції роторів дробарки

2 РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЛОВИХ РОЗРАХУНКІВ ТА ЇХ АНАЛІЗ

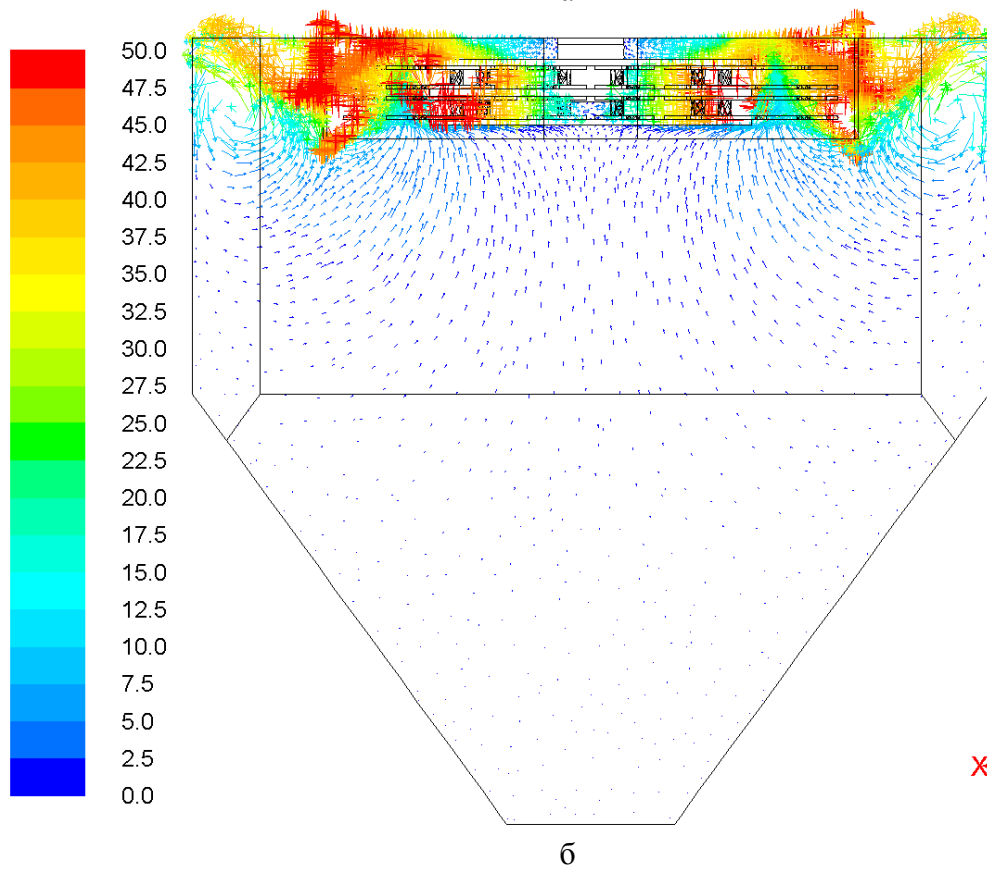
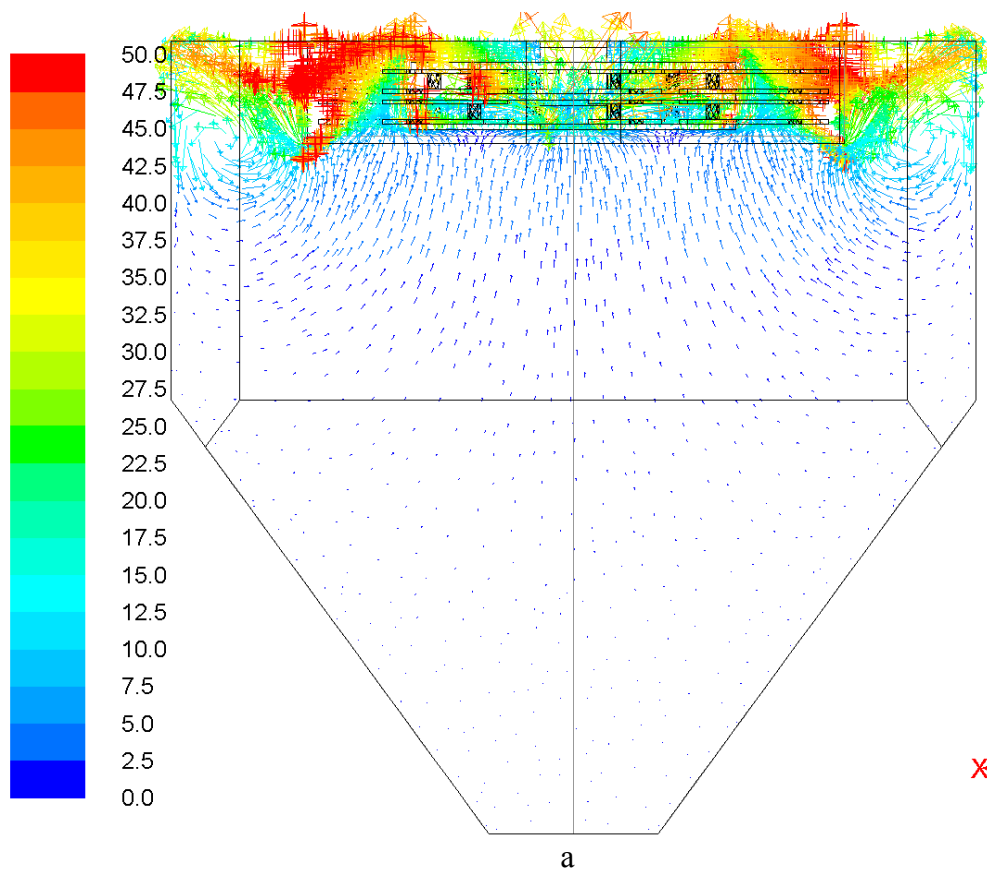
Результати числових розрахунків двох варіантів дробарки показані на рис. 2.1 і 2.2.

З рис. 2.1 і 2.2 видно, що як в існуючій конструкції дробарки (з отвором в нижньому диску ротора), так і в модифікованій конструкції дробарки (без отвору в нижньому диску ротора) має місце загалом циркуляційний рух повітря. Ця циркуляційна течія має висхідну ділянку навпроти сита $\varnothing 860$ (див. рис. 2.1).

Проте локальні структури течій навколо сита $\varnothing 860$ в існуючій конструкції і в модифікованій конструкції мають істотні відмінності. Так в існуючій конструкції дробарки висхідний потік повітря всмоктується в отвір в нижньому диску ротора, внаслідок чого в площині xOy сита $\varnothing 860$ потік рухається у радіальному напрямку від периферії до центру сита (див. рис. 2.1, а). В модифікованій конструкції дробарки, навпаки, висхідний потік повітря вимушений оминати суцільний нижній диск ротора, внаслідок чого в площині xOy сита $\varnothing 860$ потік рухається у радіальному напрямку від центру до периферії сита (див. рис. 2.1, б).

Тобто в існуючій конструкції дробарки існують умови для скупчення подрібненого продукту в центрі сита $\varnothing 860$, внаслідок того, що потік повітря «намітає» продукт з периферії до центру. Відповідно в модифікованій конструкції дробарки умови для скупчення подрібненого продукту в центрі сита $\varnothing 860$ відсутні, бо радіальний потік повітря, що створюється внаслідок оминання суцільного нижнього диска ротора «розмітає» транспортований висхідною течією продукт від центру сита $\varnothing 860$ до його периферії, звідки він залишає корпус ситовий крізь отвори чотирьох сит 157×535 .

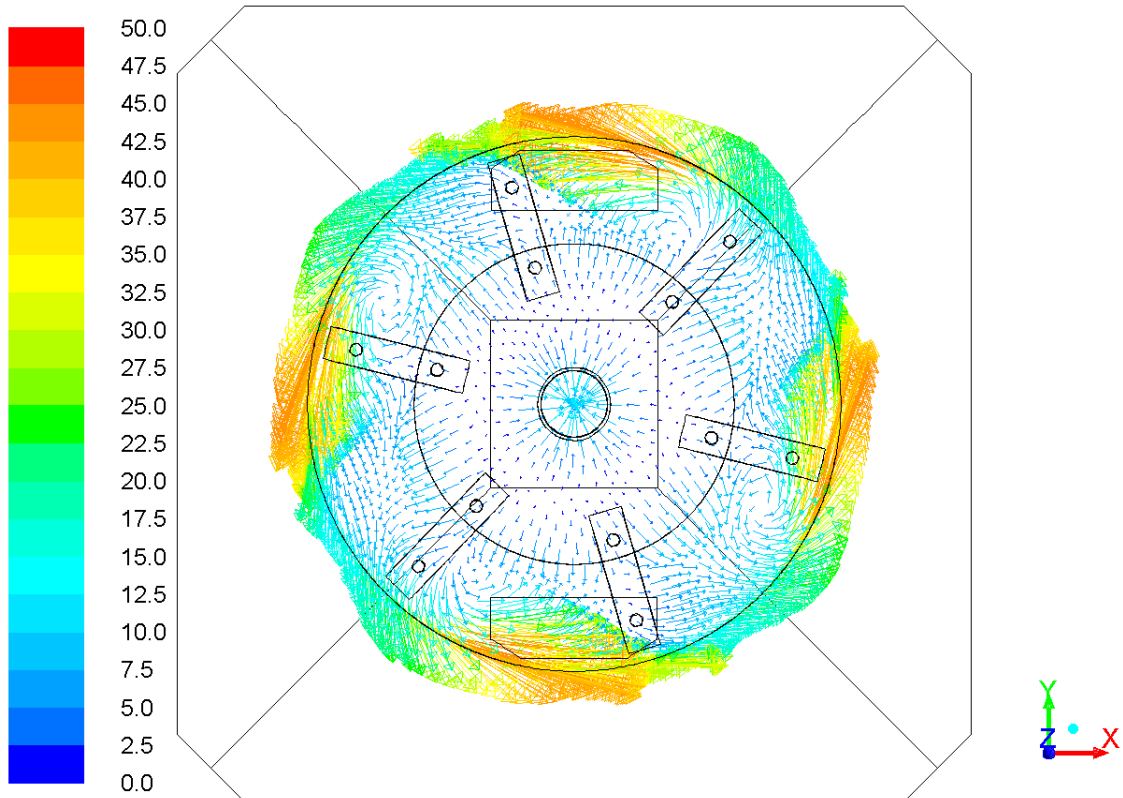
Таким чином, виконання нижнього диска ротора суцільним має запобігти скупченню подрібненого продукту в центрі сита $\varnothing 860$, супроводжуваного затиканням отворів решета шаром подрібненого продукту та зниженням внаслідок цього продуктивності дробарки А1-ДМ2Р-55В.



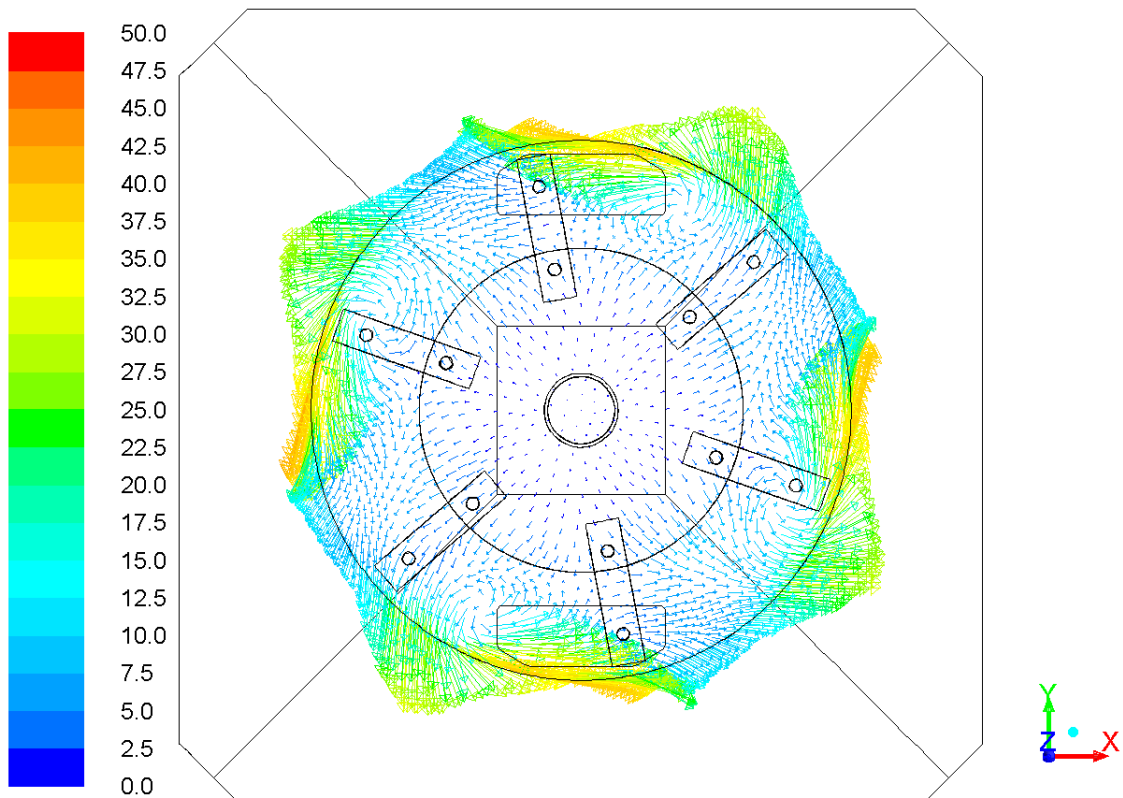
а – існуючий варіант (з отвором в нижньому диску ротора);

б – модифікований варіант (без отвору в нижньому диску ротора)

Рис. 2.1 – Вектори абсолютної швидкості повітря в меридіональній площині xOz дробарки, забарвлені відповідно до модулю абсолютної швидкості повітря (м/с)



а



б

а – існуючий варіант (з отвором в нижньому диску ротора);

б – модифікований варіант (без отвору в нижньому диску ротора)

Рис. 2.2 – Вектори абсолютної швидкості повітря в площині xOy , що збігається з ситом $\varnothing 860$ дробарки, забарвлені відповідно до модулю абсолютної швидкості повітря (м/с)

ВИСНОВКИ

В результаті виконання розробки:

а) сформульовано загальну фізико-математичну постановку та чисельно вирішено два варіанти задач про тривимірну нестационарну турбулентну течію повітря в дробарці молоткової вертикальній А1-ДМ2Р-55В;

б) надано результати виконаних числових розрахунків у вигляді малюнків із зображенням векторних полів миттєвих абсолютних швидкостей повітря в дробарці;

в) на основі аналізу виконаних числових розрахунків запропоновано можливий варіант модифікації конструкції дробарки, що має запобігти скупченню подрібненого продукту в центрі сита $\varnothing 860$, супроводжуваного затиканням отворів решета шаром подрібненого продукту та зниженням внаслідок цього продуктивності дробарки А1-ДМ2Р-55В.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дробилка молотковая вертикальная марки А1-ДМ2Р-55В. Руководство по эксплуатации А1-ДМ2Р.55В.РЭ. – Хорол, 2009. – 15 с.
2. Launder В.Е. Lectures in Mathematical Models of Turbulence / В.Е. Launder, D.В. Spalding // Academic Press, London, England. – 1972. – P. 15 – 22.
3. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
4. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: справочное пособие / С. С. Кутателадзе – М., 1990.
5. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Т.1. – М.: Мир, 1991. – 504 с.
6. Van Leer В. Toward the Ultimate Conservative Difference Scheme. IV. A Second Order Sequel to Godunov's Method / В. Van Leer // Journal of Computational Physics. – 1979. – № 32. – С. 101-136.