

Аналіз ефективності двовального лопатевого змішувача сипких сировинних матеріалів за допомогою САЕ-систем

О. І. Кутняшенко, А. А. Топоров, П. В. Третяков, О. Є. Алексєєва, І. В. Кутняшенко, В. М. Боровльов, О. Д. Костіна

Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м.Покровськ, Україна
*Corresponding author. E-mail: oleksii.kutniashenko@donntu.edu.ua

Paper received 04.02.20; Accepted for publication 20.02.20.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2020-224VIII27-17>

Анотація. Робота присвячена пошуку шляхів підвищення ефективності двовального лопатевого змішувача. Змішування матеріалу є важливим і невід'ємним етапом практично в кожному промисловому виробництві і Пріоритетним напрямком технічного прогресу в промисловості є вдосконалення технологічних процесів, заміна морально і фізично застарілого обладнання. Для аналізу ефективності існуючих конструкцій лопатевого змішувача представлені результати дослідження потоків часток матеріалу в робочій зоні апарата, які досліджувалися шляхом моделювання процесу в САЕ-комплексі. В статті приведений алгоритм розрахунку потоку часток в програмному комплексі EDEM, розроблено розрахунковий та аналітичний аналіз ефективності перемішування трьох видів змішувачів. Для підвищення ефективності двовального змішувача запропоновано змінити конструкцію лопатей та їх кут встановлення. Дослідження показали, що двовальний змішувач з лопатями під кутом 45° має найбільшу ефективність перемішування, яка становить 91,7 %.

Ключові слова: Лопатевий змішувач, конструкція, ефективність, частинка, моделювання, EDEM.

Поняття процесу змішування. В сучасних галузях промисловості широко поширене виробництво сумішей сипучих порошкоподібних матеріалів, наприклад, в хімічній, фармацевтичній, будівельній, харчовій, машинобудівній та інших галузях. Процес перемішування (змішування) відноситься до механічних процесів хімічної технології, швидкість яких визначається законами фізики твердих тіл [1].

Метою процесу перемішування є отримання максимально однорідної суміші двох або більше компонентів. Однак отримання сумішей сипучих матеріалів з високою однорідністю розподілу компонентів є технологічно дуже складним завданням. У роботі [2] виділені основні проблеми, що виникають при змішуванні, серед яких виділена проблема сегрегації компонентів при змішуванні, яка призводить до розшарування компонентів і не дозволяє отримати повністю однорідну суміш в принципі. Відомо досить велике число досліджень з виявлення механізмів сегрегації, але її вплив на кінетику змішування вивчено набагато менше.

Однак від однорідності одержуваних сумішей безпосередньо залежать споживчі властивості вироблених з них виробів. Наприклад, нерівномірний розподіл інгредієнтів в лікарських таблетках в кращому випадку веде до зниження лікувального ефекту, а нерівномірний розподіл компонентів будівельної суміші знижує міцність виготовленого з неї виробу.

Змішування умовно складається з трьох елементарних процесів [3]:

- конвективне змішування - це переміщення групи суміжних частинок з одного об'єму місця суміші в інше;
- дифузійне змішування - це поступове переміщення частинок різних компонентів через новоутворені межі їх розділу;
- змішування зсувом - при якому суміжні шари частинок рухаються відносно один одного.

Дифузійне змішування відбувається в значній мірі в барабанних і вібраційних змішувачах. У першому випадку при наявності поверхні розділу частка може пе-

реміщатися в будь-якому напрямку при зіткненні з іншою. У другому випадку маса набуває властивостей псевдорідини, і в шарі створюються умови для вільного переміщення частинок.

Конвективне змішування відбувається в горизонтальних лопатевих і вертикальних шнекових змішувачах [2, 3]. Швидкість змішування залежить від частоти обертання ротора і інтенсивності обміну часток.

Механізм змішування зсувом характерний для протиточних стрічкових змішувачів, що мають зовнішню і внутрішню спірالی і переміщують продукт в протилежних напрямках.

У змішувачах в процесі сумішоутворення одночасно беруть участь всі три механізми змішування в більшій чи меншій мірі. Внаслідок розбіжності фізико-механічних властивостей компонентів змішування сипучих компонентів супроводжується протилежним процесом - сегрегацією готової суміші [2, 3].

Сегрегація – це зосередження частинок, що мають близькі розміри, форму і масу в різних місцях змішувача під дією сил тяжіння (гравітаційних сил).

Закінчення процесу змішування слід встановлювати в той момент, коли явище сегрегації ще не почало помітно проявлятися.

У загальному випадку процес змішування є зміна концентрації будь-якого компонента у часі в робочій камері змішувача (рис. 1).

Для змішувачів періодичної дії в загальному вигляді можна показати наявність трьох основних зон на кривій, що характеризує процес, званої кривою змішування [3].

Якщо розділити за часом змішування на три інтервали, то в першому переважає конвективне змішування, у другому – дифузійне, в третьому – сегрегація. Причому може наступити такий стан, при якому деякий час сегрегація переважатиме, і суміш частково знову розсіплеться. При продовженні процесу знову можуть переважити явища змішування.

Перші два процеси сприяють рівномірному розподілу часток в суміші, останній перешкоджає цьому. Тому доцільно закінчення процесу встановлювати в

той момент, коли явище сегрегації ще не почало помітно проявлятися, тобто необхідно закінчувати процес

в кінці другого інтервалу змішування.

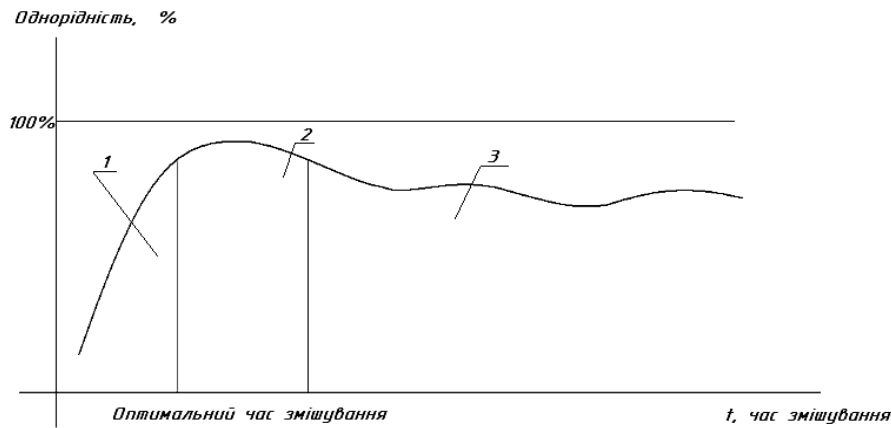


Рисунок 1 – Крива змішування. 1 – конвективне змішування; 2 – дифузійне змішування; 3 – сегрегація

Основні принципи змішування і типи змішувачів. Існує багато конструктивних реалізацій змішувачів сипких матеріалів, одним із найбільш розповсюджених є лопатеві. Лопатеві змішувачі відносяться до універсальних змішувальних машин. У них можна змішувати як зволожені матеріали і пасти, так і сухі сипучі матеріали. Виготовляються вони з одним або в більшості випадків з двома валами, на яких змонтовані змішувальні елементи. У лопатевих змішувачах для змішування і осьового переміщення сипучих матеріалів служать лопатки, спіралі, переривчасті витки шнека або гвинтові стрічки, закріплені на одному або двох паралельних валах, пропущених через корпус змішувача [3, 4]. Перетин корпусу цих змішувачів може мати одну з наступних форм: циліндричну, коритоподібну, овальну.

Лопатеві змішувачі є змішувачами безперервної дії з примусовим перемішуванням, відрізняються простою конструкції, великою продуктивністю і легкістю обслуговування. Недоліки лопатевих змішувачів: не забезпечується ретельне змішування компонентів і лопаті змішувача вганяють повітря в змішують масу, що погіршує її пластичність.

Двовальні лопатеві змішувачі (рис. 2) при меншій довжині краще змішують матеріали, ніж одновальні. Вони бувають з однаковим і різним числом оборотів лопатевих валів, прямих і протиточні, для перемішування сухих і зволжених матеріалів, з водяним і паровим зволоженням [3, 4].

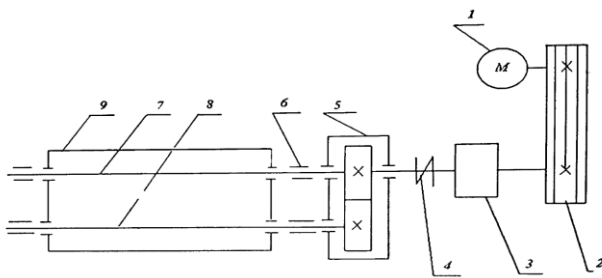


Рисунок 2 – Кінематична схема двовального лопатевого змішувача

1 - електродвигун; 2 - клинопасова передача; 3 - редуктор; 4 - муфта; 5 - зубчаста передача; 6 - підшипник; 7 - лопатевий привідний вал; 8 - лопатевий головний вал; 9 - корпус

Корпус змішувача змонтований в рамі, яка є несучою конструкцією всього змішувача. Рама кріпиться нерухомо на фундаменті при монтажі. На корпусі змішувача передбачені ребра жорсткості, що виключають вібрацію при роботі. Усередині корпусу встановлено лопатевий привідний і головний вали на підшипниках кочення, які в свою чергу встановлені на опорах (швелерах). Вали з закріпленими на них лопатями, є головними робочими органами змішувача і служать для безперервного змішування компонентів [3-5]. Для зручності складання вали виконані знімними і встановлюються в зібраному вигляді.

Лопатевий привідний вал пов'язаний з головним валом циліндричними шестернями, зануреними в масляну ванну. Обортові частини змішувача мають огорожу для забезпечення безпеки робітникам. Вали, обертаючись назустріч один одному в підшипниках, взаємодіють зі змішуваним матеріалом і змішують його. Інтенсивно перемішуючись, суміш просувається уздовж змішувача до розвантажувальної воронки [2, 4]. Для введення рідких компонентів в кришці змішувача передбачені форсунки розпилювальні, які забезпечують своєчасне зволоження матеріалу [2, 3].

У двовальному змішувачі вали можуть обертатися назустріч один одному або в одну сторону. Перемішуючі елементи, що закріплюються на валах, як правило, однотипні (або лопатки, або стрічки чи ін.). Однак є черв'ячно-лопатеві змішувачі, у яких перемішуючі елементи чергуються: наприклад, лопатки чергуються з витками шнека. Напрямок гвинтових ліній, за якими монтують перемішуючі елементи, в двовальних змішувачах може бути однаковим або різним. В останньому випадку один з валів повинен мати значно більшу транспортуючу здатність з тим, щоб забезпечити проходження змішаного матеріалу уздовж змішувача від місця завантаження до місця вивантаження. Змішувач, в залежності від характеристики цього пристрою може акумулювати значну масу матеріалу, що забезпечує більший час його перебування в змішувачі, а це, у свою чергу, призводить до високої якості змішування і ефективного придушення пульсацій подачі компонентів.

Мета дослідження – підвищення ефективності та працездатності змішувача є актуальною темою у

зв'язку зі значними витратами на процес перемішування, ремонт обладнання та витратами часу на проведення процесу перемішування.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси в двовальному змішувачі, для змішування дисперсних мас.

Методи дослідження – математичне моделювання роботи двовального змішувача, на основі моделювання процесу перемішування з використанням сучасних САЕ – систем.

Вихідними даними для розрахунку є продуктивність змішувача $V = 20$ т/год.

Моделювання процесу змішування у EDEM. Для розрахунку процесу змішування задаємо параметри дискретного матеріалу. Для цього у дереві проекту створюємо новий матеріал з характеристиками представленими на рис. 4.17...4.23. Під час розрахунку буде використовуватися два діаметри матеріалу 55 мм та 30 мм. Далі приведено послідовність вводу показників і розрахунок властивостей частинок для діаметра 55 мм (рис. 3).

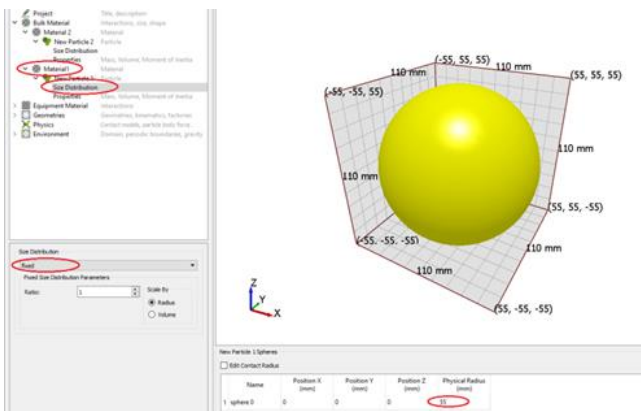


Рисунок 3 – Завдання діаметру 55 мм для частинки матеріалу (EDEM)

При розрахунку властивостей частинок матеріалу з діаметром 55 мм в програмі EDEM задаємо наступні параметри: у вікні «Calculate properties based on:» обираємо «Spheres» та «Automatically Center Particle», далі в полі «New Particle 1 Properties» обираємо «Auto Calculation».

Радаємо об'ємні властивості матеріалу. У вікні «Material 1 Properties» для частинок діаметром 55 мм задаємо наступні значення: Poisson's Ratio (ν): 0,2; Solids Density (ρ): 1850 kg/m³; Shear Modulus (G): 2e+07 Pa; Coefficient of Restitution: 0,2; Coefficient of Static

Friction: 0,5; Coefficient of Rolling Friction: 0,01. Для частинок діаметром 30 мм виконується аналогічна послідовність операцій.

Далі задаємо характеристики матеріалу обладнання, в якому буде відбуватися процес. У вікні «EquipMaterial 1 Properties» задаємо наступні значення: Poisson's Ratio (ν): 0,3; Solids Density (ρ): 7800 kg/m³; Shear Modulus (G): 7e+08 Pa; Coefficient of Restitution: 0,5; Coefficient of Static Friction: 0,5; Coefficient of Rolling Friction: 0,01.

За допомогою імпорту додаємо геометричну модель двовального змішувача [5-6]. Для цього в дереві моделі необхідно обрати Геометрія (Geometry) натиснути ПКМ та вибрати Імпорт Геометрії (Import Geometry). Після задаємо кінематику (Add Kinematic) та обираємо для кожного валу лінійне обертання (Linear Rotation) з необхідними параметрами - вікні «Specification» задаємо Start Time: 2 s; Initial Velocity: 65 rpm; у полі «Axis of Rotation» на вісі X (End): задаємо 4500 mm; у полі «Point of Action» на вісі Z: задаємо 475 mm.

Після вибору усіх параметрів наступним кроком є додавання факторів (Add Factory) для кожного матеріалу, де у вікні «Particle Generation» вказується кількість матеріалу (Total Number: 1000; Target Number (per second): 3000); вибір часу (Start Time: 1e - 12 s); початкова швидкість матеріалу (у полі Parameters/Material Velocity: fixed) та інші параметри.

По закінченні створення моделі симуляції необхідно перейти у розділ Симулятор (Simulator) та задати параметри, які необхідні безпосередньо для розрахунку (у вікні «Simulator Settings» потрібно обрати Time Integration: Euler; Fixed Time Step: 20%; Total Time: 130 s; Target Save interval: 0,01 s; Cell Size: 2,5 R min; Number of CPU Cores: 12). Далі натискаємо Запуск Симуляції (Start Simulating).

По завершенню симуляції нам буде, про це повідомлено у повідомленні Симуляція Завершена (Simulated Complete). Після цього переходимо у розділ Аналізування «Analyst» та будуємо графіки по отриманим даним.

Протягом 130 с було проведено симуляцію, цього вистачило, аби побачити місця, які потребують у подальшому вдосконалення конструкції.

У даній праці проводилося 3 розрахунки: 1) 3 лопаті під кутом 45°; 2) 3 лопаті під кутом 90°; 3) 2 лопаті під кутом 45°. На рисунку 4 представлено рух часток матеріалу у змішувачі з 2 лопатями під кутом 45° як найбільш показовий.

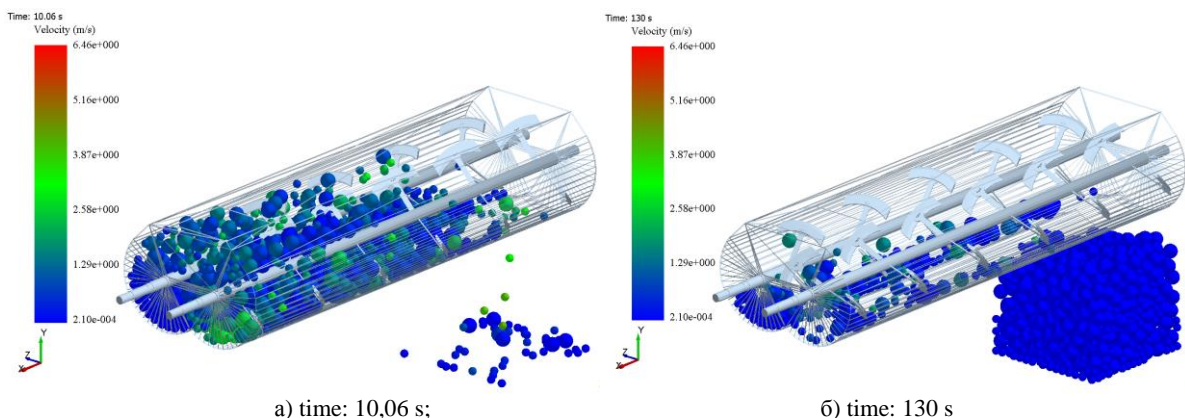


Рисунок 4 – Рух часток у змішувачі конструкції: 2 лопаті під кутом 45° (EDEM)

На рисунках 5-7 представлені графіки, на яких зображені залежності гранул від швидкості, кількості та інше, при зміні кутів лопатів та їх кількості. Такі результати дають змогу усвідомити, що кут та кількість лопатів у двовальному змішувачі грає велику роль, так як вони виконують одразу дві ролі – перемішування матеріалу та його переміщення уздовж корпусу до ви-

вантажувальної воронки. Також необхідно враховувати швидкість обертання валів та час перемішування, аби уникнути сегрегації і отримати якісну суміш. Представлені результати графіків для змішувача з 2 лопатями під кутом 45° як найбільш показового.

На графіку (рис. 5) показано, що найбільша кількість часток має швидкість 0,00 – 0,2980 м/с.

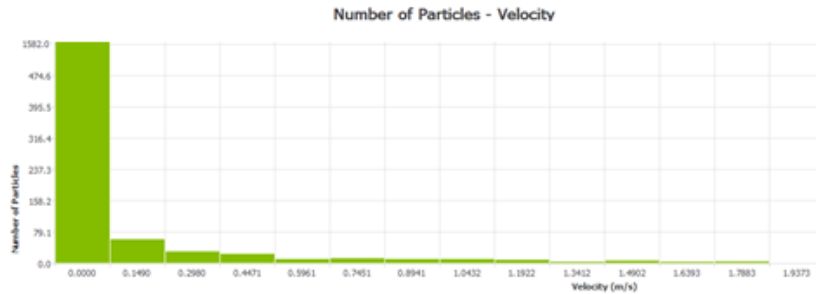


Рисунок 5 – Розподіл часток по швидкості у змішувачі з 2 лопатями під кутом 45° (EDEM)

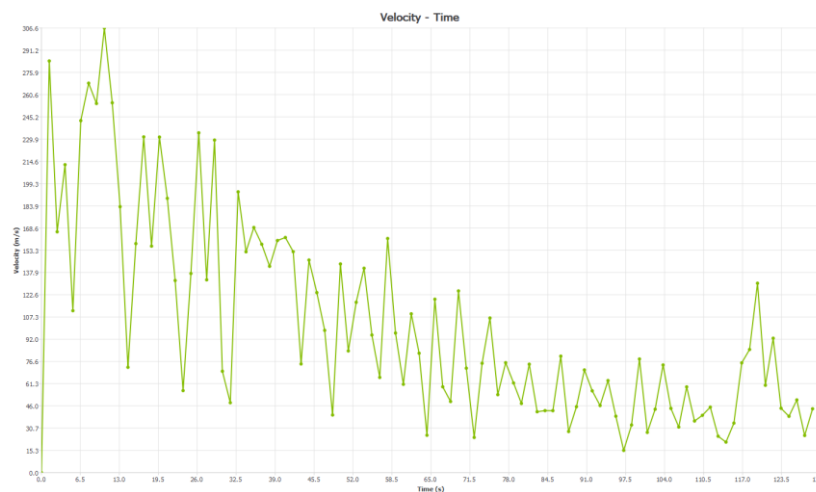


Рисунок 6 – Залежність середньої швидкості від часу у змішувачі з 2 лопатями під кутом 45° (EDEM)

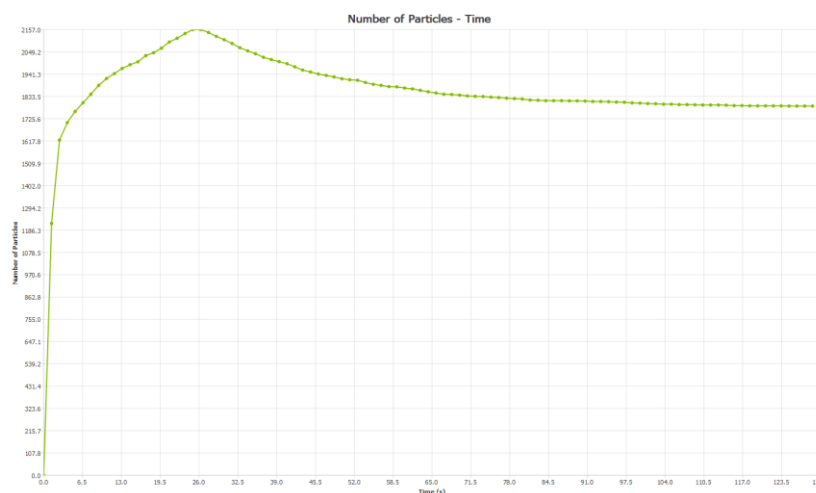


Рисунок 7 – Залежність кількості матеріалу від часу у змішувачі з 2 лопатями під кутом 45° (EDEM)

На графіку (рис. 7) продемонстровано, що кількість частинок з часом йде на спад і з кожною секундою їх

кількість зменшується.

Порівняння змішувачів приведемо в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння конструкцій змішувачів

Найменування змішувача	Час перемішування, с	Однорідність (%)	Ефективність перемішування (%)
Змішувач з 3 лопатями, під кутом 45°	125	78	82,1
Змішувач з 3 лопатями, під кутом 90°	130	62	72,4
Змішувач з 2 лопатями, під кутом 45°	112	89	91,7

За таблицею 1 побудуємо графік порівняння характеристик змішувачів (рис. 8).

Висновки. Виходячи з усього вищезазначеного, раціональним є використання змішувача з 2 лопатями, встановленими під кутом 45°, так як змішування матеріалу відбувається швидко та якісно, але існує застійна зона, її можливо позбутися змінивши конструкцію корпуса змішувача. Вона присутня через те що, лопаті не дістають до корпуса і через це майже не має контакту з матеріалом.

За допомогою САД-системи КОМПАС-3D розроблено фізичну 3D модель двовального змішувача. В

САЕ-комплексі EDEM проведено розрахунок потоків суміші та моделювання процесу перемішування, що відбувається в змішувачі.

Для підвищення ефективності двовального змішувача запропоновано змінити конструкцію лопатей та їх кут встановлення. Розроблено розрахунковий та аналітичний аналіз ефективності перемішування трьох видів змішувачів. Дослідження показали, що змішувач з двома лопатями, під кутом 45° має найбільшу ефективність перемішування, яка становить 91,7 %.

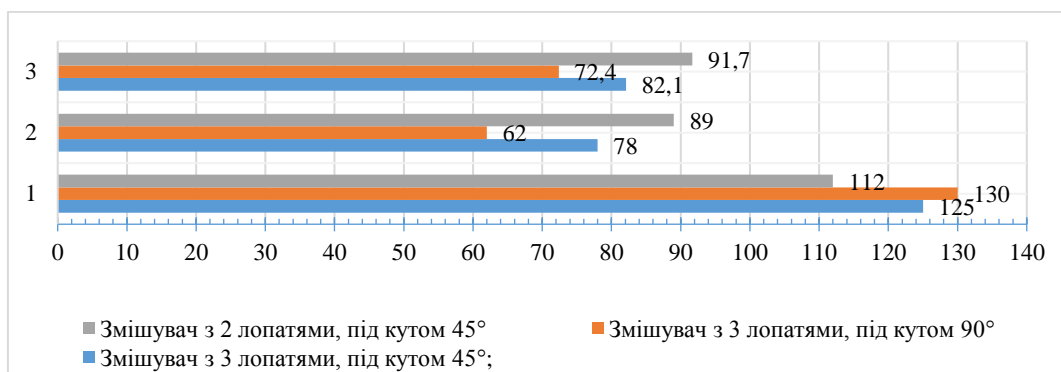


Рисунок 8 – Порівняння характеристик змішувачів
1 – час перемішування; 2 – однорідність; 3 – ефективність перемішування

ЛІТЕРАТУРА

- Кафаров В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Процессы измельчения и смешивания сыпучих материалов / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов, С.Ю. Арutyunov. – М.: Наука, 1985. – 440 с.
- Bridgwater J. Mixing of particles and powders: Where next? / J. Bridgwater//Particuology. – 2010. – Vol. 8. – p. 563-567.
- Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. / А.Г. Касаткин - М.: Химия, 1971. - 784с.
- Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. – М.: Машиностроение. – 1973. –216 с.
- Богданов В.С. Разработка SCADA-системы для управления планетарным смесителем / Богданов В.С., Семернин А.Н., Анциферов С.И., Колесник В.А.//Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. - № 1. – 292 с.
- Маликов, Р.Ф. Практикум по дискретно-событийному моделированию сложных систем / Р.Ф. Маликов. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2017. – 273 с.

REFERENCES

- Kafarov V.V. System analysis of chemical technology processes. The processes of grinding and mixing bulk materials / V.V. Kafarov, I.N. Dorokhov, S.Yu. Harutyunov. - M.: Nauka, 1985.-- 440 p.
- Bridgwater J. Mixing of particles and powders: Where next? / J. Bridgwater//Particuology. - 2010.-- Vol. 8. - p. 563-567.
- Kasatkin A.G. Basic processes and apparatuses of chemical technology. / A.G. Kasatkin - M.: Chemistry, 1971. - 784s.
- Makarov Yu. I. Devices for mixing bulk materials. - M.: Mechanical Engineering. - 1973. –216 p.
- Bogdanov V.S. Development of a SCADA-system for controlling a planetary mixer / Bogdanov V.S., Semernin A.N., Antsiferov S.I., Kolesnik V.A.//Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. - 2016. - No. 1. - 292 c.
- Malikov, R.F. Workshop on discrete-event modeling of complex systems / R.F. Malikov. - Ufa: Publishing House of BSPU, 2017.-- 273 p.

Analysis of the efficiency of a two-shaft paddle mixer for bulk raw materials using CAE systems

O. Kutniashenko, A. Toporov, P. Tretiakov, O. Aleksieva, I. Kutniashenko, O. Kostina, V. Borovlev

Abstract. The work is devoted to finding ways to improve the efficiency of a two-shaft paddle mixer. Mixing material is an important and integral step in almost every industrial production and the priority of technological progress in the industry is the improvement of technological processes, replacement of morally and physically outdated equipment. To analyze the efficiency of designs of existing paddle mixer presents the results of the flow of material particles study of in the working area of the apparatus, which were investigated by modeling the process in the CAE-complex. The algorithm of particle flow calculation in the EDEM software complex is presented in the article, the calculation and analytical analysis of mixing efficiency of three types of mixers is developed. To improve the efficiency of the two-shaft mixer it is proposed to change the design of the blades and their angle of installation. Studies have shown that a two-shaft mixer with blades at an angle of 45 ° has the highest mixing efficiency, which is 91.7%.

Keywords: Paddle mixer, design, efficiency, particle, simulation, EDEM.