

# МОДЕЛЮВАННЯ Й ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 621.757.06-52

## ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ СУМІШЕЙ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ.

© Іван Афтаназів, Ольга Баранецька, Олександр Сімчук, 1999  
ДУ "Львівська політехніка"

На підставі аналізу характеристик і властивостей сумішей сипучих матеріалів та промислових технологій їх приготування розроблено методику вибору оптимальних технологічних процесів змішування сумішей та обладнання для їх реалізації. В основу оптимізації покладено вперше запропоновані класифікаційні ознаки як самих сумішей та їх складників, так і технологічні аспекти та зумовлені ними крайові умови процесів перемішування.

Численні виробництва машинобудівної, будівельної, переробної, харчової та легкої промисловості у технологічних процесах виготовлення продукції ґрунтуються на приготуванні сумішей сипучих матеріалів. Так, наприклад, із вирішенням проблеми високопродуктивного і якісного приготування сумішей сипучих матеріалів стикаються на переробних підприємствах будівельної промисловості під час виготовлення цементу, гіпсу, шихти, керамічних та скляних виробів тощо, в машино- і приладобудуванні при змішуванні компонентів і формуванні маси у порошковій металургії, підготовці шихти до спікання фрикційних та гальмівних накладок, опор ковзання. Саме якістю приготованих із окремих складників сумішей зумовлена конкурентоспроможність готових виробів у фармакології та харчовій промисловості.

Здавалось би, простий щодо технічної реалізації процес перемішування сипучих матеріалів спричиняє цілу низку технічних і технологічних труднощів, як при його здійсненні, так і при виборі оптимальних засобів реалізації. Це викликано як різноплановістю характеристик сумішей сипучих матеріалів та вимог щодо їх якості, так і специфікою процесів змішування, що визначаються типом та видом того чи іншого виробництва, його потребами і технічною оснащеністю.

За своїми характеристиками суміші сипучих матеріалів можуть бути класифіковані так (рис.1):

1) за кількістю складників на:

- малокомпонентні (до трьох);
- із середньою кількістю складників ( від 3 до 5 );
- багатокомпонентні (понад 5 складників ).

2) за розмірами гранул окремих складників на:

- співмірні, геометричні розміри гранул яких не відрізняються більше ніж вдвічі;
- однопорядкові, розміри гранул яких знаходяться в межах одного порядку;

- неспівмірні, розміри гранул яких різняться більше ніж на один порядок.
- 3) за відсотком вмісту окремих складників у суміші на:
- однакового вмісту - різниця об'ємів складників не перевищує 100 ;
  - неоднакового вмісту - об'ємний вміст окремих складників знаходиться в межах одного порядку;
  - з переважаючим вмістом одного чи декількох окремих складників, об'єм якого (чи яких) на порядок більший від об'єму інших.
- 4) за рівнем питомої ваги складників на:
- однорівневі, питома вага складників яких різниться не більше ніж на 50;
  - різнорівневі, різниця у питомій вазі складників яких перевищує 50.



Рис.1. Класифікація сумішей сипучих матеріалів.

Так, суміш, що піддається спіканню для формоутворення виробів з вольфрам-кобальтових твердих сплавів, до складу якої входить 90 % карбіту вольфраму питомою вагою  $\rho = 19 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$  та 10 % кобальту  $\rho = 8 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ , за наведеною класифікацією належить до типу А1 (за кількістю складників - малокомпонентна), В1 (за розмірами гранул окремих складників - співмірна), С2 (за відсотком вмісту окремих складників - неоднакового вмісту), Д2 ( за рівнем питомої ваги складників - різнорівнева ), тобто А1В1С2Д2.

Переважна більшість будівельних клеючих сумішей (так звані сухі розчиники), до складу яких входить 80 % піску ( $\rho = 2,7 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ ), 10 % цементу ( $\rho = 2,7 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ ), 5 % вапна ( $\rho = 2,7 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ ) і 5 % гіпсу ( $\rho = 2,3 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ ), це суміші типу А2 (середня кількість складників), В2 (однопорядкова за розмірами гранул), С2 (неоднакового вмісту), Д1 (однорівнева), тобто А2В2С2Д1.

Оскільки основним завданням будь-якої технології є забезпечення належної якості готового продукту ( виробу ) при встановленій продуктивності, при виборі оптимального технологічного процесу приготування сумішей сипучих матеріалів доцільно спиратися на вимоги до показників якості готових сумішей. Звичайно, під якістю розуміють рівномірність розподілу у кожній одиниці об'єму готової суміші всіх без винятку складників суміші у певних заданих об'ємних чи масових співвідношеннях. Зрозуміло, що залежно від вартості виготовлених із сумішей виробів, призначення як самих сумішей, так і виробів з них, вимоги до якості сумішей істотно різняться. Однак умовно і з великою часткою допущення, суміші сипучих матеріалів можуть бути поділені на:

- надвисокої якості (НВЯ), відхилення від встановлених об'ємних чи масових співвідношень складників в яких не перевищує 1 %;
- високої якості (ВЯ) - відхилення до 5 %;
- середньої якості (СЯ) - відхилення до 10 %;
- низької якості (НЯ) - відхилення до 20 %.

Так, вже згадувані суміші вольфрамо - кобальтових сплавів, як і переважна більшість сумішей порошкової металургії, - це суміші надвисокої якості. Суміші керамічних і скляних виробів - суміші високої якості, суміші фрикційних і гальмівних накладок - суміші середньої якості, а переважна більшість будівельних сумішей - суміші низької якості. Визначення приналежності сумішей до тієї чи іншої групи якості та їх умовні позначення подано у таблиці.

### Групи якості сумішей

Якість сумішей	Рівні показники сумішей				Умовне позначення суміші An Bm Ck De
	A	B	C	D	
	n=(1+3)	m=(1+3)	k=(1+3)	l=(1+2)	
Надвисока НВЯ	A1	B1	C1; C2	D1; D2	A1B1C(1+2)D(1+2)
Висока ВЯ	A1; A2	B1; B2	C1; C2	D1; D2	A(1+2)B(1+2)C(1+2)D(1+2)
Середня СЯ	A (1+3)	B1; B2	C1; C2	D1; D2	A(1+3)B(1+2)C(1+2)D(1+2)
Низька НЯ	A (1+3)	B (1+3)	C (1+3)	D1; D2	A(1+3)B(1+3)C(1+3)D(1+2)

Як узагальнену характеристику технологічних процесів приготування сумішей сипучих матеріалів доцільно розглядати їх поділ за перервністю виконання та продуктивністю. Зокрема, їх розрізняють (рис.2):

1) за перервністю технологічного процесу на:

- дискретні, приготування сумішей в яких здійснюється окремими порціями;
- неперервні, в яких суміші змішуються безперервним потоком впродовж всього технологічного циклу;

2) за продуктивністю на:

- малопродуктивні з об'ємом приготування сумішей до  $1 \text{ м}^3$  за годину;

- середньопродуктивні (від 1 до 10 м<sup>3</sup> за годину);
- високопродуктивні (понад 10 м<sup>3</sup> за годину).



**Рис.2.** Класифікація технологічних процесів змішування сумішей сипучих матеріалів.

Так, технологічний процес приготування сумішей гальмівних накладок транспортних засобів, що запроваджений на Каменськ-Уральському ливарному заводі (Росія), за наведеною класифікацією належить до типу Д (за перервністю технологічного циклу - дискретний), с (за продуктивністю - середньопродуктивний), тобто Дс. Шихта керамічних виробів на Львівській керамічній фабриці (Україна) готується залежно від обсягів і виду готової продукції, або за схемою Дм - дискретно з малою продуктивністю, або ж за схемою Нс - неперервно із середньою продуктивністю. Це підтверджує, що класифікація технологічних процесів приготування сумішей сипучих матеріалів, переважно, не може розглядатися відокремлено від конкретного підприємства і його завдань.

У переважній більшості технології приготування сумішей сипучих матеріалів як в Україні, так і у високорозвинутих країнах світу (США, Англія, Німеччина, Японія тощо) зорієнтовані на застосування обертових змішувачів барабанного типу, змішувачів ротаційного типу з обертовими шнеками і лопастями, змішувачів міксерного типу та вібраційних змішувачів. На рис.3 наведено класифікацію обладнання для приготування сумішей сипучих матеріалів, де класифікаційними ознаками обрано:

- перервність технологічного процесу;
- розташування осі виконавчого органу;
- характер рухів виконавчих органів.

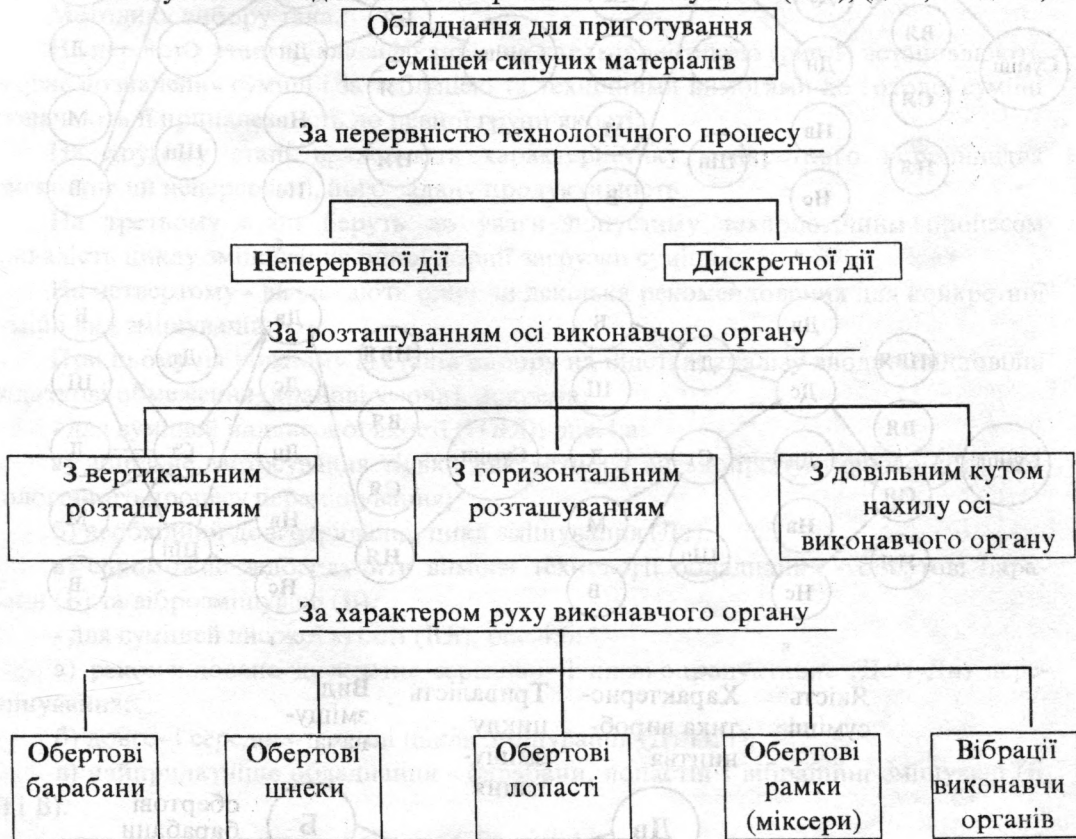
Характеризуючи той чи інший вид обладнання для змішування сумішей сипучих матеріалів, обов'язково беруть до уваги не тільки його продуктивність, але і тривалість одного окремо взятого технологічного циклу змішування, тобто тривалість змішування однієї порції заправки. За цією ознакою їх поділяють на:

- змішувачі із довготривалим циклом змішування (Дт), тривалість змішування

одної загрузки яких перевищує 1,5 години;

- змішувачі із середньою тривалістю циклу змішування (Ст), (від 0,5 до 1,5 години);

- змішувачі із швидкоплинною тривалістю змішування (Шп), (до 0,5 години).

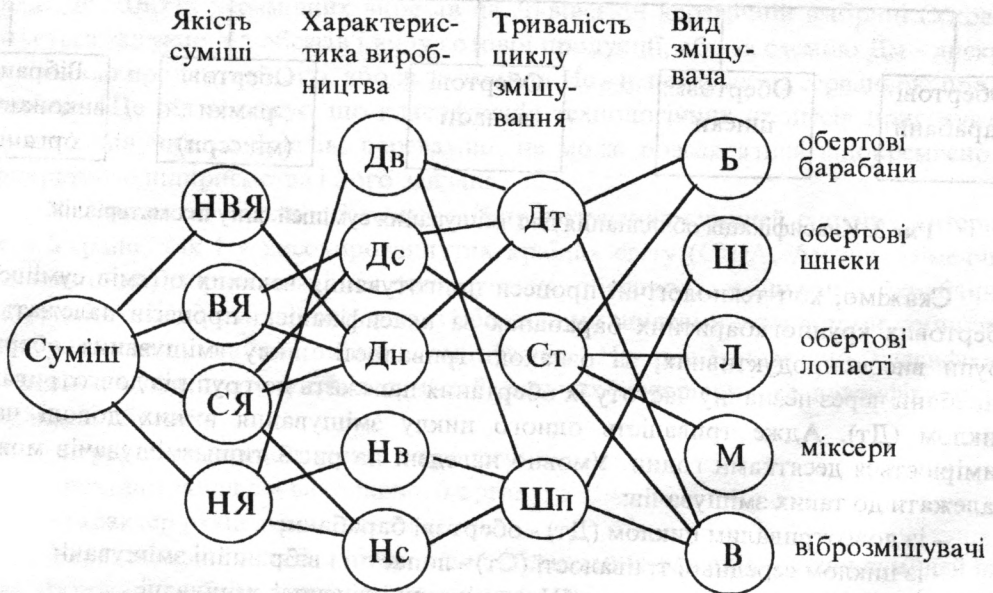
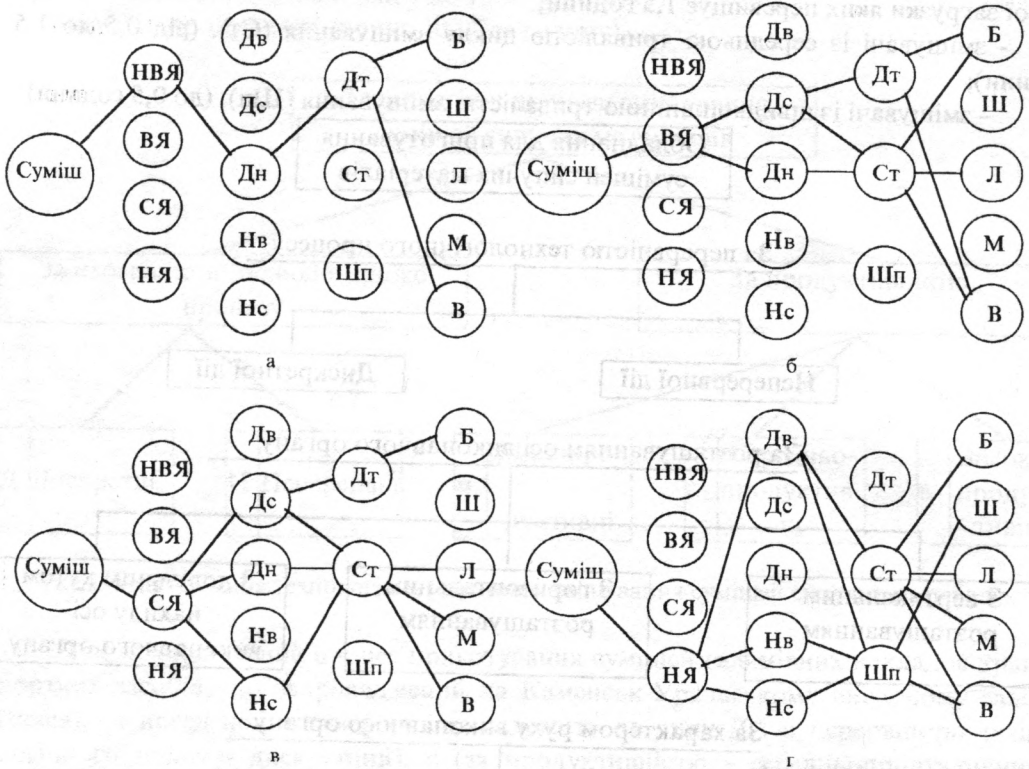


**Рис.3.** Класифікація обладнання для змішування сумішей сипучих матеріалів.

Скажімо, хоч технологічні процеси приготування великих об'ємів сумішей в обертових крупногабаритних барабанах за класифікацією процесів належать до групи високопродуктивних, за ознакою тривалості циклу змішування обертові барабани через незначну частоту їх обертання належать до групи із довготривалим циклом (Дт). Адже тривалість одного циклу змішування в них доволі часто вимірюється десятками годин. Умовно наведені на рис.3 типи змішувачів можуть належати до таких змішувачів:

- із довготривалим циклом (Дт) - обертові барабани;
- із циклом середньої тривалості (Ст) - лопастні і вібраційні змішувачі;
- із швидкоплинним циклом (Шп) - міксери і шнекові змішувачі.

Оптимальний технологічний процес змішування сумішей сипучих матеріалів та устаткування для його реалізації доцільно вибирати за оптимізаційним графом (рис.4).



**Рис.4.** Граф вибору оптимального технологічного процесу й устаткування для змішування сумішей сипучих матеріалів.

У вертикальних стовпцях цього графа відображено: вимоги до якості суміші, що підлягає змішуванню; характеристика і умови виробництва на операції приготування суміші; прийнятна за технологією тривалість циклу змішування; рекомендовані для конкретної суміші види змішувачів.

**Методика вибору така.**

На першому етапі за класифікаційною характеристикою (рис.1) встановлюють умовне позначення суміші і за таблицею та технічними вимогами до готової суміші визначають її приналежність до певної групи якості.

На другому етапі враховують характеристику конкретного виробництва (дискретне чи неперервне), його задану продуктивність.

На третьому етапі беруть до уваги допустимим технологічним процесом тривалість циклу змішування однієї порції заправки суміші.

На четвертому - визначають один чи декілька рекомендованих для конкретної суміші вид змішувачів.

При цьому на кожному із етапів вибору на підставі аналізу вводять відповідні додаткові обмеження (крайові умови). Зокрема:

- для сумішей надвисокої якості (НВЯ), рис.4,а:

а) доцільне застосування тільки дискретного низькопродуктивного (Дн) технологічного процесу перемішування;

б) необхідний довготривалий цикл змішування (Дт);

в) спроможне задовольнити вимоги технології обладнання - обертові барабани (Б) та віброзмішувачі (В).

- для сумішей високої якості (ВЯ), рис.4,б:

а) рекомендовано дискретне середньо- і низькопродуктивне (Дс і Дн) перемішування;

б) довго- і середньотривалі цикли змішування (Дт і Ст);

в) найпридатніше обладнання - барабани, лопатні і вібраційні змішувачі (Б, Л і В).

- для сумішей середньої якості (СЯ), рис.4,в:

а) доцільні для застосування дискретні середньо- і низькопродуктивні (Дс і Дн) та неперервні середньопродуктивні (Нс) технології перемішування;

б) середньо- і довготривале змішування (Ст і Дт);

в) вимоги технології не задовольняють шнекові змішувачі (Ш).

- для сумішей невисокої якості (НЯ), рис.4,г:

а) найбільш придатні дискретний високопродуктивний (Дв) та неперервні середньо- і високопродуктивні (Нв і Нс) технологічні процеси перемішування;

б) доцільні для використання швидкоплинні (Шп) і середньої тривалості (Ст) цикли змішування;

в) придатні всі види змішувачів.

Вибір за даною методикою оптимальних технологій і обладнання для перемішування суміші надвисокої якості вольфрамо-кобальтових твердих сплавів\*

\*Третьяков В.И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов. М., 1976.

зображено на рис.4,а, сумішей високої якості керамічних і скляних в.робів на рис.4.б, будівельних сумішей низької якості на рис.4,г.

Зазвичай, побудова графа вибору (рис.4) рекомендує декілька рівнозначних за технологічними можливостями видів змішувачів. Вибір конкретного з них здійснюють на підставі аналізу наявного на підприємстві устаткування, особливостей його експлуатації, вартості і енергозатрат. У разі відсутності на підприємстві необхідного устаткування і потреби у його придбанні чи виготовленні остаточний вибір конкретного типу змішувача проводять на підставі аналізу собівартості приготованих сумішей, енергозатрат, універсальності змішувачів, їх надійності і довговічності. При цьому беруть до уваги такі міркування.

Конструктивно обертові пристрої для приготування сумішей сипучих матеріалів поєднує така кінематична схема: від встановленого на рамі електродвигуна через понижуючий редуктор обертовий рух передається на виконавчий орган. Недоліки такої конструктивної схеми змішувачів - незначна частота обертання виконавчих органів, що знижує продуктивність процесу приготування сумішей; наявність низки перетворювальних механізмів, обертових вузлів, що знижує довговічність роботи оснащення загалом; значна кількість опор кочення або ковзання, які потребують герметизації, що ускладнює конструкцію, знижує її надійність.

Зазначених недоліків позбавлені пристрої для приготування сумішей сипучих матеріалів вібраційного типу. Вони можуть бути виконані як дискретної дії - при незначних обсягах та програмах приготування сумішей, так і безперервної дії, що дозволяє легко здійснити механізацію та автоматизацію процесу, вмонтувати пристрої у діючі автоматичні лінії. Вібраційні пристрої для приготування сумішей сипучих матеріалів можуть бути виконані як з горизонтальним чи вертикальним розташуванням осі виконавчого органу-контейнера, так і при довільному куті його нахилу до горизонту. Забезпечення коливань виконавчого органу безпосередньо від встановленого на ньому віброзбудника механічного, пневматичного чи електромеханічного типу значно спрощує конструкції пристрою загалом, підвищує його надійність і довговічність. Герметичність виконавчих органів вібраційних змішувачів істотно поліпшує санітарно-гігієнічні умови праці обслуговуючого персоналу завдяки усуненню запиленості і загазованості приміщень, в яких встановлено змішувачі.

УДК 621.914.5:621.9.015

## **АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ЗРІЗІВ ТА РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ ПІД ЧАС РОБОТИ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ФРЕЗИ З ПОПУТНОЮ ТА ЗУСТРІЧНОЮ ПОДАЧЕЮ**

© Ігор Грицай, 1999

ДУ "Львівська політехніка"

**Наведено результати теоретичних досліджень закономірностей параметрів зрізів, розподілу навантаження між зубцями, причин виникнення та відмінностей зношування під час роботи черв'ячної фрези з попутною та зустрічною подачами.**