
**Міністерство освіти і науки України
Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»**



Матеріали

**VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції
«Створення, експлуатація і ремонт
автомобільного транспорту та
будівельної техніки»
24 квітня 2025 р.**

Полтава 2025

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОВИТРАТ БЕТНОЗМІШУВАЧА ЗА ДОПОМОГОЮ АНАЛІЗУ ЧАСОВОГО РОЗПОДІЛУ ЗМІШУВАННЯ

Часовий розподіл перемішування є важливим параметром, який характеризує динаміку змішування частинок у бетонозмішувачі протягом усього циклу роботи. Він дозволяє оцінити, як швидко компоненти суміші досягають однорідності, які етапи є найбільш критичними для інтенсифікації процесу та як змінюються показники ефективності змішування з часом.

Основна мета аналізу часових характеристик полягає у визначенні оптимального часу перемішування t_{opt} – моменту, коли досягається максимальна однорідність суміші при мінімальних витратах енергії. Перемішування можна поділити на кілька стадій: початкове переміщення компонентів, інтенсифікація змішування та завершальне вирівнювання концентрацій.

На початковому етапі відбувається завантаження компонентів у барабан і їхнє первинне переміщення під дією гравітаційних та відцентрових сил. У цей момент коефіцієнт однорідності $\eta_{рівн}(t)$ є мінімальним, оскільки компоненти ще не перемішані. Швидкість зростання $\eta_{рівн}(t)$ на цьому етапі є низькою.

Інтенсифікація змішування характеризується активним переміщенням частинок у тривимірному просторі завдяки дії осциляцій, турбулентних потоків і зсувних деформацій. Зростання $\eta_{рівн}(t)$ є найбільш стрімким, що свідчить про ефективне вирівнювання концентрацій.

На завершальному етапі однорідність суміші вже наближається до порогового значення, а зростання $\eta_{рівн}(t)$ поступово уповільнюється. Більшість частинок уже інтегровані у загальний потік, і додаткові цикли змішування мають незначний вплив на підвищення однорідності.

Часовий розподіл перемішування можна описати за допомогою динаміки коефіцієнта однорідності $\eta_{рівн}(t)$:

$$\eta_{рівн}(t) = 1 - \frac{\sigma(t)}{\bar{c}}, \quad (1)$$

де $\sigma(t)$ – стандартне відхилення концентрації компонентів у часі,

\bar{c} – середнє значення концентрації. Зростання $\eta_{рівн}(t)$ із часом свідчить про покращення рівномірності розподілу компонентів у суміші.

Критерієм завершення змішування є досягнення порогового значення $\eta_{рівн}(t_{opt}) \geq 0,95$.

Ще одним важливим показником є середній час перебування частинки у

зоні активного змішування $t_{зм}$:

$$t_{зм} = \frac{L}{\bar{v}}, \quad (2)$$

де L – середня довжина траєкторії частинки за один цикл обертання,

\bar{v} – середня швидкість частинки. Чим менше $t_{зм}$, тим ефективніше змішування.

Розподіл концентрацій компонентів у часі можна описати рівнянням дифузії:

$$\frac{\partial c(x, y, z, t)}{\partial t} = D \nabla^2 c(x, y, z, t), \quad (3)$$

де D – коефіцієнт дифузії, що залежить від фізичних властивостей суміші (в'язкості, густини) та динамічних параметрів барабана.

Інтегрування цього рівняння дозволяє отримати часовий розподіл концентрацій і визначити, як швидко відбувається вирівнювання компонентів у різних зонах барабана.

Для визначення $t_{опт}$ необхідно враховувати не лише досягнення порогової однорідності, але й енерговитрати на змішування:

$$E_{зм}(t) = \int_0^t P(t) dt, \quad (4)$$

де $P(t)$ – потужність, витрачена на перемішування у момент часу t .

Оптимальний час $t_{опт}$ визначається як момент, коли подальші витрати енергії незначно впливають на підвищення однорідності:

$$\frac{\partial \eta_{рівн}(t)}{\partial t} \approx 0 \quad (5)$$

Часовий розподіл перемішування є критично важливим для аналізу ефективності процесу змішування. Він дозволяє оцінити динаміку змішування, визначити оптимальні параметри роботи обладнання та уникнути надмірного споживання енергії. Розробка сучасних моделей, що враховують часовий розподіл, сприяє створенню більш ефективних бетонозмішувачів, здатних забезпечувати високоякісну однорідність суміші у мінімальні терміни.

Література

1. Rudyk, R., & Salnikov, R. (2025). *Analysis of the mixer geometry and rheology impact on concrete mixture mixing efficiency. Construction Engineering*, (41), 77–84.

<https://doi.org/10.32347/tb.2024-41.0409>

2. Назаренко І.І., Клименко М.О. (2020). Застосування узагальнених критеріїв енергетичної оцінки робочого процесу перемішування будівельних сумішей. *Вісник ХНАДУ*, 88 (2), 37-42

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.88.2.37