

М.М. Нестеренко, Т.М. Нестеренко, І.Г.Пімінов, А.І.Аніщенко

**ДОСЛІДЖЕННЯ КУТА ВСТАНОВЛЕННЯ ЛОПАТОК ЗМІШУВАЧА
ПРИМУСОВОЇ ДІЇ З ВЕРТИКАЛЬНИМ ВАЛОМ
У СИСТЕМІ «ЗМІШУВАЧ — БЕТОНОНАСОС»**

Анотація. У статті розглянуто вплив кута встановлення лопаток змішувача примусової дії з вертикальним валом на процес перемішування бетонної суміші в технологічній системі «змішувач — бетононасос». Побудовано комп'ютерну модель змішувача в програмному комплексі SOLIDWORKS, що дало змогу дослідити рух суміші в робочій камері, оцінити розподіл швидкостей частинок та визначити зони недостатнього або надмірного перемішування. Як досліджуване середовище прийнято полістиролбетонну суміш D400 класу міцності B1,0, а швидкість руху лопаток під час моделювання становила 0,66 м/с. Розглянуто роботу звичайної лопатки шириною 100 мм при кутах встановлення 20° і 10°, а також кілька варіантів модернізованої вертикальної лопатки, зокрема конструкцію у вигляді «сапожка», лопатку з трикутним вирізом і лопатку з додатковими вікнами. Встановлено, що при куті встановлення звичайної лопатки 20° максимальна швидкість руху частинок суміші досягає 1,65 м/с, що може спричинити надмірну інтенсивність перемішування в окремих зонах, тоді як зменшення кута до 10° забезпечує зниження максимальної швидкості до 0,7 м/с і більш рівномірний рух матеріалу. Показано, що вдосконалена вертикальна лопатка з вирізаними вікнами при куті встановлення 10° забезпечує збалансований режим перемішування з максимальною швидкістю близько 0,84 м/с та рівномірною циркуляцією суміші в об'ємі камери. Одержані результати можуть бути використані для обґрунтування раціонального кута встановлення лопаток, удосконалення конструкції змішувачів примусової дії з вертикальним валом, підвищення однорідності бетонної суміші та забезпечення її стабільної подачі бетононасосом.

Ключові слова: змішувач примусової дії, вертикальний вал, кут встановлення лопаток, бетонна суміш, полістиролбетон, бетононасос, комп'ютерне моделювання, розподіл швидкостей, однорідність суміші, лопатка, перемішування.

Постановка проблеми. У технологіях приготування та подачі бетонних сумішей важливе значення має забезпечення їх однорідності, стабільної рухливості та придатності до подальшого транспортування бетононасосом, оскільки нерівномірний розподіл компонентів, утворення застійних зон або надмірне перемішування можуть погіршувати якість суміші й ускладнювати її перекачування. Для змішувачів примусової дії з вертикальним валом одним із визначальних конструктивних параметрів є кут встановлення лопаток, від якого залежить напрям руху матеріалу, інтенсивність циркуляційних

потоків, рівномірність розподілу компонентів та енерговитрати процесу. У зв'язку з цим актуальним є дослідження впливу кута встановлення лопаток із використанням комп'ютерного моделювання, що дозволяє оцінити розподіл швидкостей суміші в робочій камері, виявити зони недостатнього перемішування та обґрунтувати параметри змішувача, ефективно поєднаного з бетононасосом для безперервного приготування і подачі бетонної суміші.

Аналіз останніх досліджень. У сучасних дослідженнях змішувального обладнання значна увага приділяється впливу конструктивних параметрів робочих органів на інтенсивність перемішування, рівномірність розподілу компонентів і енергетичну ефективність процесу. У роботі [1] досліджено вплив параметрів конструкції лопатевого змішувача на його продуктивність із використанням методу дискретних елементів, що підтверджує доцільність застосування комп'ютерного моделювання для аналізу руху матеріалу в робочій камері. Подібний підхід реалізовано в праці [5], де на основі DEM-моделювання прогнозовано час перемішування частинок у чотирилопатовому змішувачі, що є важливим для оцінювання ефективності різних конфігурацій лопаток.

Особливе значення для дослідження змішувачів примусової дії з вертикальним валом мають роботи, присвячені формуванню потоків матеріалу в лопатевих системах. У праці [2] проаналізовано динаміку зернистого середовища у вертикальному лопатовому змішувачі та встановлено особливості формування вторинних потоків, які впливають на рівномірність перемішування по висоті й радіусу змішувальної камери. У дослідженні [3] визначено параметри руху сипкого середовища в змішувачі з використанням методу дискретних елементів, що дозволяє оцінити напрямки переміщення матеріалу, швидкості частинок і можливі зони недостатнього перемішування.

Окремий напрям становлять дослідження властивостей бетонних сумішей залежно від режимів перемішування. У роботі [4] показано, що тривалість і швидкість перемішування істотно впливають на реологічні властивості, зручність укладання та механічні характеристики самоущільнювальних бетонів. Це має безпосереднє значення для систем, у яких змішувач поєднується з бетононасосом, оскільки суміш після приготування повинна не лише бути однорідною, а й зберігати стабільну рухливість і придатність до перекачування.

Енергетичні аспекти приготування будівельних сумішей розглянуто в роботі [6], де запропоновано загальні критерії оцінювання енергоефективності процесу. Це є важливим для обґрунтування кута встановлення лопаток, оскільки надмірна інтенсивність перемішування може збільшувати енергоспоживання без істотного покращення якості суміші. Водночас недостатній кут або нераціональна геометрія лопаток можуть призводити до утворення застійних зон і збільшення часу перемішування.

Безпосередньо вплив геометрії змішувача, лопаток і реологічних властивостей бетонної суміші розглянуто у працях [7, 8]. У цих роботах показано, що форма та розташування робочих органів визначають характер циркуляційних потоків, інтенсивність переміщення компонентів і якість готової бетонної суміші. У роботі [9] досліджено вплив геометрії лопатевого змішувача на турбулентність та інтенсивність перемішу-

вання рідких середовищ, що також підтверджує важливість конструктивної оптимізації робочих органів.

Мета досліджень. Метою досліджень є обґрунтування раціонального кута встановлення лопаток змішувача примусової дії з вертикальним валом на основі комп'ютерного моделювання руху бетонної суміші в робочій камері, з урахуванням впливу геометрії лопаток на інтенсивність перемішування, розподіл швидкостей, формування циркуляційних потоків і виникнення зон недостатнього або надмірного перемішування, а також забезпечення стабільної однорідності суміші для її подальшої подачі бетононасосом.

Викладення основного матеріалу дослідження. Для дослідження впливу кута встановлення лопаток на процес перемішування було розглянуто змішувач примусової дії з вертикальним валом, який працює у складі технологічної системи приготування та подачі бетонної суміші (рисунок 1). Такий підхід є важливим, оскільки змішувач у поєднанні з бетононасосом повинен забезпечувати не лише однорідне перемішування компонентів, а й стабільну рухливість суміші, придатну для подальшого транспортування по напірній магістралі. Недостатня якість перемішування може призводити до утворення неоднорідних зон, локального накопичення заповнювача, погіршення реологічних властивостей суміші та ускладнення її подачі бетононасосом.

У межах дослідження вивчався вплив кута встановлення лопаток змішувача примусової дії на характер руху суміші в робочій камері. Для цього було використано технологію тривимірного комп'ютерного моделювання в програмному комплексі SOLIDWORKS. Створена 3D-модель установки, у якій поєднано змішувач та бетононасос, дала змогу дослідити конструкцію робочих органів, напрямки переміщення суміші та розподіл швидкостей у змішувальній камері. Вихідні матеріали моделювання взято із завантаженого файлу, де наведено конструкцію установки, параметри суміші та результати моделювання для різних варіантів лопаток.

Під час моделювання швидкість руху лопаток бетонозмішувача становила 0,66 м/с. Як досліджуване середовище було задано параметри суміші полістиролбетону D400, де цифровий індекс відповідає масі одного кубічного метра матеріалу в кілограмах, тобто $\text{кг}/\text{м}^3$. Клас міцності на стискання прийнято B 1,0. Вибір такої суміші пояснюється тим, що полістиролбетон має виражену неоднорідність компонентного складу, містить легкий заповнювач і потребує обережного, але достатньо інтенсивного перемішування для забезпечення стабільних властивостей.

Для спрощення розрахункової схеми було побудовано модель змішувальної камери з основними робочими органами. Конструкція містить корпус змішувача, дві лопатки, які спрямовують потік суміші з dna корпусу, одну вертикальну лопатку, що переміщує розчин від внутрішньої стінки до центральної зони, а також центробіжну вертикальну крильчатку. Таке компоновання забезпечує формування циркуляційних потоків у різних зонах камери та сприяє переміщенню матеріалу як у радіальному, так і у вертикальному напрямках.



Рисунок 1 – 3D модель установки, в якій поєднано змішувач та бетононасос

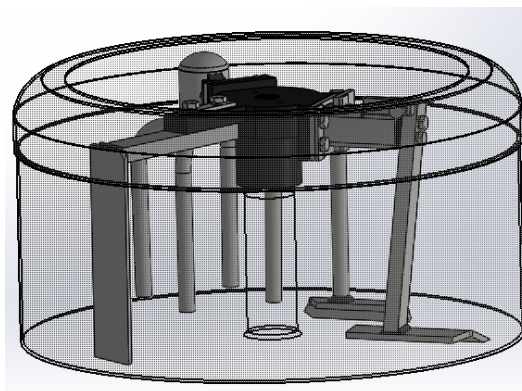


Рисунок 2 – Спрощена конструкція моделі змішувача

Основну увагу під час моделювання було приділено лопатці, яка відкидає потік суміші від внутрішнього корпусу змішувача. Саме ця лопатка значною мірою визначає напрямок переміщення матеріалу, інтенсивність циркуляції та рівномірність розподілу компонентів у камері. У процесі дослідження було промодельовано кілька варіантів лопаток із різною геометрією та кутом встановлення.

На першому етапі розглянуто звичайну лопатку шириною 100 мм, встановлену під кутом 20° . Такий варіант дозволив оцінити базовий характер руху суміші в робочій камері та визначити зони з підвищеними швидкостями.

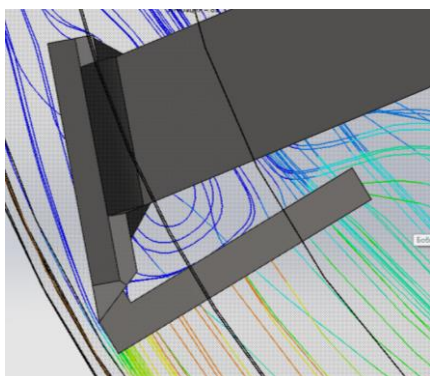


Рисунок 3 – Кут лопатки 20°

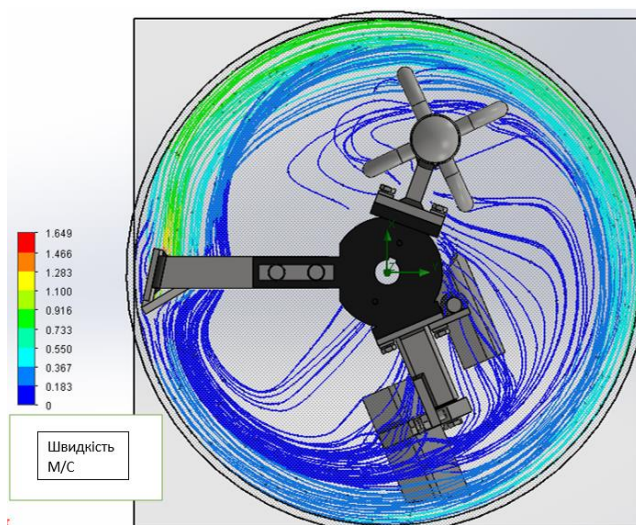


Рисунок 4 – Розподіл швидкості руху суміші в корпусі змішувача при звичайній лопатці, ширина 100 мм. Кут 20°

Аналіз діаграми швидкостей показав, що при ширині лопатки 100 мм і куті встановлення 20° максимальна швидкість руху частинок суміші становить приблизно 1,65 м/с. Такий режим забезпечує інтенсивне переміщення матеріалу, однак надмірне зростання швидкості може спричиняти нерівномірний розподіл компонентів у робочому об'ємі. Крім того, за надмірної інтенсивності руху можливе локальне перевантажен-

ня окремих зон змішувальної камери, що збільшує ризик зношування робочих органів і не завжди позитивно впливає на якість готової суміші.

На наступному етапі було досліджено звичайну лопатку тієї самої ширини 100 мм, але з кутом встановлення 10° . Метою цього етапу було зменшення надмірної інтенсивності потоку та оцінювання можливості формування більш рівномірного розподілу швидкостей у камері.

За результатами моделювання встановлено, що при куті встановлення 10° максимальна швидкість руху частинок суміші зменшується до 0,7 м/с. Такий режим є більш сприятливим для перемішування полістиролбетонної суміші, оскільки забезпечує менш різкі перепади швидкостей і знижує ймовірність надмірного переміщення окремих компонентів. У цій моделі спостерігається кращий характер перемішування суміші порівняно з варіантом кута 20° .

Разом з тим аналіз просторової діаграми показав, що переміщення розчину в змішувальній камері залишається нерівномірним по висоті.

Окремі зони мають нижчу інтенсивність руху, що може погіршувати рівномірність розподілу компонентів у всьому об'ємі. Для усунення цього недоліку було запропоновано вдосконалити вертикальну лопатку, надавши їй форму, яка забезпечує активніше переміщення матеріалу по висоті камери.

Наступним етапом моделювання стало створення конструкції лопатки у вигляді так званого «сапожка». Така форма передбачає зміну нижньої частини вертикальної лопатки з метою покращення захоплення матеріалу та його переміщення в робочій зоні. Очікувалося, що модернізована геометрія забезпечить активніше залучення суміші з нижньої частини бункера та зменшить імовірність утворення застійних зон.

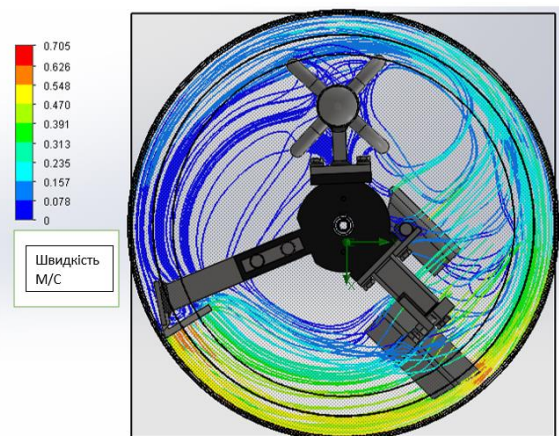


Рисунок 5 – Розподіл швидкості руху суміші в корпусі змішувача при звичайній лопатці, ширина 100 мм. Кут 10°

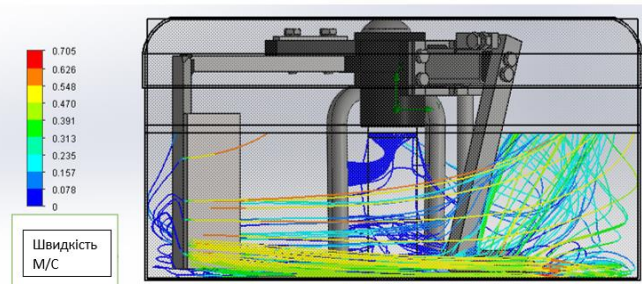


Рисунок 6 – Просторова діаграма розподілу швидкості руху суміші в корпусі змішувача при звичайній лопатці, ширина 100 мм. Кут 10°

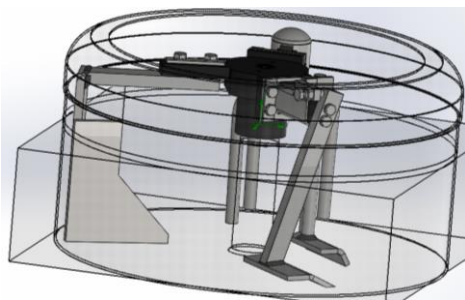


Рисунок 7 – Конструкція моделі змішувача з вдосконаленою вертикальною лопаткою

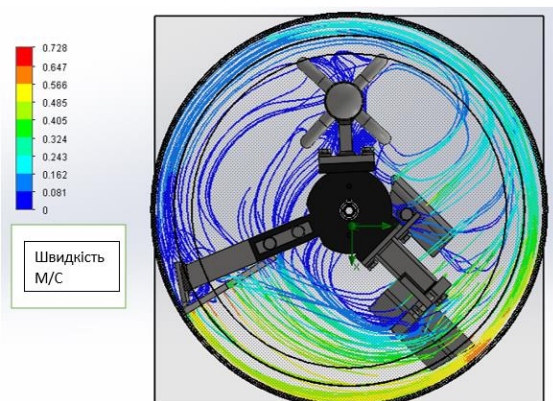


Рисунок 8 – Діаграма розподілу швидкості руху суміші в корпусі змішувача при модернізованій лопатці. Кут 100

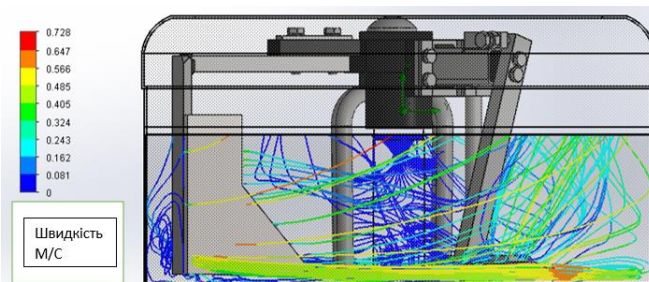


Рисунок 9 – Просторова діаграма розподілу швидкості руху суміші в корпусі змішувача при модернізованій лопатці. Кут 10°

З іншого боку, надмірна швидкість у нижній частині може призводити до локального перевантаження робочих органів, підвищеного зношування поверхонь і нерівномірного розподілу енергії перемішування.

Для зменшення надмірної швидкості в нижній частині робочої камери на наступному етапі було виконано виріз трикутної форми в нижній частині модернізованої вертикальної лопатки. Такий конструктивний елемент мав зменшити опір руху матеріалу, частково пропускати потік через лопатку та сприяти більш рівномірному розподілу швидкостей по висоті.

З діаграми швидкостей, наведеної на рисунку 8, видно, що при модернізованій лопатці та куті встановлення 10° максимальна швидкість руху частинок суміші становить приблизно 0,73 м/с. Порівняно зі звичайною лопаткою за того самого кута спостерігається незначне зростання максимальної швидкості, однак при цьому покращується характер перемішування по всьому об'єму змішувача. Це свідчить про те, що модернізована лопатка активніше залучає суміш до циркуляційного руху. Водночас було встановлено, що при використанні лопатки у вигляді «сапожка» спостерігається зростання швидкості в нижній частині бункера змішувача. Такий ефект може бути як позитивним, так і небажаним. З одного боку, він зменшує ризик утворення застійної зони біля дна.

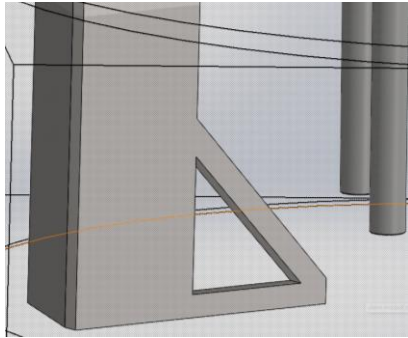


Рисунок 10 – Конструкція моделі змішувача з вдосконаленою вертикальною лопаткою з вирізаним вікном трикутної форми в нижній частині

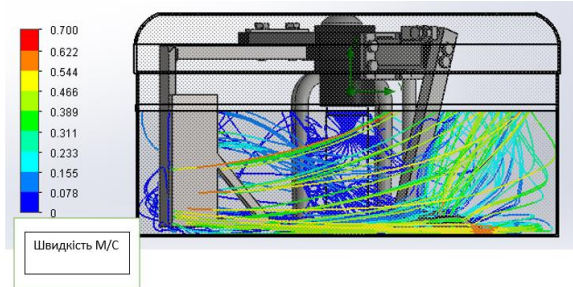


Рисунок 11 – Просторова діаграма розподілу швидкості руху суміші в корпусі змішувача з вдосконаленою вертикальною лопаткою з вирізаним вікном трикутної форми в нижній частині. Кут 10°

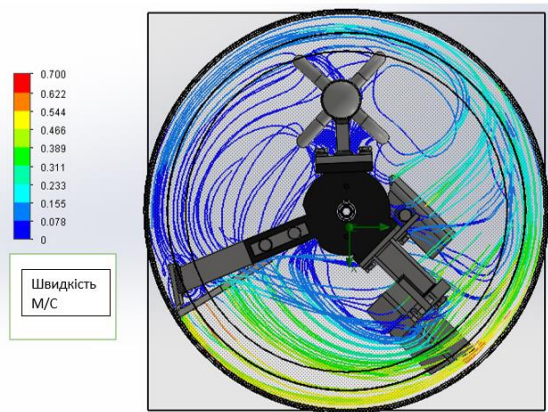


Рисунок 12 – Діаграма розподілу швидкості руху суміші в корпусі змішувача з вдосконаленою вертикальною лопаткою з вирізаним вікном трикутної форми в нижній частині. Кут 10°

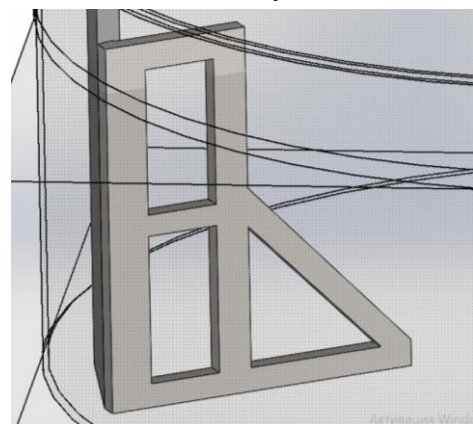


Рисунок 13 – Конструкція моделі змішувача з вдосконаленою вертикальною лопаткою з вирізаними вікнами

Аналіз діаграм швидкостей на рисунках 11 і 12 показав, що максимальні швидкості руху частинок суміші при куті встановлення 10° становлять близько 0,7 м/с. Це свідчить про зменшення максимальної швидкості порівняно з лопаткою у вигляді «сапожка». Однак, як і в попередньому варіанті, спостерігалось зростання швидкості не лише в нижній частині бункера, але й у центральній зоні змішувача. Такий розподіл може забезпечувати активнішу циркуляцію, проте потребує додаткового коригування геометрії лопатки для уникнення надмірного локального перемішування.

Наступним етапом удосконалення конструкції стало влаштування ще одного прямокутного вікна у вертикальній лопатці. Така модифікація була спрямована на перерозподіл потоків суміші через робочий орган, зменшення локального опору та формування більш рівномірної циркуляції в об'ємі змішувача.

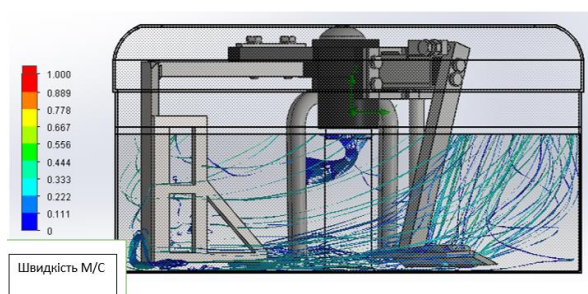


Рисунок 14 – Просторова діаграма розподілу швидкості руху суміші в корпусі змішувача з вдосконаленою вертикальною лопаткою з вирізаними вікнами під кутом 20°

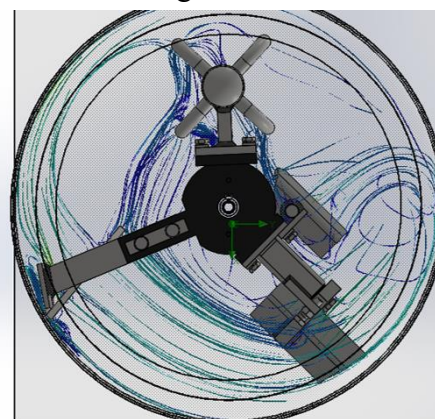


Рисунок 15 – Діаграма розподілу швидкості руху суміші в корпусі змішувача з вдосконаленою вертикальною лопаткою з вирізаними вікнами під кутом 20°

Спочатку модернізовану вертикальну лопатку з вирізаними вікнами було досліджено при куті встановлення 20° .

З діаграм швидкостей, наведених на рисунках 14 і 15, видно, що максимальні швидкості руху частинок суміші при куті встановлення 20° зростають до 1,0 м/с. Це менше, ніж у випадку звичайної лопатки під кутом 20° , де максимальна швидкість досягала 1,65 м/с, однак більше, ніж у варіантах із кутом 10° . При цьому траєкторії руху суміші показують більш рівномірну циркуляцію, що свідчить про позитивний вплив вирізаних вікон на перерозподіл потоків у камері.

Останнім етапом моделювання стало дослідження руху суміші при використанні вдосконаленої вертикальної лопатки з вирізаними вікнами, встановленої під кутом 10° .

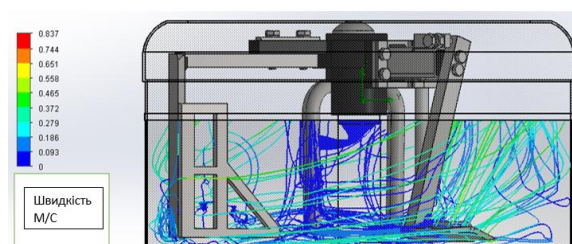


Рисунок 16 – Просторова діаграма розподілу швидкості руху суміші в корпусі змішувача з вдосконаленою вертикальною лопаткою з вирізаними вікнами під кутом 10°

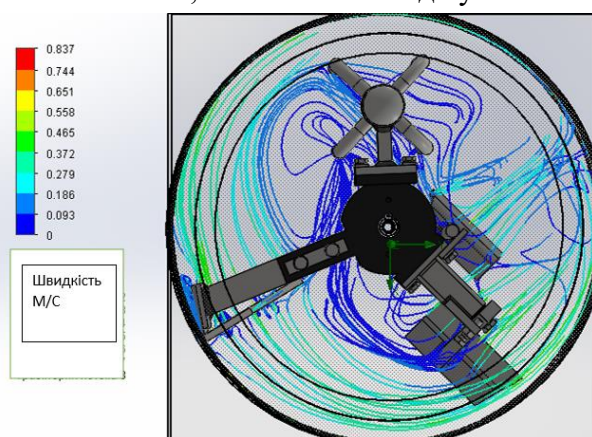


Рисунок 17 – Діаграма розподілу швидкості руху суміші в корпусі змішувача з вдосконаленою вертикальною лопаткою з вирізаними вікнами під кутом 10°

За результатами аналізу рисунків 16 і 17 встановлено, що максимальна швидкість руху частинок суміші при куті встановлення 10° зменшується до 0,84 м/с. При цьому, порівняно з варіантом кута 20° , знижується інтенсивність локальних швидкісних піків, а траєкторії руху суміші залишаються достатньо рівномірними. Такий результат свідчить про доцільність використання вдосконаленої лопатки з вирізаними вікнами саме при куті 10° , оскільки цей варіант забезпечує компроміс між інтенсивністю перемішування, рівномірністю циркуляції та зменшенням ризику надмірного навантаження на робочі органи.

Порівняння отриманих результатів показує, що кут встановлення лопаток істотно впливає на швидкість руху суміші та характер її циркуляції в корпусі змішувача. При куті 20° звичайна лопатка створює надмірно високі швидкості до 1,65 м/с, що може призводити до локального інтенсивного перемішування та підвищеного зношування елементів. Зменшення кута до 10° дозволяє знизити максимальну швидкість до 0,7 м/с і покращити рівномірність руху суміші. Модернізація вертикальної лопатки додатково впливає на формування циркуляційних потоків по висоті змішувальної камери.

Найбільш збалансованим варіантом за результатами моделювання можна вважати вдосконалену вертикальну лопатку з вирізаними вікнами при куті встановлення 10° , для якої максимальна швидкість становить близько 0,84 м/с, а траєкторії руху демонструють рівномірну циркуляцію матеріалу. Такий варіант є перспективним для змішувача, що працює разом із бетононасосом, оскільки забезпечує достатню однорідність полістиролбетонної суміші без надмірного підвищення швидкості руху частинок.

Висновки. Досліджено вплив кута встановлення лопаток змішувача примусової дії з вертикальним валом на характер руху полістиролбетонної суміші D400 у робочій камері з використанням комп'ютерного моделювання в програмному комплексі SOLIDWORKS. Встановлено, що за кута встановлення звичайної лопатки 20° максимальна швидкість руху частинок суміші досягає 1,65 м/с, що свідчить про надмірну інтенсивність перемішування в окремих зонах, тоді як зменшення кута до 10° забезпечує зниження максимальної швидкості до 0,7 м/с і більш рівномірний розподіл матеріалу в об'ємі змішувача. Показано, що вдосконалення вертикальної лопатки шляхом використання конструкції у вигляді «сапожка» та подальшого введення трикутного і прямокутного вікон дозволяє покращити циркуляцію суміші по висоті камери та зменшити ризик утворення застійних зон. Найбільш раціональним варіантом за результатами моделювання є вдосконалена вертикальна лопатка з вирізаними вікнами, встановлена під кутом 10° , для якої максимальна швидкість руху суміші становить близько 0,84 м/с, а траєкторії переміщення демонструють рівномірну циркуляцію матеріалу. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення конструкції змішувачів примусової дії з вертикальним валом, що працюють у складі технологічної системи «змішувач – бетононасос», з метою підвищення однорідності бетонної суміші, зменшення енерговитрат і забезпечення стабільної подачі матеріалу бетононасосом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Jadidi B., Ebrahimi M., Ein-Mozaffari F., Lohi A. Effect of the mixer design parameters on the performance of a twin paddle blender: a DEM study. *Processes*. 2023. Vol. 11, № 3. Article 733. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11030733>
2. Havlica J., Jirounkova K., Travnickova T., Stanovsky P., Petrus P., Kohout M. Granular dynamics in a vertical bladed mixer: secondary flow patterns. *Powder Technology*. 2019. Vol. 344. P. 79–88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.11.094>
3. Statsenko V., Burmistenkov O., Bila T., Demishonkova S. Determining the loose medium movement parameters in a centrifugal continuous mixer using a discrete element method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 3, № 7(111). P. 59–67. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232636>
4. Shirzadi Javid A. A., Ghoddousi P., Aghajani S., Naseri H., Hossein Pour S. Investigating the effects of mixing time and mixing speed on rheological properties, workability, and mechanical properties of self-consolidating concretes. *International Journal of Civil Engineering*. 2021. Vol. 19, № 3. P. 339–355. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40999-020-00562-z>
5. Hoorijani H., Esgandari B., Zarghami R., Sotudeh-Gharebagh R., Mostoufi N. Predictive modeling of mixing time for super-ellipsoid particles in a four-bladed mixer: a DEM-based approach. *Powder Technology*. 2023. Vol. 430. Article 119009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.119009>
6. Nazarenko I., Klymenko M. Application of general energy assessment criteria for preparing building mixtures. *KHNADU Bulletin*. 2020. Vol. 2, № 88. P. 37–42. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2020.88.2.37>
7. Rudyk R., Salnikov R. Analysis of the mixer geometry and rheology impact on concrete mixture mixing efficiency. *Construction Engineering*. 2024. № 41. P. 77–84. DOI: <https://doi.org/10.32347/tb.2024-41.0409>
8. Rudyk R., Virchenko V., Salnikov R., Bidanets S. The effect of the blades on mixing the concrete mixture. *Materials of the 76th Scientific Conference of Professors, Teachers, Researchers, Postgraduate Students and University Students*. Poltava, 2024. P. 270–271.
9. Burlaka S., Kupchuk I., Shapovalyuk S., Chernysh M. Analysis of the influence of the geometry of the blade mixer on the turbulence and intensity of liquid mixing. *Machinery, Energetics, Transport of Agribusiness*. 2023. № 2(121). P. 16–22.

REFERENCES

1. Jadidi, B., Ebrahimi, M., Ein-Mozaffari, F., & Lohi, A. (2023). Effect of the mixer design parameters on the performance of a twin paddle blender: A DEM study. *Processes*, 11(3), 733. <https://doi.org/10.3390/pr11030733>
2. Havlica, J., Jirounkova, K., Travnickova, T., Stanovsky, P., Petrus, P., & Kohout, M. (2019). Granular dynamics in a vertical bladed mixer: Secondary flow patterns. *Powder Technology*, 344, 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.11.094>
3. Statsenko, V., Burmistenkov, O., Bila, T., & Demishonkova, S. (2021). Determining the loose medium movement parameters in a centrifugal continuous mixer using a discrete element method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(7(111)), 59–67.

<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232636>

4. Shirzadi Javid, A. A., Ghoddousi, P., Aghajani, S., Naseri, H., & Hossein Pour, S. (2021). Investigating the effects of mixing time and mixing speed on rheological properties, workability, and mechanical properties of self-consolidating concretes. *International Journal of Civil Engineering*, 19(3), 339–355. <https://doi.org/10.1007/s40999-020-00562-z>
5. Hoorijani, H., Esgandari, B., Zarghami, R., Sotudeh-Gharebagh, R., & Mostoufi, N. (2023). Predictive modeling of mixing time for super-ellipsoid particles in a four-bladed mixer: A DEM-based approach. *Powder Technology*, 430, 119009. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.119009>
6. Nazarenko, I., & Klymenko, M. (2020). Application of general energy assessment criteria for preparing building mixtures. *KHNADU Bulletin*, 2(88), 37–42. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2020.88.2.37>
7. Rudyk, R., & Salnikov, R. (2024). 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>
8. Rudyk, R., Virchenko, V., Salnikov, R., & Bidanets, S. (2024). The effect of the blades on mixing the concrete mixture. In *Materials of the 76th Scientific Conference of Professors, Teachers, Researchers, Postgraduate Students and University Students* (pp. 270–271). Poltava.
9. Burlaka, S., Kupchuk, I., Shapovalyuk, S., & Chernysh, M. (2023). Analysis of the influence of the geometry of the blade mixer on the turbulence and intensity of liquid mixing. *Machinery, Energetics, Transport of Agribusiness*, 2(121), 16–22.

Received 24.04.2026.
Accepted 27.04.2026.
Published 30.04.2026

Study of the blade installation angle of a forced-action mixer with a vertical shaft in the “mixer — concrete pump” system

The article considers the influence of the blade installation angle of a forced-action mixer with a vertical shaft on the process of concrete mixture mixing in the “mixer — concrete pump” technological system. A computer model of the mixer was developed in the SOLIDWORKS software package, which made it possible to study the movement of the mixture in the working chamber, evaluate the distribution of particle velocities, and identify zones of insufficient or excessive mixing. A D400 polystyrene concrete mixture with a compressive strength class of B1.0 was adopted as the studied medium, and the blade movement speed during the simulation was 0.66 m/s. The operation of a conventional 100 mm wide blade at installation angles of 20° and 10° was considered, as well as several variants of a modernized vertical blade, including a “boot-shaped” design, a blade with a triangular cut-out, and a blade with additional openings. It was established that, at a 20° installation angle of the conventional blade, the maximum velocity of mixture particles reaches 1.65 m/s, which may cause excessive mixing intensity in individual zones, whereas reducing the angle to 10° decreases the maximum velocity to 0.7 m/s and provides more uniform material movement. It is shown that the modernized vertical blade with openings at an installation angle of 10° provides a balanced mixing mode with a maximum velocity of about 0.84 m/s and uniform circu-

lation of the mixture within the chamber volume. The obtained results can be used to substantiate the rational blade installation angle, improve the design of forced-action mixers with a vertical shaft, increase the homogeneity of the concrete mixture, and ensure its stable supply by a concrete pump.

Keywords: forced-action mixer, vertical shaft, blade installation angle, concrete mixture, polystyrene concrete, concrete pump, computer modeling, velocity distribution, mixture homogeneity, blade, mixing.

Нестеренко Микола Миколайович – к.т.н., доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4073-1233>

Нестеренко Тетяна Миколаївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри нафтогазової інженерії та технологій, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2387-8575>

Аніщенко Анна Ігорівна – к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3411-0385>

Пімінов Ігор Георгійович – к.т.н., доцент кафедри будівельних і дорожніх машин Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6100-3529>

Mykola Nesterenko - PhD (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department of industrial mechanical engineering and mechatronics National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic».

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4073-1233>

Tetiana Nesterenko – PhD (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Engineering and Technology National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic».

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2387-8575>

Anna Anishchenko – PhD (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3411-0385>

Ihor Pimonov – PhD (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Construction and Road-building Machinery Kharkiv National Automobile and Highway University.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6100-3529>