

**УДК 691.54**

*С.А. Васильев, к. т. н., доцент  
І.А. Рогозін, старший викладач  
Я.А. Єпіфанович, магістрант*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

### **АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗМІШУВАЧІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ**

*Наведено результати аналізу змішувачів для виробництва якісних однорідних сухих будівельних сумішей. Запропоновано оцінку переваг та недоліків використання змішувачів сухих будівельних сумішей різних типів. Проведено огляд конструктивних особливостей важливих для якості суміші вузлів змішувачів. Запропоновано конструкцію змішувача з вертикальним валом.*

**Ключові слова:** *змішувач, шнек, суха будівельна суміш, дисперсність.*

**УДК 691.54**

*Е.А. Васильев, к. т. н., доцент  
И.А. Рогозин, старший преподаватель  
Я.А. Епифанович, магистрант*

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

### **АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СМЕСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ**

*Приведены результаты анализа смесителей для производства качественных однородных сухих строительных смесей. Предложена оценка преимуществ и недостатков использования смесителей сухих строительных смесей различных типов. Проведен обзор конструктивных особенностей важных для качества смеси узлов смесителей. Предложена конструкция смесителя с вертикальным валом.*

**Ключевые слова:** *смеситель, шнек, сухая строительная смесь, дисперсность.*

**UDC 691.54**

*Ie.A. Vasyliiev, Ph.D.  
I.A. Rogozin, senior lecturer  
Y.A. Yepifanovych, graduate student  
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

### **ANALYSIS OF CONSTRUCTION FEATURES OF MIXERS FOR MANUFACTURING DRY CONSTRUCTION MIXTURES**

*The results of the analysis of mixers for production of qualitative homogeneous dry building mixtures are presented. The estimation of advantages and disadvantages of the use of mixers of dry mixes of various types is offered. An overview of the design features of the mixing units that are important for the quality of the mixing units. The construction of the vertical shaft mixer is proposed.*

**The key words:** mixer, screw, dry mix, dispersion.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день технологія сухих сумішей в будівництві має вже досить тривалий період використання. Всі основні технічні рішення апробовані на сотнях закордонних одиницях обладнання. Заводи, які будуються в Україні та установки часто не відповідають сучасним вимогам. Типові їх недоліки – обмежені можливості для розширення асортименту продукції, недостатня якість змішування – пов’язані, в основному, з недостатнім вивченням особливостей обладнання, яке використовується для приготування сухих сумішей.

**Аналіз останніх досліджень і виділення не розв’язаних раніше частин загальної проблеми.** Якщо розглядати найпоширеніше представництво змішувального обладнання, то загально визнаним лідером у виробництві сухих сумішей до останнього часу був горизонтальний центрифужний змішувач (рис. 1), проте на сьогодні значне поширення знаходять змішувачі із вертикальним валом (рис. 4, а).



Рисунок 1 – Горизонтальний центрифужний змішувач

Не зважаючи на значний розвиток, звичайні змішувачі для отримання однорідних сухих будівельних сумішей із горизонтальним валом (одним або двома) [1, 2] вже майже себе вичерпали. Наступним етапом розвитку таких машин є використання в них деагломераторів, які є останньою спробою модернізації обладнання шляхом підвищення інтенсифікації впливу на

змішувани компоненти [3, 4].

**Мета дослідження:** Виконати аналіз конструктивних особливостей змішувачів для виробництва сухих будівельних сумішей. Виділити найбільш важливі вузли змішувачів стосовно якості та однорідності їх продукції. Запропонувати рекомендації стосовно вибору типу змішувача для конкретних виробничих умов, типу суміші.

**Виклад основного матеріалу.** Головний принцип виробництва сухих сумішей полягає в тому, щоб кожній конкретній задачі відповідав спеціально призначений для цього продукт. Асортимент іноземних виробників деяких сумішей нараховує сотні найменувань. В арсеналі вітчизняних виробників поки що нерідко зустрічаються близько десятку рецептур, але всі компанії приділяють багато уваги збільшенню свого асортименту.

Успішний завод сухих сумішей будується за принципом: мінімальна партія – один заміс. Можливість швидкого переходу від однієї суміші до іншої досягається при циклічному змішуванні і вертикальній компоновці технологічної системи.

Змішувачі за інтенсивністю класифікують із використанням безрозмірного критерію Фруда [3]:

$$F_r = \frac{R \cdot \omega^2}{g}, \quad (1)$$

де  $R$  – максимальний радіус робочого органу,  $\omega$  – кутова швидкість обертання,  $g$  – прискорення вільного падіння.

Критерій Фруда характеризує співвідношення центробіжної сили і сили тяжіння, яка діє на частки продукту в процесі змішування і дозволяє порівняти між собою змішувачі різних типів і конструкцій.

На рис. 3 показані три різні типи змішування в лопатевому змішувачі з горизонтальним валом.

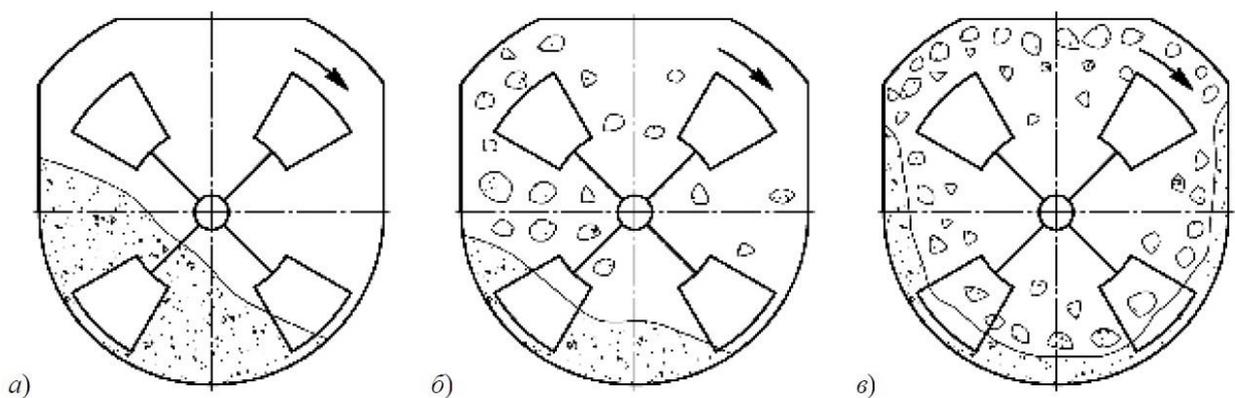


Рисунок 2 – Режимы работы горизонтального примусового змішувача за умови різної швидкості обертання лопатєвого валу:

а) –  $Fr < 1$ ; б) –  $1 < Fr < 7$ ; в) –  $Fr > 7$

При  $Fr < 1$  компоненти, які змішуються, лежать на днищі, а лопаті виштовхують частинки на поверхню. При цьому продукт підіймається в

напрямку обертання і утворює деякий кут відкосу. При сухому змішуванні такий режим використовують, коли потрібно уникнути механічного розпушення дрібної фракції. Для нього характерне збільшення часу на змішування, а також наявність мертвої зони – зазору між лопатями і днищем, де змішування не відбувається.

В інтервалі  $1 < Fr < 7$  частки вкидаються у вільний простір, а продукт знаходиться у зваженому стані. Такий режим характеризується низькими енерговитратами і середніми значеннями часу змішування.

При  $7 < Fr$  на стінках корпуса утворюється більш-менш щільне кільце продукту. Витрати часу при цьому змішуванні найменші. Такий режим змішування називають центрифужним і використовують при виготовленні сухих будівельних сумішей.

Існують також змішувачі, які працюють при значеннях  $Fr \gg 10$ , наприклад, змішувач з вертикальним валом (рис. 4, а). Вони забезпечують високу якість змішування. Непогані результати можна також отримати в двовальних змішувачах з  $1 < Fr < 7$  (рис. 4, б).

Час змішування залежить від багатьох факторів – конструкції і об'єму змішувача, конфігурації і швидкості руху робочих органів, складу і властивостей інгредієнтів.

На рис. 3 показана залежність тривалості змішування сухих порошкоподібних компонентів в одновальному горизонтальному змішувачі від інтенсивності змішування і об'єму змішувача. Як видно, прийнятні значення досягаються в центрифужному режимі вже при  $Fr = 6 \dots 9$ .

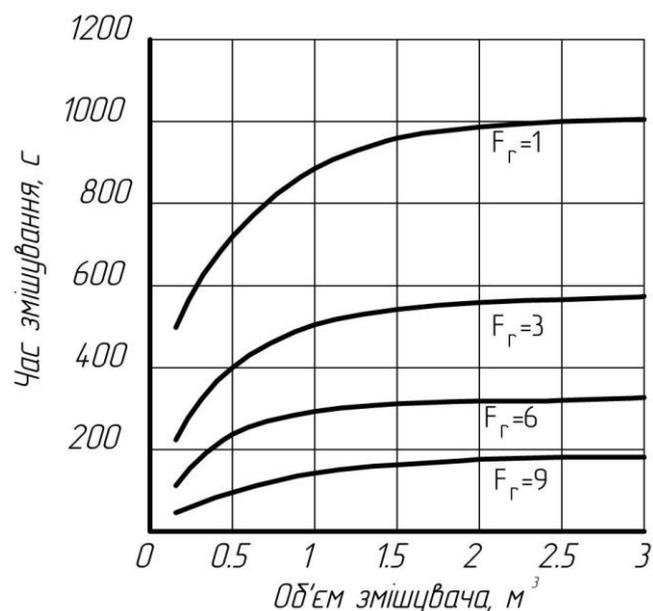
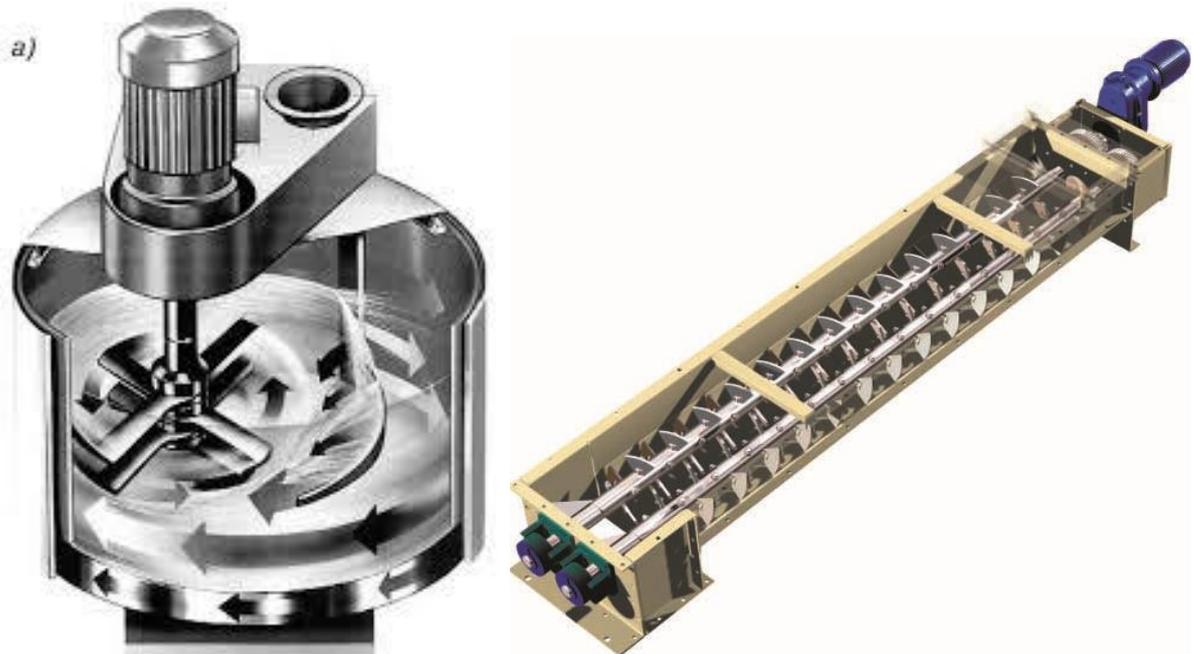


Рисунок 3 – Час приготування суміші в горизонтальному одновальному змішувачі при різних швидкостях обертання лопатей

Наведені дані стосуються визначеного складу і змішувача з лопатями визначеної конфігурації і розмірів.

Для кожного конкретного складу, особливо у випадках сумішей з малою

кількістю домішок, час змішування потрібно підбирати індивідуально, дослідним шляхом.



а) б)  
Рисунок 4 – Змішувачі для виготовлення сухих будівельних сумішей:  
а) – з вертикальним валом,  $Fr = 30$ ; б) – з двома горизонтальними валами,  $1 < Fr < 7$

Тривалість змішування компонентів заданого складу визначають технології діючих виробництв. При підборі об'єму центрифужного змішувача в розрахунок приймають середні значення числа циклів на годину: 24 – при виробництві простих сумішей, 13 – при виробництві сумішей з невеликою кількістю компонентів.

Розподіл в суміші домішок, які вводяться в кількості менше 1%, є найбільш складним процесом. В той же час якість модифікованих сумішей визначається саме розподіленням домішок. Відхилення вмісту хімічних домішок всього на 0,1% може чинити вплив на експлуатаційні властивості готового продукту більше, ніж відхилення співвідношення в'язучого і заповнювача в межах декількох процентів [3].

Для приготування сумішей з домішками використання змішувачів з групи  $Fr < 1$  неприпустимо, оскільки вміст домішок в мертвій зоні завжди відрізняється від середньої величини незалежно від часу змішування. Непридатними для таких цілей є також роторні змішувачі та змішувачі із стрічковими робочими органами, оскільки мають особливо велику мертву зону.

Щодо споживаної потужності, то вона визначається величиною внутрішнього тертя між частинками. Спочатку зі збільшенням швидкості відбувається насичення продукту повітрям і тертя знижується. Мінімум відповідає псевдорідкому стану, за якого тертя мінімальне. Перехід в центрифужний режим супроводжується ущільненням продукту і

збільшенням внутрішнього тертя.

З точки зору питомих енерговитрат найгіршим є режим  $Fr < 1$ . В центрифужному режимі споживана потужність зростає (необхідний більш потужний електропривод), але час змішування при цьому зменшується і питома енергоспоживання майже не змінюється.

Можливість розвантаження без залишків, легкість очистки і простота конструкції – головні переваги одновальних горизонтальних змішувачів, завдяки яким вони все ще утримують міцні позиції у виробництві сухих будівельних сумішей.

На рис. 5 наведена схема розвантаження змішувача з повністю відкритим по всій довжині корпусу днищем. Повне розвантаження досягається при величині кута відкритого сектору більше подвійного значення кута природного нахилу суміші. Для ілюстрації умов повного вивантаження на рис. 5 показані достатній і недостатній кути сектора відкривання. Кут нахилу дотичної до корпусу змішувача в нижній його точці рівний половині кута відкриваючого сектора. В першому випадку він більший кута природного нахилу суміші  $\beta$ , а, отже, суміш вивантажується без залишків. В другому – менше і при вивантаженні в нижній частині корпусу на стінках залишається деяка кількість суміші.

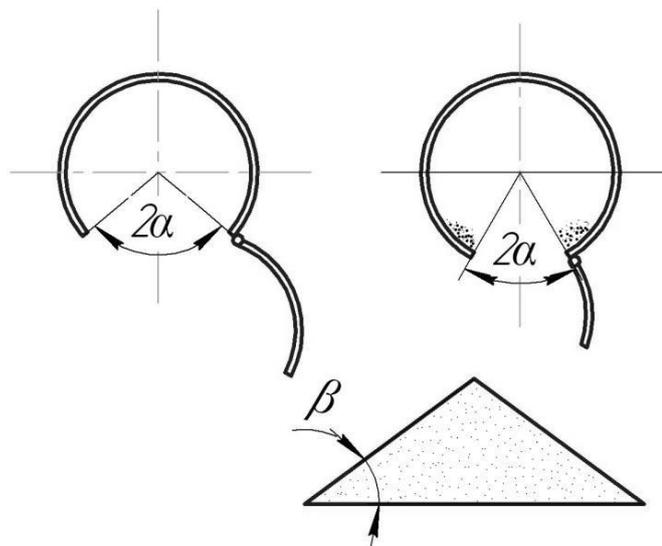


Рисунок 5 – Умова повного розвантаження  $\alpha > \beta$

Змішувачі з днищем, яке повністю відкривається використовують у виробництвах, де протягом доби виникає необхідність послідовної зміни декількох десятків рецептур. Якщо добова програма виробництва обмежується декількома рецептурами, дозволяється використовувати змішувач із розвантажувальним клапаном. В цьому випадку розвантаження без залишку не досягається, перехід від суміші з крупним заповнювачем до суміші з дрібним заповнювачем повинен супроводжуватися чищенням. Щоб мінімізувати простой, чищення змішувача виконують вранці, і далі планують виробництво на добу так, щоб від дрібних сумішей послідовно

переходити до більш грубих.

Ефективність змішування в значній мірі пов'язана з конфігурацією робочих органів змішувача. Так лопаті центрифужного змішувача, виконані у формі плуга, (рис. 6). Плуг розпушує кільце продукту, яке притискається відцентровою силою до стінки і відкидає його вправо і вліво від себе.

У виробництві сухих сумішей часто застосовуються і лопаті традиційної та стрічкової форми (рис. 7), які забезпечують осьове переміщення компонентів суміші в один бік, в той час як допоміжні лопаті, розташовані на меншому радіусі, використовуються для організації осьового переміщення компонентів у зворотному напрямку. Кути нахилу лопатей, площа їх поверхні знаходяться в тісному взаємозв'язку зі швидкістю обертання головного вала.



Рисунок 6 – Лопатки змішувача у форму плуга

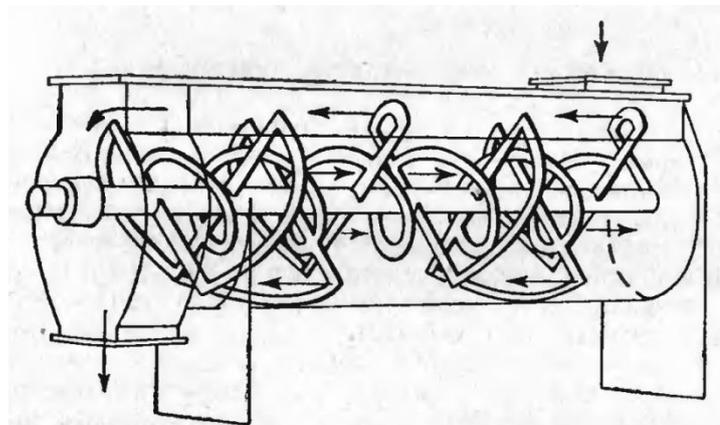


Рисунок 7 – Зустрічнопотоківий шнековий стрічковий змішувач

Ще одним варіантом вдосконалення конструкції змішувачів є використання деагломераторів. За формою робочого органу і принципом дії деагломератор нагадує звичайну електричну кавомолку (рис. 8), лопатки якої обертаються з високою швидкістю, подрібнюючи грудки. Розташовуються деагломератори на бічній поверхні корпусу. Їх кількість залежить від об'єму змішувача і властивостей компонентів. Якщо використання схильних до агломерації інгредієнтів не планується, місця, призначені для встановлення деагломераторів, можуть бути заглушені.

Для контролю якості змішування, змішувач може бути обладнаний пробовідбірником з пневмоприводом. На розсуд технолога відбір проб може

виконуватися в ручному або автоматичному режимі частіше або рідше, в залежності від задачі: поточний контроль, перехід від однієї рецептури до іншої, відпрацювання режиму для нової суміші, тощо.

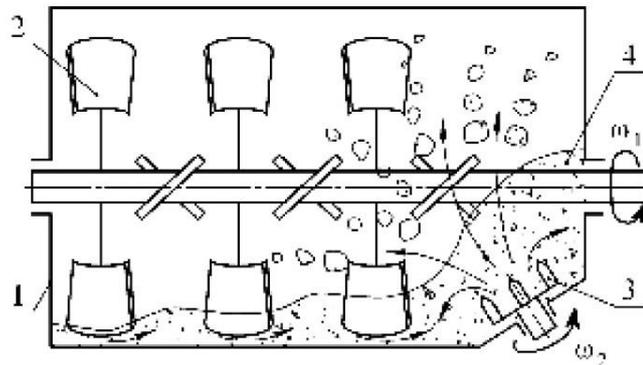


Рисунок 8 – Горизонтальний змішувач з деагломератором:  
1 – бункер; 2 – лопатевий горизонтальний вал; 3 – деагломератор; 4 – суміш

Продукти, що змішуються, особливо кварцовий пісок, відносяться до категорії абразивних, тому робочі органи змішувача виготовляються зі спеціальних зносостійких матеріалів, а конструкція їх кріплення повинна забезпечувати можливість швидкої заміни.

Враховуючи, що змішувачі для виробництва сухих будівельних сумішей з горизонтальним валом відходять у минуле, і все більшого поширення у цьому сегменті набувають змішувачі з вертикальним валом, то можна розглядати, як одну з перспективних розробок вертикальної компоновки, конструкцію спірально-лопатевого змішувача (рис. 4, а та 9).

У змішувачі такого типу компоненти, які перемішуються, завантажуються через патрубок і потрапляють всередину барабана 2. Одночасно приводиться в обертання вертикальний вал-ротор 3 та через клинопасову передачу приводиться в обертання барабан змішувача 2. При цьому лопатевий вал 3 обертається в протилежну сторону від обертання барабана 2. А напрям обертання барабана змішувача вибирається відповідно до напрям витків шнека. В результаті обертання валу лопаті 4 піднімають компоненти, які змішуються, і накидають їх на шнек 5, тим самим переміщуючи їх і в вертикальному і в горизонтальному напрямку. Переміщуючись по поверхні шнека, суміш потрапляє на другий ряд лопатей і, перемістившись як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямку потрапляє на середню частину шнека і просувається вгору. Так суміш досягає верхньої частини барабана змішувача, де лопаті 4, мають зворотний кут установки, щодо лопатей нижніх рядів, вони зрізають рухома суміш зі шнека і направляють вниз назустріч основному потоку суміші. Після того як суміш змішалася, вона вивантажується через нижній люк за допомогою відкривання кришки. Після розвантаження змішувача процес повторюється.

Таким чином, пропонується конструкція змішувача для перемішування

сипучих матеріалів дозволяє збільшити ступінь однорідності готового продукту і скоротить час перемішування сипучих матеріалів за рахунок створення руху вихідних компонентів суміші як в горизонтальному, так і у вертикальному напрямках всередині барабана змішувача, та задовольняє вище розглянутим умовам якісного приготування сумішей. Така конструкція може бути запропонованою, як базова, для подальшого вивчення та вдосконалення обладнання для підприємств з виготовлення сухих будівельних сумішей.

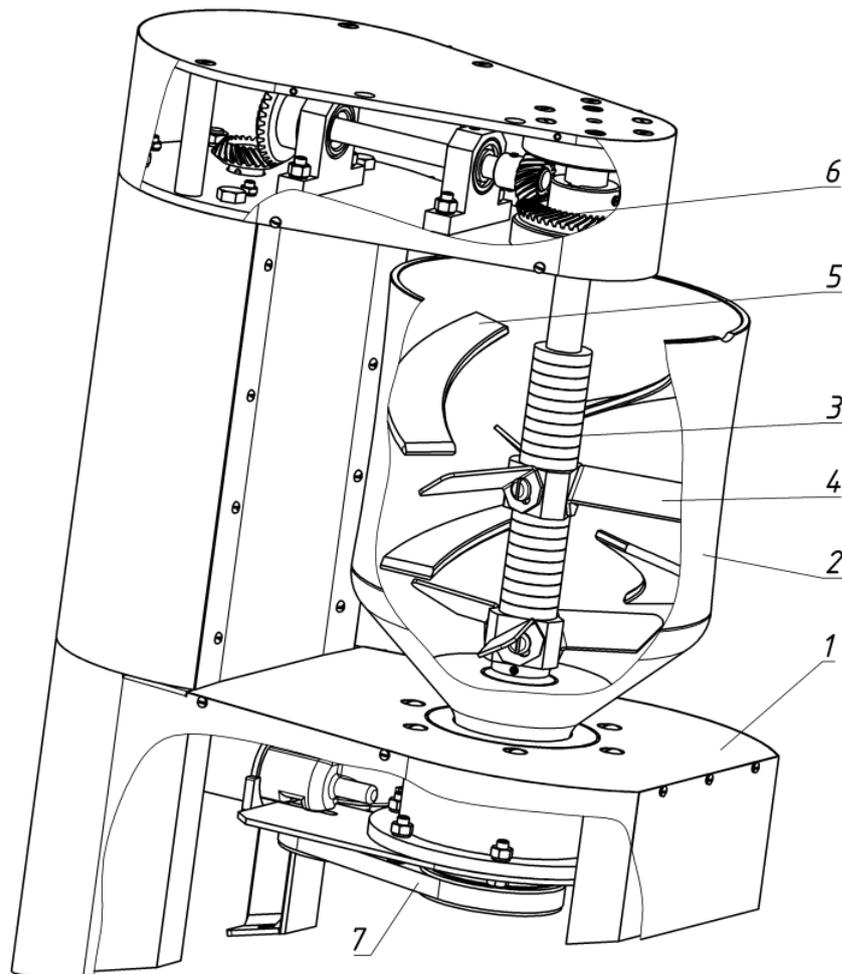


Рисунок 9 – Роторний спірально-лопатевий змішувач:  
1 – корпус; 2 – змішувальний барабан; 3 – вал-ротор; 4 – лопатка; 5 – трьохзаходна гвинтова спіраль; 6 – привод ротора; 7 – привод змішувального барабана

**Висновки.** Незважаючи на наявне підвищення інтенсивності взаємодії робочих органів змішувачів із оброблюваним середовищем і, як наслідок, підвищення енергетичного впливу на змішуваний матеріал, слід зазначити, що змішувачі з горизонтальним валом практично вичерпали свої можливості в розрізі підвищення концентрації енергії у змішувальній камері із збільшенням кількості обертів змішувального вала. Тому необхідно зосередити увагу на розвитку змішувачів з вертикальним валом та комбінованими робочими органами (шнекові стрічки разом з лопатками).

Також слід відмітити, що використання деагломераторів може бути спробою модернізації обладнання з горизонтальним валом шляхом підвищення інтенсифікації впливу на змішувані компоненти, особливо ті, які мають дуже незначну кількість у відсотковому значенні вмісту в суміші.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ГОСТ 16349-85. Смесители цикличные для строительных материалов. Технические условия. Межгосударственный стандарт. М. – 1985. – 11с.
2. Телешов, А.В. Производство сухих строительных смесей: критерии выбора смесителя / А.В. Телешов, В.А. Сапожников // Строительные материалы. – 2000. – №1. – С.10-11.
3. Баранов, Ю. О. Критерії вибору змішувача сухих будівельних сумішей / Ю. О. Баранов, М. О. Клименко // Техніка будівництва. – 2012. – №28. – С. 34-40.
4. Ващенко, К.М. Підвищення інтенсивності процесу перемішування сухих будівельних сумішей// Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – Кременчук: КДПУ ім. М. Остроградського, 2008. – Вип. 2(49), Ч. 1. – С. 73-75.
5. Назаренко І.І., Туманська О.В. Машины і устаткування підприємств будівельних матеріалів: Конструкції та особливості експлуатації. – К.: Вища школа, 2004. – 590 с.
6. Назаренко І.І. Машины для виробництва будівельних матеріалів. – К.: КНУБА, 1999. – 488 с.
7. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками: Пер. с польск. – Л.: Химия, 1975. – 384 с.
8. Штербачек З., Тауск П. Перемешивание в химической промышленности: Пер. с чешск. – Л.: Госхимиздат, 1963. – 417 с.