

О.Ю. КРОТ, канд. техн. наук, ХДТУБА, м. Харків

АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РУХУ МАТЕРІАЛУ В БАРАБАННО-ВАЛКОВОМУ АКТИВАТОРІ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

Для барабанно-валкових машин з ножом, що зрізає матеріал з внутрішньої поверхні барабана у верхній його частині, здійснене аналітичне моделювання процесу руху зрізаного матеріалу, визначення місця встановлення і форми пластин напрямного пристрою для пересування матеріалу; моделювання зв'язку між продуктивністю машини та її параметрами і характеристиками матеріалу.

For drum machines with the knife, which cuts material from the internal surface of drum in upper its part, is executed analytical modeling of process of moving a cut material. This is made for the determination of place and forms of plates of direct device for moving a material. Executed modeling of relationship between machine production with its parameters and features of material.

Постановка проблеми.

Ідея активації речовин з метою модифікації їх властивостей для використання в різних сферах виробництва. Багато інформації і в інтернет-форумах і в науково-технічних джерелах присвячується технології і машинам для активації в'язучих речовин.

Значно менше прикладів реалізації в обладнанні активації всієї суміші, разом із заповнювачем і зволоженою кінцевою кількістю води. А така активація дозволяє розв'язувати багато проблем, що визначають якість товарних виробів чи матеріалів: якісне змішування компонентів, активація заповнювача з досягненням більш ефективної його форми, поточне корегування гранулометричного складу та ін. Крім очевидних змін, пов'язаних з подрібненням та зміною форми частинок суміші, в процесі механічної активації відбуваються процеси, що впливають на зміни мінералогічного складу кінцевих продуктів твердіння [1].

Співробітниками кафедри механізації будівельних процесів Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури (ХДТУБА) розроблено конструкцію барабанно-валкової машини (рис. 1), яку запропоновано застосовувати як активатор будівельних сумішей [2, 3, 4 та ін.]. На основі досліджень сформульовано вимоги до основних параметрів машини і створено напівпромисловий зразок (рис. 2).

Машина складається з циліндричного барабана 1, який встановлений на

роликах 2 і обертається з закритичною швидкістю від спеціального привода. Всередині барабана розташований валок 3, що здатний котитися по внутрішній поверхні барабана. Валок 3 притискується до барабана пристроєм 4, наприклад, пневматичним. У верхній частині до барабана притискується ніж 6. Завантаження і розвантаження матеріалу здійснюється лотками 5 і 7.

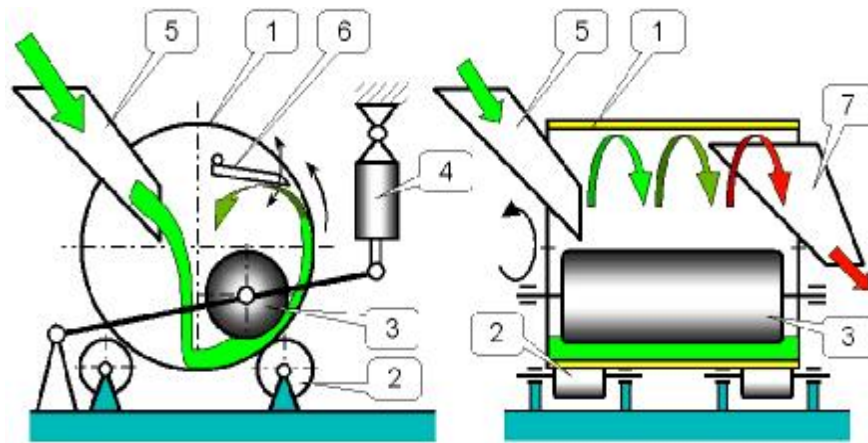


Рис. 1. Схема барабанно-валкової машини безперервної дії.

1 – барабан, 2 – ролики, 3 – валок, 4 – пристрій для притискування валка до внутрішньої поверхні барабана, 5 – завантажувальний лоток, 6 – ніж, 7 – розвантажувальний лоток



Рис. 2. Напівпромисловий зразок барабанно-валкової машини безперервної дії (продуктивність до 1 т/годину) на Курязькому заводі силікатних виробів (м. Харків)

Матеріал (будівельна суміш) завантажується в барабан через лоток 5, прокатується між валком 3 і барабаном 1, зазнаючи механічно-го стиснення, піднімається разом з барабаном, зрізається ножом 6, падає і знову піддається дії валка 3.

Цей цикл багаторазово повторюється, при цьому матеріал пересувається вздовж барабана за рахунок підпору або за допомогою спеціальних пристроїв (на рис. 1 їх не показано), після чого розвантажується через лоток 7. Тиск у матеріалі під валком 3 значно (на порядок)

менший, ніж у млинах схожої конструкції. Найбільший тиск у матеріалі може становити 1 МПа. Товщина шару матеріалу між валком 3 і барабаном 1, яка

залежить від їх розмірів, повинна бути значною – у кілька разів більшою, ніж розмір найбільшого шматка в перероблюваній суміші.

Принцип барабанно-валкового активатора (БВА) безперервної дії базується на безперервному пересуванні матеріалу вздовж осі барабана. Від швидкості пересування матеріалу залежить продуктивність машини, з нею пов'язана ефективність переробки.

Пересування матеріалу вздовж осі барабану відбувається за рахунок різниці в рівнях шарів матеріалу у завантажувальній та розвантажувальній частинах барабану, а, отже, – за рахунок різниці в тисках у матеріалі.

Різниця в рівнях матеріалу у барабані на його завантажувальному та розвантажувальному кінцях забезпечується:

- безперервним виведенням матеріалу з порожнини барабану з його розвантажувального кінця;
- безперервною подачею матеріалу у завантажувальний кінець барабану;
- сипкими властивостями матеріалу (величиною кута природного відкосу матеріалу).

Зміна різниці в рівнях матеріалу в різних кінцях барабану може крім того досягатися і додатковими способами, наприклад, зміною кута нахилу барабану, як це відбувається у активаторі бетонної суміші [4], а також в обертових цементних печах та деяких стержневих млинах.

Принципово іншим методом реалізації пересування матеріалу вздовж барабану є примусове напрямлення струменя матеріалу при його польоті після зрізання його ножем з поверхні барабану.

Відомі способи пересування матеріалу у барабані за допомогою пластин, у звичайному положенні паралельних осі барабану і розташованих під зрізаючим пристроєм таким чином, щоб потік зрізаного матеріалу потрапляв на пластини і зісковзував з них. Відхилення пластин від паралельності осі забезпечує зміну напрямку руху матеріалу [5].

Суттєвим недоліком такої конструкції є необхідність для забезпечення її працездатності встановлення досить малого кута α (рис. 3), який, однак, не повинен бути меншим, ніж кут тертя матеріалу по поверхні пластини.

Для мокрої активації, для якої характерне налипання матеріалу, таке розташування пластини протипоказане.

Запропоновано конструкцію напрямного апарату з пластинами, встановленими перпендикулярно осі барабану і розташованими під зрізаючим пристроєм. З метою регулювання пластини обертаються на певний кут (на-

багато менший, ніж кут тертя матеріалу по поверхні пластини, наприклад, до 10°) відносно осі, розвантажування якої близьке до радіуса барабана. Іншим варіантом реалізації цього ж принципу є виготовлення пластини з гнучкого матеріалу і пересування вздовж осі барабана верхньої та (або) нижньої її частини і досягнення за рахунок цього перекосу пластини.

Пластини повинні бути вставлені саме в зоні проходження основного потоку матеріалу, зрізаного ножем (рис. 4), і з цієї точки зору площа пластин повинна бути максимальною. Але великі пластини більш піддаються налипанню на них матеріалу в процесі роботи, ускладнюють процес монтажу та обмежують пересування всередині барабана валка та ножа (рис. 4) в процесі роботи машини. Знайти компроміс між цими доводами – знайти раціональну величину пластин та місце їх розташування дозволить модель траєкторії руху матеріалу, зрізаного ножем.

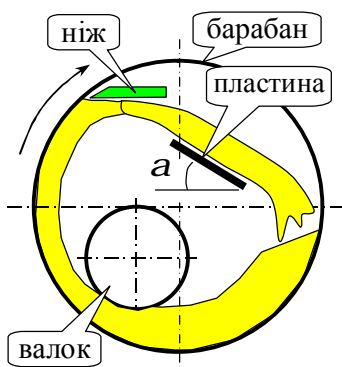


Рис. 3. Конструкція напрямного пристрою з пластиною, паралельною осі барабана

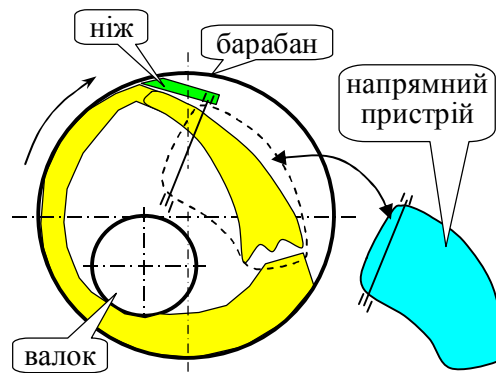


Рис. 4. Запропонована конструкція напрямного пристрою з пластинами, перпендикулярними осі барабана

Метою цих досліджень є аналітичне моделювання процесу зрізання матеріалу ножем і руху зрізаного матеріалу для визначення місця встановлення пластин напрямного пристрою і їх форми, а також виявлення зв'язку між продуктивністю машини та її параметрами і характеристиками перероблюваного матеріалу.

Місце встановлення пластин потрібно відповідати найбільшій густині матеріального потоку матеріалу, зрізаного ножем, а форма повинна забезпечувати найбільшу ступінь захоплення матеріального потоку при забезпеченні умови відсутності дотикання пластин до поверхонь барабана і валка.

Модель траєкторії руху матеріалу, зрізаного ножем. Матеріал, укатаний валком, у процесі роботи машини обертається разом з барабаном,

тримаючись на його внутрішній поверхні за рахунок відцентрової сили, сили тертя матеріалу по поверхні барабана, а також адгезійних сил. Товщину шару цього матеріалу позначимо як h (м).

Обертання барабана відбувається з надкритичною кутовою швидкістю, забезпечуючи при цьому лінійну швидкість матеріалу v (м/с).

Відстань від центра барабана до елементарного шару матеріалу буде дорівнювати:

$$\rho_i = R - h_i, \text{ м} \quad (1)$$

Лінійна швидкість елементарного шару матеріалу буде дорівнювати:

$$v_i = \omega \cdot \rho_i, \text{ м/с}, \quad (2)$$

де ω – робоча кутова швидкість обертання барабана, рад/с.

Внаслідок того, що кожному елементарному (i -тому) шару матеріалу відповідає певна лінійна швидкість (рис. 5), кожний елементарний шар має свою певну, відмінну від інших, кінетичну енергію.

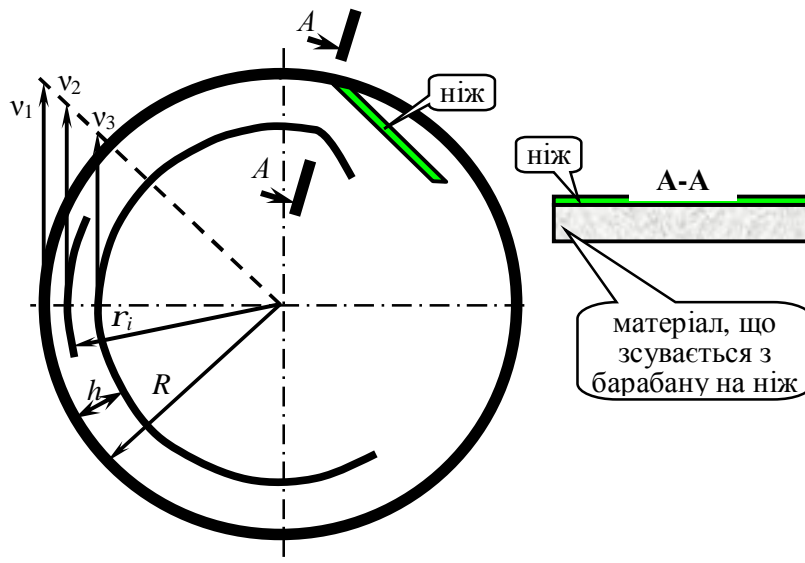


Рис. 5. Епюра швидкостей шару матеріалу у барабані; h_i – відстань від внутрішньої поверхні барабану до елементарного шару, м; R – внутрішній радіус барабану, м.

Отже, кожний елементарний шар матеріалу після зрізання буде летіти по траєкторії, яка дещо відрізняється від траєкторій інших шарів.

Розглянемо швидкість i -того шару матеріалу в барабані v_i (рис. 6), яка напрямлена по дотичній у точці зустрічі шару матеріалу з ножем.

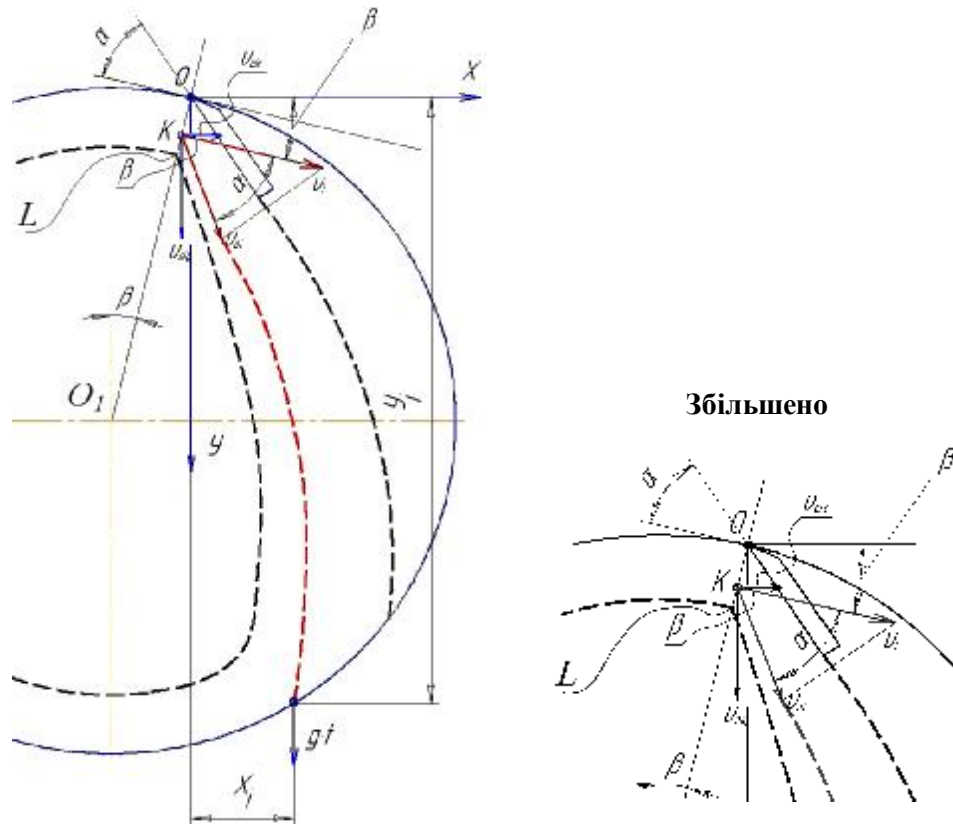


Рис. 6. Схема для визначення траєкторії польоту матеріалу, зрізаного ножом усередині барабану

Швидкість матеріалу, що рухається вздовж ножа, можна визначити так:

$$v_{oi} = v_i \cdot \cos \alpha, \text{ м/с}, \quad (3)$$

кут α – між площиною ножа і швидкістю шару матеріалу, що підходить до ножа.

Оберемо прямокутну систему координат з центром у точці дотикання ножа до поверхні барабана, осі “X” і “Y” напрямлені відповідно горизонтально вправо та вертикально вниз.

$$v_{oiX} = v_{oi} \cdot \cos(\alpha + \beta) = v_i \cdot \cos \alpha \cdot \cos(\alpha + \beta), \text{ м/с}, \quad (4)$$

$$v_{oiY} = v_{oi} \cdot \sin(\alpha + \beta) = v_i \cdot \cos \alpha \cdot \sin(\alpha + \beta), \text{ м/с}. \quad (5)$$

Для найбільш ефективного розташування вузлів машини при конструюванні дотикання ножа з поверхнею барабана може здійснюватись не в найвищій точці барабана (не на його вертикальній осі). Позначимо через “ β ” кут між вертикаллю та прямою, що з’єднує лезо ножа з центром барабана.

Дійшовши до ножа, елементарні шари матеріалу змінюють свої швидкості і за напрямком, і за модулем.

Рух матеріалу після зрізання його ножем визначається:

- швидкістю v_{oi} руху матеріалу у точці зрізання його ножем;
- швидкістю вільного падіння матеріалу $g \cdot t$.

Координати знаходження частинки з розглянутого елементарного шару до її падіння на барабан виражаються залежностями:

$$X_i = v_{oi} \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot t, \text{ м} \quad (6)$$

$$Y_i = v_{oi} \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2} + h_i, \text{ м} \quad (7)$$

$$t = \frac{x_i}{u_{oi} \cdot \cos(a + b)}, \text{ с} \quad (8)$$

Виразимо Y_i через X_i і знайдемо рівняння траєкторії падіння елементарного шару матеріалу:

$$Y_i = v_{oi} \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot \frac{X_i}{u_{oi} \cdot \cos(a + b)} + \frac{g \cdot X_i^2}{2 \cdot (u_{oi} \cdot \cos(a + b))^2} + h_i, \quad (9)$$

де: h_i – товщина елементарного шару матеріалу, м; α – кут нахилу ножа відносно горизонтальної осі, град; g – прискорення вільного падіння, м/с²; v_{oi} – швидкість елементарного шару матеріалу при скиданні його ножем, м/с.

Знайдемо рівняння для аналітичного описання контурів шлейфа матеріалу, що утворюється при зрізанні його ножем. Для цього, використовуючи залежності (1), (2), (9), прирівнюємо h_i спочатку повній висоті h , потім нулю.

$$\begin{cases} r_i = R - h_i \\ u_i = w \cdot r_i \\ u_{oi} = u_i \cdot \cos a \\ Y_i = u_{oi} \cdot \sin(a + b) \cdot \frac{X_i}{u_{oi} \cdot \cos(a + b)} + \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{X_i}{u_{oi} \cdot \cos(a + b)} \right)^2 + h_i \end{cases} \quad (10)$$

Контур шлейфа матеріалу, найближчого до центра барабану:

$$\begin{cases} r = R - h \\ u = w \cdot r \\ u_o = u \cdot \cos a \\ Y = u_o \cdot \sin(a + b) \cdot \frac{X}{u_o \cdot \cos(a + b)} + \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{X}{u_o \cdot \cos(a + b)} \right)^2 + h \end{cases} \quad (11)$$

Контур шлейфа матеріалу, найвіддаленішого від центра барабану:

$$\begin{cases} r = R \\ u = w \cdot r \\ u_o = u \cdot \cos a \\ Y = u_o \cdot \sin(a + b) \cdot \frac{X}{u_o \cdot \cos(a + b)} + \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{X}{u_o \cdot \cos(a + b)} \right)^2 \end{cases} \quad (12)$$

Припущення, зроблені при математичному моделюванні:

- зміна напрямку руху матеріалу при зрізанні його ножем відбувається по площині, що проходить через центр барабана O_1 і точку дотику барабана з лезом ножа O (на рис. 6 вказано відрізок OL , що відповідає проекції цієї площини);
- вважається несуттєвим вплив опору повітря на траєкторію матеріалу на малих довжинах польоту (менше діаметра барабана), тому опір повітря не враховується.

Аналітичне описання процесу видалення матеріалу з барабану під час зрізання матеріалу. Матеріал, зрізаний ножем, зсувається на ніж, маючи при цьому переріз прямокутної форми (рис. 7а). На цей час матеріал вже розрихлений. Внаслідок неможливості утримування бічних частин шару у такому стані (через існування кута природного відкосу) бічна частина (трикутник на рис. 7б) шару буде зсунено. Сила, що змусить її зсунутись, залежить від відцентрової сили матеріалу та ваги матеріалу.

Площа зсунутого трикутника (рис.7в) та швидкість пересування його в напрямку осі барабану визначають теоретичну продуктивність машини.

Швидкість руху матеріалу вздовж площини ножа u_{o1} та її проекції на осі координат ми знайшли (формули (3), (4) і (5)) (рис. 7 та рис. 10).

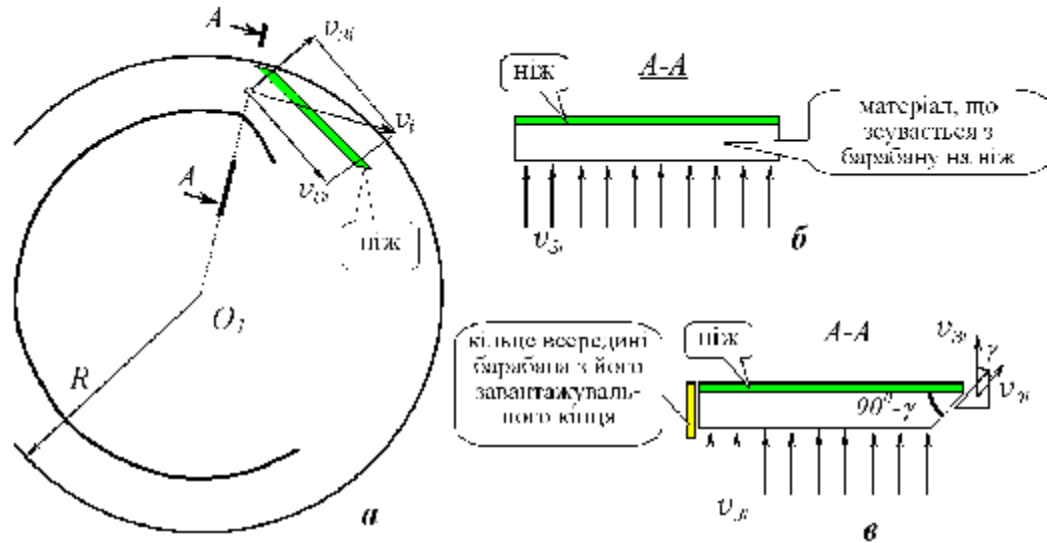


Рис. 7. Схема утворення умови зісковзування бічних частин шару матеріалу з ножа.
 а – переріз барабана; б – ідеалізований варіант (відсутність зісковзування матеріалу вбік);
 в – фактичний варіант (на розвантажувальному кінці барабану зісковзування частини матеріалу, що знаходиться на ножі біля його кромки)

Введемо третю вісь координат “Z”, що виходить з точки О (рис.6) і напрямлена у бік розвантаження матеріалу з БВА (рис. 8, 9). Проекція швидкості v_{oi} на вісь “Z” дорівнює нулю, якщо для просування вздовж “Z” не створено умов (матеріал далеко від краю ножа):

$$v_{oiz} = 0. \quad (13)$$

Швидкість наближення ма-теріалу до площини ножа (у перпендикулярному для цієї площини напрямку – рис. 7 та рис. 11) назвемо швидкістю з індексом “3” (трійка): v_{3i} :

$$v_{3iz} = 0 \quad v_{3i} = v_1 \cdot \sin\alpha \quad v_{3ix} = v_{3i} \cdot \sin(\alpha+\beta) \quad v_{3iy} = v_{3i} \cdot \cos(\alpha+\beta) \quad (14)$$

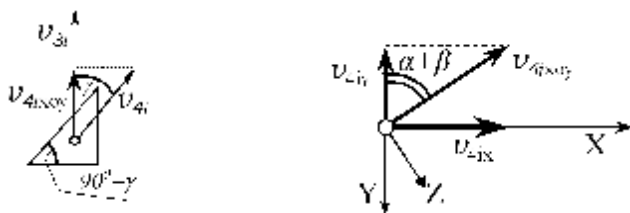


Рис. 8. Схеми послідовної побудови векторів швидкостей, якими характеризується рух матеріалу біля поверхні ножа

Розглянемо тепер фактичний варіант ножа (рис. 7в), права (на рисунку) частина якого не має нічого, що б затримало від зісковзування частину матеріалу, розташованого поблизу. На рис. 7в – це трикутник у правій частині ножа.

Вектор швидкості v_{3i} дає складову v_{4i} , паралельну площині зісковзування по схилу. Кут між v_{3i} і v_{4i} позначимо γ .

Тоді традиційна характеристика сипкого матеріалу – кут природного відкосу – виражається так: $(90^\circ - \gamma)$ (рис. 8).

$$v_{4i} = v_{3i} \cdot \cos\gamma \quad (\text{рис. 8}), \quad v_{4i} = v_1 \cdot \sin\alpha \cdot \cos\gamma, \quad v_{4iz} = v_{4i} \cdot \sin\gamma \quad (15)$$

$$v_{4iz} = v_1 \cdot \sin\alpha \cdot \cos\gamma \cdot \sin\gamma \quad (16)$$

Щоб знайти проєкції швидкості v_{4i} на осі X та Y, спочатку спроектуємо її на площину XOY.

$$v_{4ixoy} = v_{4i} \cdot \cos\gamma \quad (17)$$

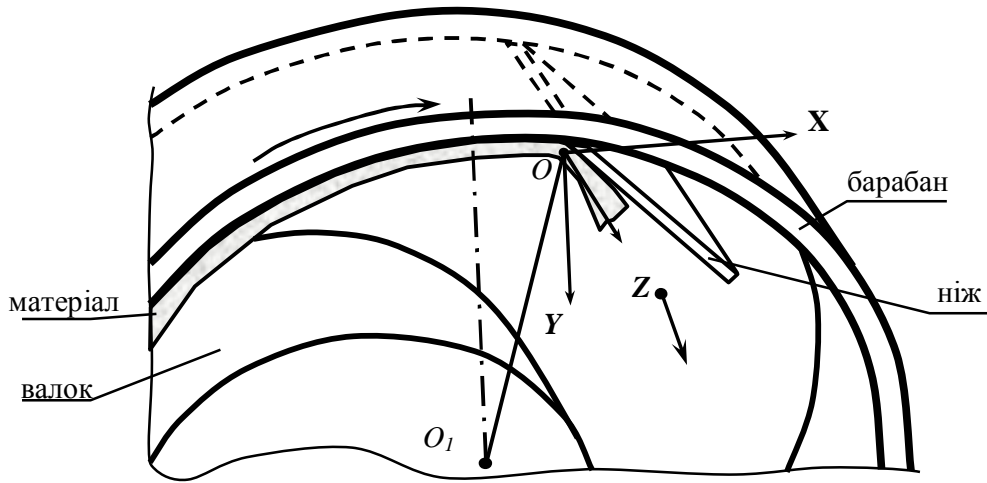


Рис. 9. Елементи робочого органа машини та обрана система координат

Тепер знайдемо її проєкції на осі X та Y:

$$v_{4ix} = v_{4ixoy} \sin(\alpha + \beta)$$

$$v_{4ix} = v_{4i} \cos\gamma \cdot \sin(\alpha + \beta) \quad (18)$$

$$v_{4iy} = -v_{4ixoy} \cos(\alpha + \beta)$$

$$v_{4iy} = -v_{4i} \cos\gamma \cdot \cos(\alpha + \beta) \quad (19)$$

Знак „-” тому, що вектор напрямлений протилежно осі „Y”.

З залежностей (10), (13), (17) та (19) визначаємо проєкції на координатні осі вектора фактичної швидкості матеріалу, що відірвався від ножа внаслідок

існування кута природного відкосу (швидкості v_{5i})

$$\begin{cases} v_{5ix} = v_{0ix} + v_{4ix} = v_{0i} \cdot \cos(\alpha + \beta) + v_{4i} \cdot \cos\gamma \cdot \sin(\alpha + \beta) \\ v_{5iy} = v_{0iy} + v_{4iy} \\ v_{5iz} = v_{4iz} \end{cases} \quad (20)$$

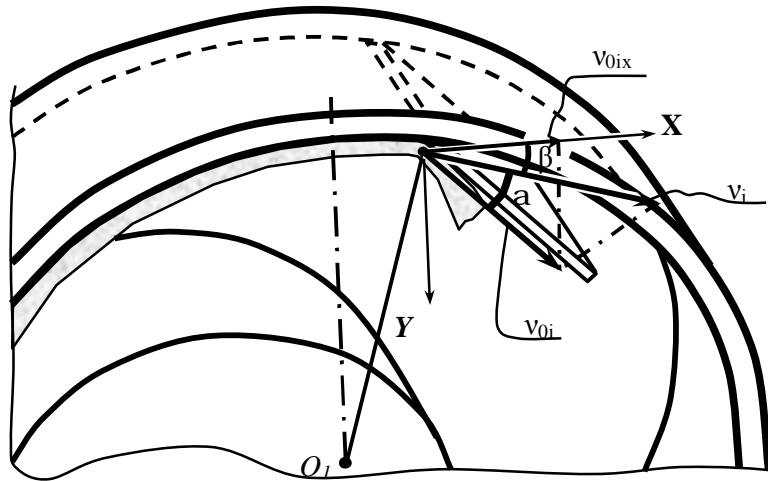


Рис. 10. Тангенціальна швидкість руху матеріалу з барабаном
(до моменту зіткнення з ножем)

та швидкість руху матеріалу по поверхні ножа (після зіткнення матеріалу з ножем)

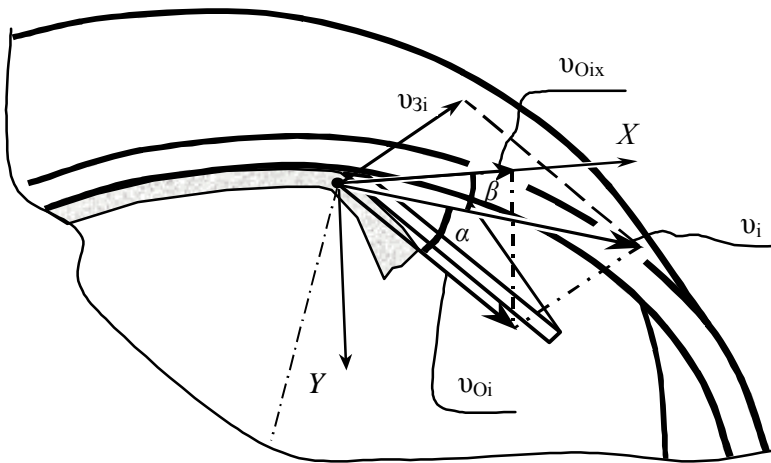


Рис. 11. Швидкість наближення матеріалу до площини ножа (у перпендикулярному
для цієї площини напрямку) v_{3i}

$$\begin{cases} v_{5ix} = v_i \cdot \cos\alpha \cdot \cos(\alpha + \beta) + v_i \sin\alpha \cdot \cos\gamma \cdot \cos\gamma \sin(\alpha + \beta) \\ v_{5iy} = v_i \cdot \cos\alpha \cdot \sin(\alpha + \beta) - v_i \sin\alpha \cdot \cos\gamma \cdot \cos\gamma \cos(\alpha + \beta) \\ v_{5iz} = v_i \sin\alpha \cdot \cos\gamma \cdot \sin\gamma \end{cases} \quad (21)$$

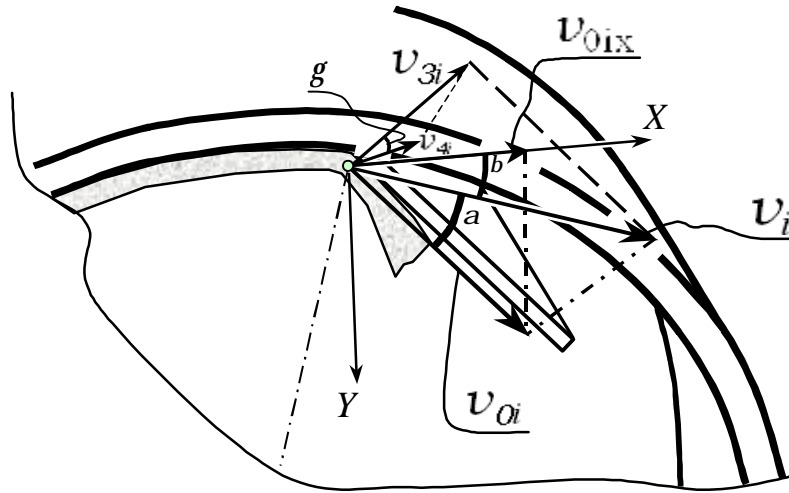


Рис. 12. Швидкість зісковзування матеріалу з ножа за кутом природного відкосу v_{4i}

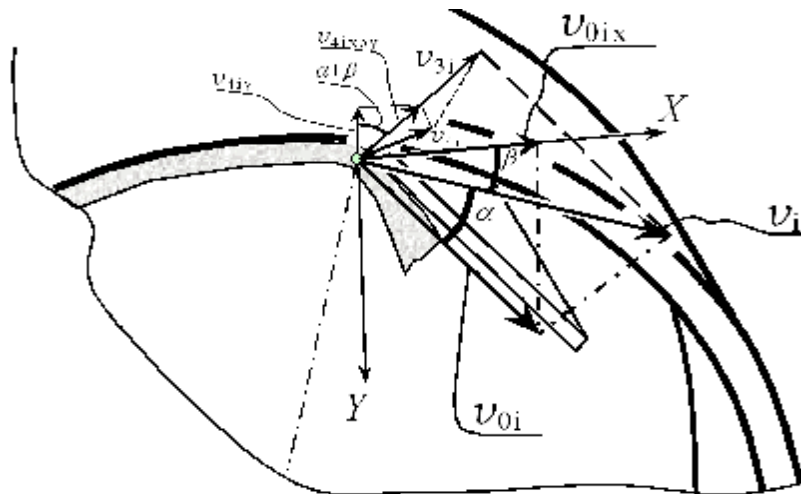


Рис. 13. Швидкість зісковзування матеріалу з ножа за кутом природного відкосу v_{4i} та її складові

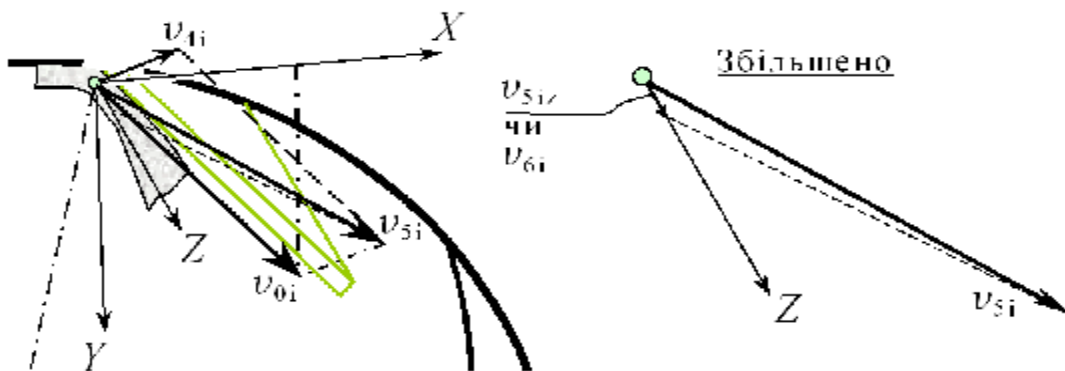


Рис. 14. v_{5i} – фактична швидкість матеріалу, що відірвався від ножа внаслідок існування кута природного відкосу; це сума векторів швидкості v_{0i} , що просуває матеріал вздовж ножа, та швидкості v_{4i} , з якою матеріал зісковзує з ножа по куту природного відкосу

Швидкість руху матеріалу після злітання з ножа визначається не тільки швидкістю v_{5i} , а ще й швидкістю вільного падіння. Тому, за аналогією із залежностями (5) і (6), запишемо **залежності для визначення траєкторії руху матеріалу**:

$$\begin{cases} X_{7i} = v_{5ix} \cdot t \\ Y_{7i} = v_{5iy} \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2} + h_i \\ Z_{7i} = v_{5iz} \cdot t \end{cases} \quad (22)$$

$$\begin{cases} X_{7i} = v_i \cdot (\cos \alpha \cdot \cos(\alpha + \beta) + \sin \alpha \cdot \cos^2 \gamma \cdot \sin(\alpha + \beta)) \cdot t \\ Y_{7i} = v_i \cdot (\cos \alpha \cdot \sin(\alpha + \beta) - \sin \alpha \cdot \cos^2 \gamma \cdot \cos(\alpha + \beta)) \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2} + h_i \\ Z_{7i} = v_i \cdot \sin \alpha \cdot \cos \gamma \cdot \sin \gamma \cdot t \end{cases} \quad (23)$$

Для аналітичного дослідження швидкості, висоти шару, а також кутів α , β і γ фактор часу в залежностях (21) – (23) непотрібний. Як видно з залежностей (21) і (23), і проекція X_i і проекція Z_i лінійно залежать від добутку $v_i \cdot t$, і їх відношення завжди (у будь-який момент часу) буде однаковим:

$$\frac{X_{7i}}{Z_{7i}} = \frac{\cos a \cdot \cos(a + b) + \sin a \cdot \cos^2 g \cdot \sin(a + b)}{\sin a \cdot \cos g \cdot \sin g} \quad (24)$$

Виразимо добуток $v_i \cdot t$ з залежності (23):

$$v_i \cdot t = \frac{Z_i}{\sin a \cdot \cos g \cdot \sin g} \quad (25)$$

Підставимо в (23). Крім того, з (22) виразимо t і підставимо у (23):

$$t = \frac{X_{7i}}{v_i \cdot (\cos a \cdot \cos(a + b) + \sin a \cdot \cos^2 g \cdot \sin(a + b))} \quad (26)$$

Одержимо:

$$Y_{7i} = \frac{Z_{7i} \cdot (\cos a \cdot \sin(a + b) + \sin a \cdot \cos^2 g \cdot \cos(a + b))}{\sin a \cdot \cos g \cdot \sin g} + \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{X_i}{v_i \cdot (\cos a \cdot \cos(a + b) + \sin a \cdot \cos^2 g \cdot \sin(a + b))} \right)^2 + h_i \quad (27)$$

На рис. 9 – рис. 14 наведено векторну побудову для описаної методики визначення швидкості матеріалу, що злітає з ножа, та траєкторії його руху.

Але рис. 9 – рис. 13 потрібні більше для наочності, оскільки швидкості v_{0i} та v_{4i} (потрібні для знаходження v_{5i} (формула 20)) визначаються з ортогональних проєкцій на рис. 7 та рис. 8.

Тривимірний графік траєкторії руху матеріалу (приклад – на рис. 15) використовувався при конструюванні розвантажувального пристрою напівпромислового зразка (рис. 2 та рис. 20).

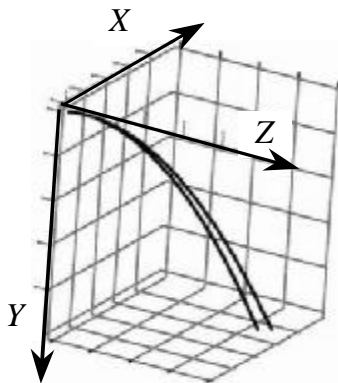


Рис. 15. Приклад траєкторії вильоту з барабана матеріалу, зрізаного ножом

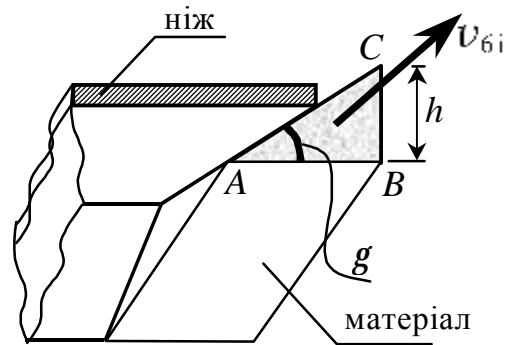


Рис. 16. Розрахункова схема для визначення продуктивності

Формула (27) виражає залежність координат шлейфа матеріалу, що злітає з ножа, являючись причиною пересування матеріалу. Складова v_{5iz} (чи v_{6i} на рис. 14) відповідає швидкості пересування матеріалу вздовж осі барабана. Добуток цієї швидкості та площі перерізу частини матеріалу, що зісковзує з ножа, являє собою аналітично розраховану продуктивність машини.

Приклад розрахунку продуктивності БВА, що базується на цій теорії, наведено нижче.

Приклад розрахунку продуктивності БВА безперервної дії на основі запропонованої моделі (як транспортуючої машини)

Вихідні дані:

- Діаметр барабана: $D = 600$ мм
- Кутова швидкість обертання барабана: $\omega = 10$ рад/с
- Кут зміщення ножа відносно вертикальної осі (рис.5): $\beta = 10^\circ$
- Кут атаки ножа: $\alpha = 20^\circ$
- Кут природного відкосу $\gamma = 40^\circ$
- Висота шару матеріалу: $h = 20$ мм

$$S_{ABC} = \frac{AB \cdot BC}{2} \quad (28)$$

$$tg\gamma = \frac{BC}{AB} \quad AB = \frac{BC}{tg\gamma} \quad S_{ABC} = \frac{BC^2}{2 \cdot tg\gamma} = \frac{h^2}{2 \cdot tg\gamma} \quad (29)$$

Приклад: для висоти шару матеріалу 20 мм (0,02 м), кута природного відкосу матеріалу 40° , радіуса барабана 0,3м, кутової швидкості обертання барабана 10 рад/с (приблизно 100об/хв), кута “атаки” α ножа 20° (рис. 16).

$$S_{ABC} = \frac{0.02^2}{2 \cdot tg40^\circ} = 2.384 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (30)$$

Лінійна швидкість матеріалу по колу:

$$u = w \cdot R = 10 \cdot 0.3 = 3 \text{ (м/с)} \quad (31)$$

$$v_5 = v \cdot \sin\alpha \cdot \cos\gamma \cdot \sin\gamma = 3 \cdot \sin20^\circ \cdot \cos40^\circ \cdot \sin40^\circ = 0.505 \text{ (м/с)}$$

$$\Pi = v_5 \cdot S_{\text{перер.}} \cdot k = v \cdot \sin\alpha \cdot \cos^2\gamma \cdot \frac{h^2}{2} \cdot k. \quad (32)$$

$$\Pi = v_5 \cdot S_{ABC} \cdot k = 0.434 \text{ м}^3/\text{Год}, \quad (33)$$

де: $k = 3600 \text{ с/год}$ – коефіцієнт переходу продуктивності від $\text{м}^3/\text{с}$ до $\text{м}^3/\text{год}$.

Напівпромисловий зразок (рис. 2) було розроблено виходячи з розрахунку продуктивності (33) близько $0,5 \text{ м}^3/\text{год}$ (1 т/год). Експерименти на виготовленому напівпромисловому зразку підтвердили відповідність розрахункової (за моделлю) та фактичної (на зразку) продуктивностей. Як видно з (32), продуктивність „ Π ” не залежить від кута зміщення ножа відносно вертикальної осі β (рис. 6); квадратично залежить від товщини шару; лінійно залежить від швидкості обертання барабану. Суттєва зміна швидкості v з метою регулювання продуктивності неможлива, оскільки повинна виконуватись умова $\omega_{\text{роб}} \approx (1,2 \dots 1,5) \cdot \omega_{\text{крит}}$ – робоча частота обертання барабана повинна бути більшою, ніж частота критична. Зміна кута атаки ножа α (рис. 17) може, хоча і не суттєво, вплинути на „ Π ”. Але, по-перше – оперативна зміна кута α нахилу ножа в процесі роботи неможлива, по-друге – великий кут α призводить до налипання перероблюваного матеріалу на ніж. Вплив цього кута на показники ножа

докладно досліджений стосовно землерийних машин Горячкіним В.П. [6] та його послідовниками (наприклад [7]). Згадаємо також незаслужено забутого киянина (Київський політехнічний інститут) швейцарського-російського походження Шиндлера Камілла Гавриловича з його роботою «Теория и конструкция пахотных орудий» (1904 р., задовго до робіт Горячкіна В.П.).

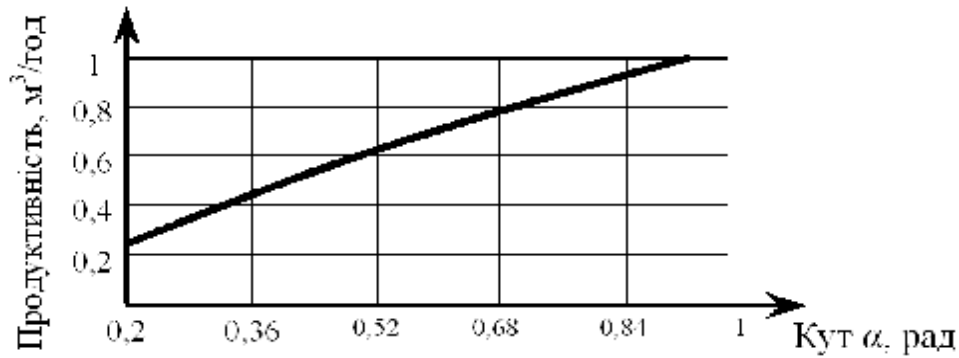


Рис. 17. Залежність продуктивності барабанної машини безперервної дії (як транспортувальної машини) від кута «атаки» ножа α (для $D = 600$ мм, $\omega = 10$ рад/с, $\beta = 10^\circ$, $\gamma = 40^\circ$, $h = 20$ мм)

Для зменшення опору і зношення бажано забезпечити найменше можливе значення цього кута – у деяких землерийних машин – до 15° . Конструктивні проробки свідчать, що найменший з можливих кутів атаки, який можна забезпечити в машині барабанно-валкового типу, становить близько 25° . Запропоновані технічні рішення для підтримування значення цього кута майже незмінним навіть при зношенні леза ножа [8].

Кут природного відкосу γ (рис. 18) також помітно впливає на продуктивність, але є властивістю перероблюваного матеріалу, і тому не може примусово змінюватись для регулювання продуктивності.

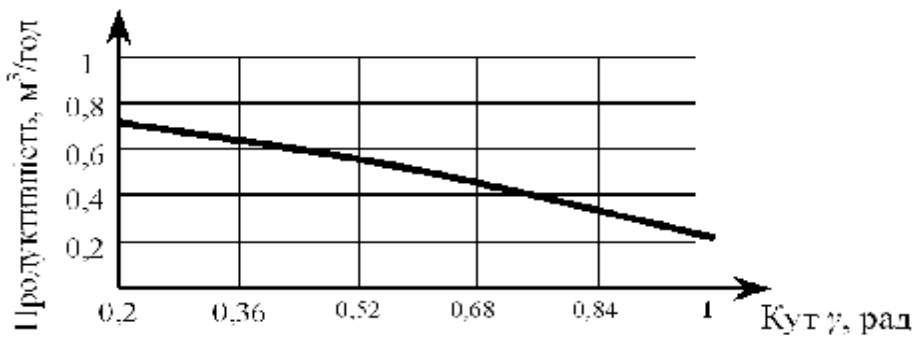


Рис. 18. Залежність продуктивності барабанної машини безперервної дії (як транспортувальної машини) від кута природного відкосу γ (для $D = 600$ мм, $\omega = 10$ рад/с, $\beta = 10^\circ$, $\alpha = 20^\circ$, $h = 20$ мм)

Найсуттєвіший вплив на продуктивність спричиняє зміна висоти шару h (32).

Суттєво, що продуктивність машини визначається насамперед швидкістю завантаження в неї матеріалу. З нею ж (через кількість циклів ущільнення-розрихлення) зв'язана і ефективність переробки.

Оперативна зміна висоти шару можлива за допомогою спеціальних напрямних пристроїв – пластин (рис. 19, 20).



Рис. 19. Вузол ножа та напрямних пристроїв для переміщення матеріалу вздовж барабану (для зміни висоти матеріалу під валком)



Рис. 20. Установлені в машині напрямні пристрої

Висновки.

Запропоновано аналітичні моделі руху матеріалу всередині барабана барабанно-валкової машини, проаналізовані чинники регулювання швидкості просування матеріалу вздовж барабана, висоти шару матеріалу під валком та продуктивності машини. Теоретично обґрунтовано математичну залежність для визначення продуктивності машини безперервної дії як транспортуючої машини; експериментально підтверджено відповідність цієї залежності фактичним даним. Запропоновано та на конкретному прикладі реалізовано методику розрахунку продуктивності. Запропоновані технічні рішення для регулювання висоти шару матеріалу.