

В. С. Ловейкін, д.т.н., професор,
В. С. Хмельовський, к.т.н., доцент,
А. В. Гудова, к.т.н., асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Наведені результати досліджень, які дають змогу підвищити ефективність роботи мобільного кормоприготувального агрегату в процесі годівлі тварин. Агрегат забезпечує одночасне подрібнення і змішування компонентів з наступним дозованим їх роздаванням. Стаття присвячена виявленню та зрівноваженню динамічних навантажень, які виникають в елементах конструкції агрегату в процесі приготування та роздавання кормів.

Ключові слова: кормові компоненти, сумішки, кормоприготувальний агрегат, змішування, динамічні навантаження, шини.

Постановка проблеми. Розвиток тваринництва за інтенсивними технологіями ґрунтується на основі повноцінної годівлі, яка забезпечується виробництвом достатньої кількості кормів, зведенням до мінімуму їх втрат при заготівлі та в період зберігання, а також правильною і високоякісною підготовкою компонентів кормового раціону до згодовування [1].

Для усунення вибору твариною високоенергетичних кормових компонентів, які входять до рецепту кормової суміші, остання повинна згідно зоотехнічних вимог мати рівномірність змішування не менше 85 %. При цьому переробка кормів потребує в 3-4 рази менших витрат за вартість додатково одержуваної продукції [1, 2]. Якісні показники кормової суміші зростають в міру підвищення рівня інтенсифікації тваринництва.

Залежно від технології кормоприготування при виборі комплексу машин та обладнання слід дотримуватись раціональних сучасних методичних підходів і перспективних рішень. Наприклад, мобільні кормоприготувальні агрегати, які зводять до мінімуму допоміжні операції, потреби в транспортно-перевантажувальних засобах, проміжних бункерних місткостях скорочують втрати кормів та їх поживної цінності, знижують матеріал- і енергомісткість процесів [2].

На сучасному етапі розвитку тваринництва як в світовій практиці, так і в Україні все більшого розповсюдження набувають комбіновані транспортно-технологічні агрегати для приготування кормів, які поєднують виконання операцій подрібнення і змішування, а також забезпечують доставку і дозоване роздавання кормів. Їх позитивними ознаками є мобільність, простота конструкції та економічність. Все це викликає значну зацікавленість в цих машинах у спеціалістів господарств з розвинутим тваринництвом різної форми власності.

За кордоном такі машини мають назву TMR mixer, що в перекладі з англійської означає повнорраціонні змішувачі. Технологія підготовки кормів до згодовування в таких агрегатах передбачає мінімальний обробіток вихідних компонентів (доподрібнення та змішування), який здатен забезпечу-

вати задовільну якість приготування кормових сумішок [1, 2].

Проводячи аналіз роботи мобільного кормоприготувального агрегату виявлено зношування протектора колеса (рис.1), яке на нашу думку пов'язане із зміною центра мас сумішки в середині бункера в процесі одночасного подрібнення і змішування інгредієнтів кормового раціону шнековою мішалкою.



Рис.1 Спрацювання протектор колеса

Процес приготування кормової суміші (доподрібнення та змішування) здійснюється шнековим робочим органом конусоподібного типу. Робочий орган змішувача-роздавача має вигляд однозахідного гвинта, в процесі роботи під дією інерційних сил шнек розхитує бункер. При одночасному русі мобільного кормоприготувального агрегату по дорозі та роботі гвинтового змішувача виникають динамічні сили, які призводять до переміщення агрегату у поперечному напрямі по відношенню до його осі. Компенсація цих переміщень здійснюється шинами агрегату, що призводить до їх інтенсивного спрацювання.

Аналіз останніх досліджень. Для усунення зношування протектора шин та забезпечення стійкості роботи агрегату було запропоновано патент на корисну модель № 62767, який передбачає зміни конструкції робочого органу [3]. Нижня розширена частина оснащена додатковою гвинтовою навивкою, тобто, дві гвинтові навивки розташовано симетрично одна одній, при цьому одна

із навівок має обмежену довжину.

Проблеми зрівноваження динамічних навантажень є і в інших галузях. Так, наприклад, в роботі [4] запропоновано динамічно зрівноважити привідний механізм роликів формувальної установки шляхом встановлення рекуперативного приводу. Методику динамічного розрахунку машин з пружними та пружно-дисипативними ланками наведені в роботі [5].

Мета роботи. Підвищення ефективності роботи мобільного кормоприготувального агрегату за рахунок виявлення та зрівноваження динамічних навантажень в елементах його конструкції.

Результати досліджень

Для визначення динамічних навантажень в елементах конструкції мобільного кормозмішувача побудовано тримасову динамічну модель з чотирма ступенями вільності (рис.2). Зазначимо, що характеристики приводу не враховано, вважаючи при цьому, що вал гвинтового змішувача має постійну кутову швидкість. враховуються пружні властивості підвіски і шин, а інші ланки кормоприготувального агрегату вважаються абсолютно твердими тілами.

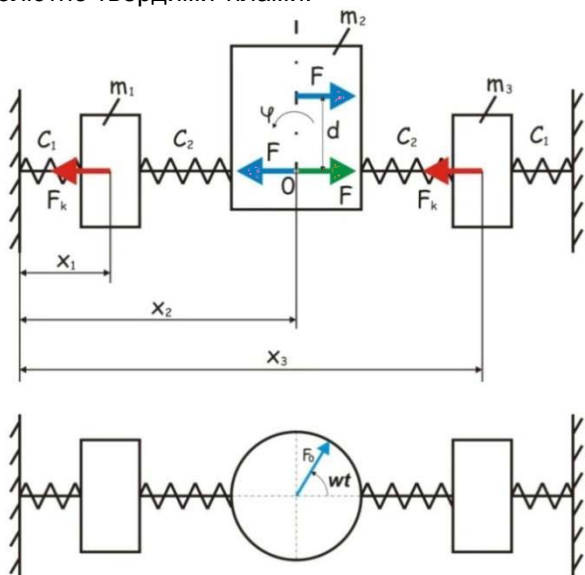


Рис.2. Динамічна модель мобільного змішувача-роздавача

В моделі прийняті такі позначення: φ – кутова координата повороту змішувача; C_1 – поперечна жорсткість шин, які взаємодіють з поверхнею дороги; C_2 – жорсткість підвіски в поперечно-

$$\Pi = \frac{1}{2} C_1 x_1^2 + \frac{1}{2} C_2 (x_2 - x_1)^2 + \frac{1}{2} C_k \varphi^2 + \frac{1}{2} C_2 (x_3 - x_2)^2 + \frac{1}{2} C_1 x_3^2, \quad (3)$$

де C_k – кутова крутна жорсткість, яка, в свою чергу, визначається за відомою формулою:

$$C_k = \frac{M}{\Delta\varphi} \quad (4)$$

де M – момент, який викликає кутову деформацію вала змішувача $\Delta\varphi$.

Узагальнені сили, які відповідають узагаль-

му напрямку; $m_1 = m_3$ – маси коліс; m_2 – маса змішувача; F_0 – відцентрова сила від неврівноваженої маси кормової суміші, що змішується; F – проекція відцентрової сили від неврівноваженої маси вантажу на поперечну вісь; F_k – сила тертя між колесом і поверхнею дороги; x_1, x_2, x_3 – лінійні координати центрів мас коліс з підвісками та змішувача в поперечному напрямку, які разом з кутовою координатою φ приймають за узагальнені координати; d – відстань до центра мас змішувача від осі коліс у вертикальному напрямку.

Для побудови математичної моделі динаміки руху змішувача використано рівняння Лагранжа II роду

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1} - \frac{\partial T}{\partial x_1} = Q_{x_1} - \frac{\partial \Pi}{\partial x_1}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}_2} - \frac{\partial T}{\partial x_2} = Q_{x_2} - \frac{\partial \Pi}{\partial x_2}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}_3} - \frac{\partial T}{\partial x_3} = Q_{x_3} - \frac{\partial \Pi}{\partial x_3}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_{\varphi} - \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi}, \end{cases} \quad (1)$$

де T – кінетична енергія системи; Π – потенціальна енергія системи; x_1, x_2, x_3 – поперечні лінійні координати центрів мас відповідно першої, другої та третьої мас; $Q_{x_1}, Q_{x_2}, Q_{x_3}, Q_{\varphi}$ – узагальнені сили, які відповідають узагальненим координатам x_1, x_2, x_3, φ .

Зазначимо, що $\frac{\partial T}{\partial x_1} = \frac{\partial T}{\partial x_2} = \frac{\partial T}{\partial x_3} = \frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0$.

Кінетична енергія системи має вигляд:

$$T = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{x}_2^2 + \frac{1}{2} I_2 \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m_3 \dot{x}_3^2, \quad (2)$$

де I_2 – момент інерції ротора змішувача та суміші, що знаходиться в ньому відносно осі обертання.

Зазначимо, що $\frac{\partial T}{\partial x_1} = \frac{\partial T}{\partial x_2} = \frac{\partial T}{\partial x_3} = \frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0$,

оскільки кінетична енергія не залежить від узагальнених координат, а залежить лише від узагальнених швидкостей.

Потенціальна енергія системи представлена залежністю:

неним координатам x_1, x_2, x_3, φ визначаються залежностями:

$$\begin{aligned}
 Q_{x_1} &= -F_K = -\left(m_1 + \frac{m_2}{2}\right)g \cdot f \cdot \sin \dot{x}_1; \\
 Q_{x_2} &= F = F_0 \cos \omega t = m\omega^2 R \cos \omega t; \\
 Q_{x_3} &= -F_K = -\left(m_1 + \frac{m_2}{2}\right)g \cdot f \cdot \sin \dot{x}_3; \\
 Q_\varphi &= -Fd = -m\omega^2 Rd \cos \omega t,
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

де f – коефіцієнт тертя між колесами і поверхнею дороги; m – маса суміші.

Необхідно відмітити, що при $C_1 x_1 > F_k$ спостерігатиметься аварійна робота.

Підставивши вирази (2-5) в систему рівнянь (1), отримаємо диференціальні рівняння руху змішувача:

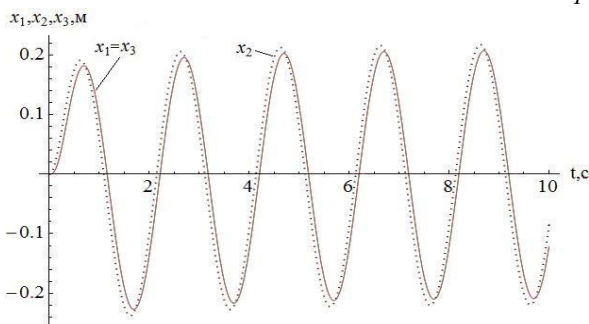
$$\begin{cases}
 m_1 \ddot{x}_1 = -\left(m_1 + \frac{m_2}{2}\right)g \cdot f \cdot \text{sign}(\dot{x}_1) - (C_1 + C_2)x_1 + C_2 x_2; \\
 m_2 \ddot{x}_2 = m\omega^2 R \cos \omega t - C_2(2x_2 - x_1 - x_3); \\
 m_3 \ddot{x}_3 = -\left(m_1 + \frac{m_2}{2}\right)g \cdot f \cdot \text{sign}(\dot{x}_3) - (C_1 + C_2)x_3 + C_2 x_2; \\
 I_2 \ddot{\varphi} = -m\omega^2 Rd \cos \omega t - C_k \varphi.
 \end{cases}
 \tag{6}$$

Отримані диференційні рівняння (4) є нелінійними диференціальними рівняннями II-го порядку тому їх аналітично не вдається проінтегрувати. Для їх розв'язку використовується чисельний метод який реалізовано за допомогою комп'ютерної програми Mathematica.

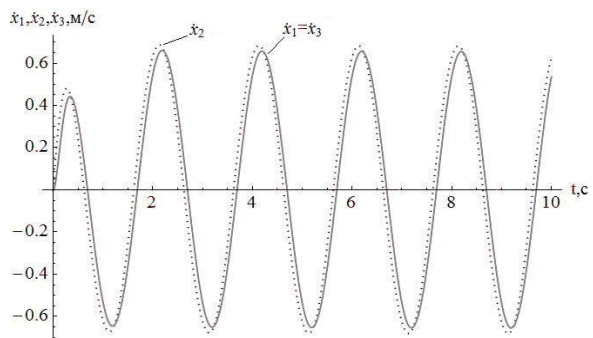
Закони зміни лінійного переміщення шин (x_1, x_3), центра мас змішувача (x_2), а також закон зміни кутової координати вертикальних відхилень змішувача, які показано на рис.2, були отримані для таких вихідних даних:

$$m = 4000 \text{ кг}; R = 0,6 \text{ м}; d = 1 \text{ м}; m_1 = m_3 = 26 \text{ кг}; m_2 = 7500 \text{ кг}; \omega = 3,14 \text{ рад/с};$$

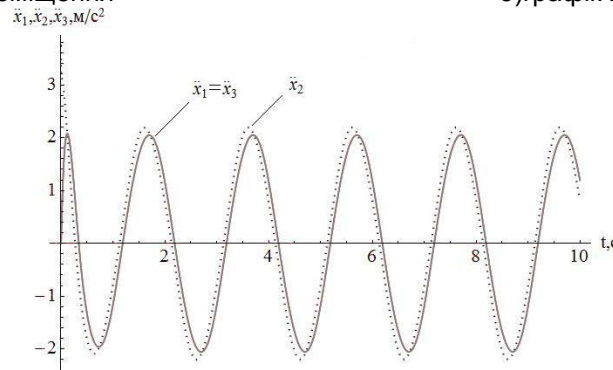
$$C_1 = 6000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}; C_2 = 248000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}; C_K = 271989 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; f = 0,5; I_2 = 720 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$



а) графік переміщення



б) графік швидкості



в) графік прискорення

Рис. 3. Результати дослідження динаміки роботи мобільного змішувача

З аналізу отриманих графіків видно, що виникає коливальний процес зі зміною лінійних переміщень, швидкостей і прискорень центрів мас елементів змішувача, що може призвести до втрати його рівноваги.

Закон зміни лінійного переміщення шин в поперечному напрямку (x_1, x_3) однаковий, тому криві накладаються одна на одну. Максимальне переміщення складає 0,18 м. Сам бункер змішу-

вача, а саме його центр мас (x_2), відхиляється на 0,19 м (рис.3, а).

Розмах зміни лінійної швидкостей центрів мас коліс і змішувача в поперечному напрямі знаходиться в межах 1,2 м/с (рис.3, б).

Графіки зміни прискорень центрів мас коліс і змішувача теж мають коливальний характер. Значення прискорень коливається в межах від -2 м/с^2 до 2 м/с^2 (рис.3, в).

На рис. 4 показано згинні коливання ротора змішувача від дії незрівноваженої маси суміші під час роботи.

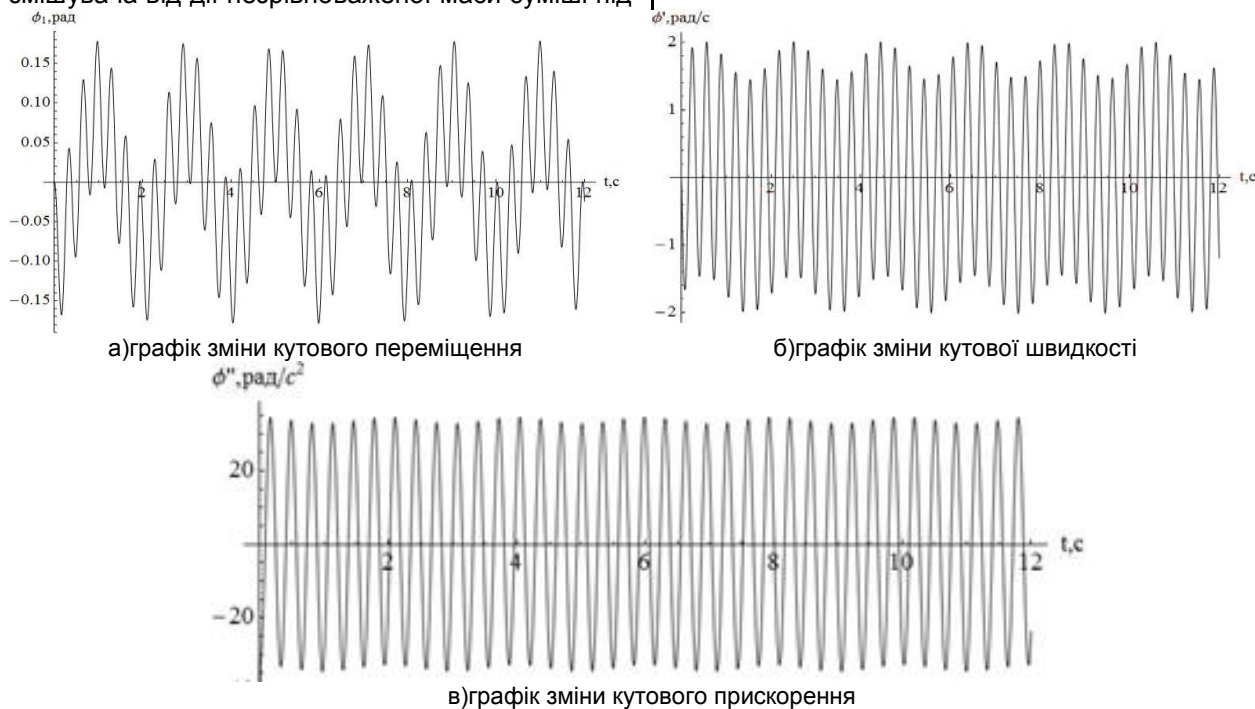


Рис. 4. Результати дослідження динаміки роботи мобільного змішувача

Як видно з рис. 4, а, максимальний кут відхилення бункеру складає 0,17 рад. Швидкість згинних коливань не перевищує ± 2 рад/с (рис.4, б). Графік зміни кутового прискорення на початку має ривок, потім виходить на усталений рух з постійним характером зміни коливань в межах ± 30 рад/с².

Висновки

Розроблено динамічну і математичну моделі мобільного змішувача. Побудовано графіки, які показують динаміку його роботи, характер зміни навантажень.

Аналіз графіків показує, що під час руху мобільного змішувача відбуваються коливання як шин, так і самого змішувача, що може призвести до втрати рівноваги агрегату. Для уникнення такого явища пропонується зменшити незрівноваженість ротора змішувача-роздавача. Для цього запропоновано удосконалити шнековий робочий орган, який виготовляється двозахідним зі зміщенням фаз гвинтів на кут $\pi/2$, а його довжина повинна становити не більше $D/2$, де D – діаметр змішувача.

Список використаної літератури:

1. Ревенко І.І., Хмельовський В.С., Бєлік Д.Ю. Шляхи удосконалення агрегатів для приготування і роздавання кормів рогатій худобі. - Вісник Харківського національного технічного університету сіль. госп-ва ім. П.Василенка // Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві. – Харків, 2010. – Вип. 95. – С. 250-258.
2. Ревенко І.І., Лісовенко Т.О., Хмельовський В.С. Мобільні кормороздавачі в сучасних умовах. - Науковий вісник НУБіП України. – К., 2009. – Вип. 134. – Ч. 2. – С. 185-192.
3. Пат. 62767 Україна А01К 5/02 (2006.01) Комбінований агрегат для приготування і роздавання кормів з робочим органом двозахідної гвинтової навівки / Ревенко І.І., Хмельовський В.С., Пилипка С.Ф., НУБіП України // Промислова власність. - 2011, бюл. № 17. – С. 3.
4. Ловейкін В.С., Почка К.І. Динамічне зрівноваження привідного механізму роликів формувальної установки. - Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Київський національний університет будівництва і архітектури. – К., 2015. - Вип. 49. – С. 61-72.
5. Ловейкін В.С. Динаміка машин / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич. – К.: ЧП "Компринт", 2013.- 227 с.

Ловейкин В.С., Хмелевский В.С., Гудова А.В. Повышение надежности работы мобильных смесителей-роздатчиков кормов

Приведенные результаты исследований, которые позволяют повысить эффективность работы мобильного кормоприготовительного агрегата в процессе кормления животных. Агрегат обеспечивает одновременное измельчение и смешивание компонентов с последующей дозированной

ной их раздачей. Стаття посвящена виявленню і урівноваживанню динамічних нагрузок, котрі виникають в елементах конструкції агрегата в процесі приготування і раздачі кормів.

Ключевые слова: кормовые компоненты, смеси, кормоприготовительных агрегат, смешивания, ди-динамических нагрузки, шины.

Loveykin V.S., Hmelovskyy V.S., Hudova A.V. Improve the reliability of operation of the mobile mixer-distributor feed

The results of the research that will improve the efficiency of the mobile unit for feeding in the animal feed. The unit provides simultaneous grinding and mixing the components followed dosed to the distribution. The article is devoted to finding and balancing the dynamic loads that occur in the elements of design unit in the preparation and distribution of feed.

Ключові слова: кормові компоненти, сумішки, кормоприготувальний агрегат, змішування, ди-намічні навантаження, шини.

Стаття надійшла в редакцію: 06.10.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Подригало М.А.

УДК 621.928.028.2-027.45

ОБҐРУНТУВАННЯ НОВОЇ ФОРМИ ОТВОРІВ СЕПАРУЮЧИХ РЕШІТ

А. І. Бойко, д.т.н., професор,

З. А. Морозовська, асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

У статті аналізуються особливості зношування решіт з отворами тороїдальної форми, близької до форми природного зношування. Дана кількісна оцінка в підвищенні довговічності нових решіт в порівнянні із серійними, а також при застосуванні реверсного перевероту їх на менш зношену сторону.

Ключові слова: сепаруюче решето, зношування, тороїдальна форма отвору.

Постановка проблеми. Процес зношування отворів серійних решіт носить нерівномірний характер з поступовим зменшенням швидкості переміщення профілів. При цьому швидкість зношування елементарної ділянки профілю, як показник зміни його форми змінюється по лінійному закону. Така ж лінійна закономірність зберігається для всього отвору протягом наробітку до відмови, як накопичувальний безперервний процес зношування решіт. Із збільшенням наробітку швидкість зношування поступово зменшується, а отвір набуває тороїдальної форми. Просіюючі властивості таких отворів не втрачають своїх функціональних можливостей оскільки їх прохідний діаметр до досягнення граничного зношування не змінюється. Таким чином в процесі експлуатації просіюючий отвір отримує нову форму для якої характерна менша швидкість зношування без втрати основної функції розділення зернової суміші на фракції.

Аналіз основних досліджень. Основним недоліком дробарок є те, що під час подрібнення продукту відбувається інтенсивний процес зношування деталей робочих органів, що контактують із зерновим матеріалом. У напрямку підвищення надійності і терміну експлуатації молотків виконано безліч робіт. У цьому напрямку відомі дослідження Бойка А.І., Пилипенка А.Н., Тимоновського А.В., Сидашенка А.И., Моєєєва А.А.

та інших авторів. В той же час зносу і втрати працездатності решіт, як основних сепаруючих робочих органів, приділено недостатньо уваги.

Формулювання цілей статті. Проаналізувати особливості зношування решіт з отворами тороїдальної форми, близької до форми природного зношування. Дати кількісну оцінку в підвищенні довговічності нових решіт в порівнянні із серійними, а також при застосуванні реверсного перевероту їх на менш зношену сторону.

Результати досліджень. Представлений аналіз і проведені попередні дослідження спрямовують подальший пошук форми отворів в напрямку знаходження їх такою яка б була близька до форми природного зношування.

Вивчення особливостей зношування отворів вказує на доцільність надання їм початкової конструктивної геометрії близької до форми природного зношування. Очевидно такою формою може бути та, що утворюється при завершенні експлуатації звичайного серійного решета коли отвір, що зношується досягає граничного значення, а швидкість переміщення профілю прямує до мінімального свого значення V_{\min} .

Схематичне зображення такого конструктивного рішення форми просіюючого отвору представлено на рис. 1.