

**Доповідь по МКР
«РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СУШАРКИ
ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВОЛОГИХ ДИСПЕРСНИХ
ВІДХОДІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ»**

Виконав: ст. гр. 1ГМ-17м Лютий Б.В.

**Керівник МКР: д.т.н., професор
Севостьянов І.В.**

Актуальність проблеми

Процеси сушіння вологих дисперсних матеріалів є досить розповсюдженими в різних областях промисловості і сільського господарства. Зокрема, для вітчизняних підприємств харчової промисловості актуальною задачею є зневоднювання таких відходів як спиртова барда, пивна дробина, буряковий жом, кавовий та ячмінний шлам, що також відносяться до вологих дисперсних матеріалів і після зневоднювання можуть використовуватися як цінні живильні добавки до сільськогосподарських кормів або як паливо [1]. Пропонований у роботі [2] спосіб віброударного зневоднювання відходів харчових виробництв забезпечує їхню кінцеву вологість у межах 20 - 25%, що дозволяє відразу використовувати ці відходи як добавку до кормів, але не забезпечує можливості їхнього тривалого збереження. У випадку ж виникнення потреби в перевезенні відходів на значні відстані або в збереженні на складах, їхня вологість не повинна перевищувати 8%, що змушує здійснювати додаткове сушіння відходів. У зв'язку з цим, виникає потреба в аналізі відомих установок для сушіння вологих дисперсних матеріалів і виборі найбільш придатної з них для рішення описаної вище задачі. В іншому випадку, при відсутності досить ефективного устаткування, необхідно розробити спеціальну сушарку для переробки відходів харчових виробництв.

Мета та задачі дослідження

Метою МКР є розробка та дослідження високоефективної сушарки для перероблення вологих дисперсних відходів харчових виробництв, що забезпечує створення у середовищі відходів псевдо зрідженого та віброкиплячого шару з використанням мінімальних енерговитрат та часу.

Для досягнення вказаної мети потрібно розв'язати такі **основні задачі**:

- провести аналіз стану відомих схем обладнання для сушіння вологих дисперсних матеріалів, з визначенням його переваг та недоліків;
- на підставі даних проведеного аналізу розробити схему удосконаленої сушарки для високоефективного перероблення вологих дисперсних відходів харчових виробництв у псевдозрідженому та віброкиплячому шарі;
- виконати технічно-економічне обґрунтування більш високої ефективності пропонованої сушарки при переробленні вологих дисперсних відходів харчових виробництв у порівнянні із їх сушінням за допомогою відомого обладнання;
- одержати залежності, що зв'язують робочі параметри процесів сушіння вологих дисперсних відходів харчових виробництв, їх фізико-механічні характеристики, конструктивні параметри розробленої сушарки та параметри ефективності робочого процесу (його продуктивність та енергоємність);
- виконати розрахунок техніко-економічного ефекту від впровадження пропонованої сушарки для перероблення вологих дисперсних відходів харчових виробництв;
- розробити системи заземлення, занулення та вентиляції пропонованої сушарки.

Об'єкт і предмет дослідження, наукова новизна та практичне значення МКР

Об'єкт дослідження – процеси сушіння вологих дисперсних відходів харчових виробництв у псевдозрідженому та віброкиплячому шарі.

Предмет дослідження – основи методики проектування процесів сушіння вологих дисперсних відходів харчових виробництв та сушарки для здійснення даних процесів.

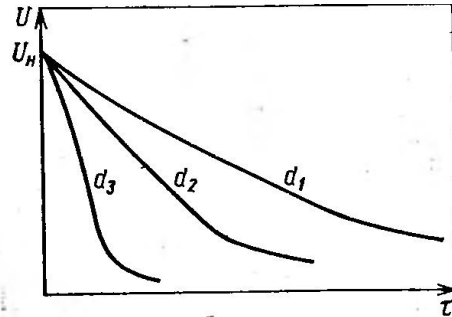
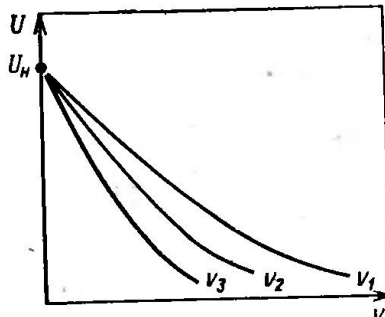
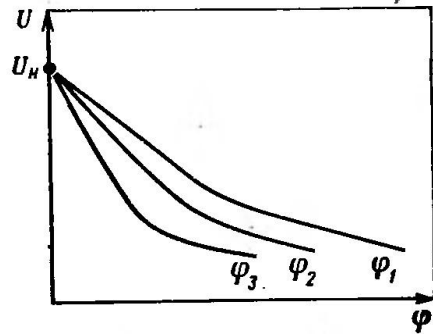
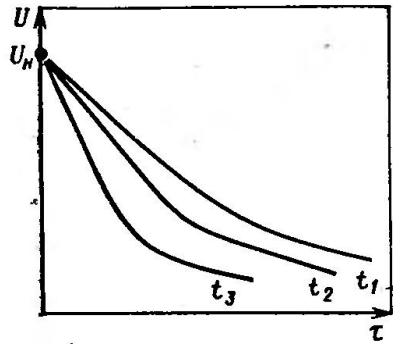
Наукова новизна МКР полягає у розробленні основ теорії проектування процесів сушіння вологих дисперсних відходів харчових виробництв у псевдозрідженому та віброкиплячому шарі та сушарки для здійснення даних процесів.

Практичне значення МКР полягає у технічно-економічному обґрунтуванні більш високої ефективності сушіння вологих дисперсних відходів харчових виробництв у псевдозрідженому та віброкиплячому шарі на пропонованій сушарці у порівнянні із їх сушінням за допомогою відомого обладнання, виконанні розрахунку техніко-економічного ефекту від впровадження пропонованої сушарки на виробництві, у розробленні систем заземлення, занулення та вентиляції сушарки.

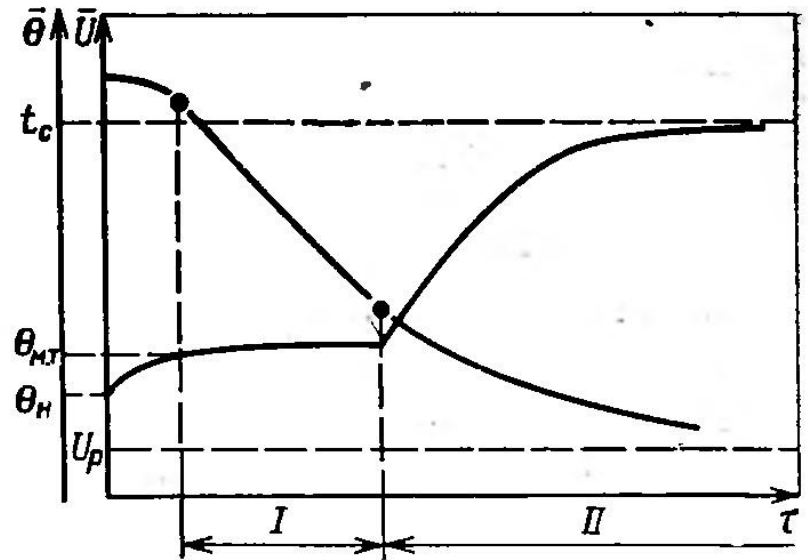
Основні залежності процесів сушіння

$$U = \frac{W}{G}, \quad w = \frac{W}{W + G}, \quad w = \frac{U}{1 + U}, \quad U = U(x, y, z, t), \quad T = T(x, y, z, t), \quad K = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$P_{\text{вун}} - p_0 = p_0 \left[\exp\left(\frac{M \cdot \sigma \cdot K}{\rho_p R \cdot T} - 1\right) \right], \quad \alpha \cdot \pi \cdot d^2 f(t - \Theta) = N \frac{\pi \cdot d^3}{6} \rho_m r_n, \quad N = \frac{6 \cdot \alpha \cdot f(t - \Theta)}{\rho_m d \cdot r_n}$$



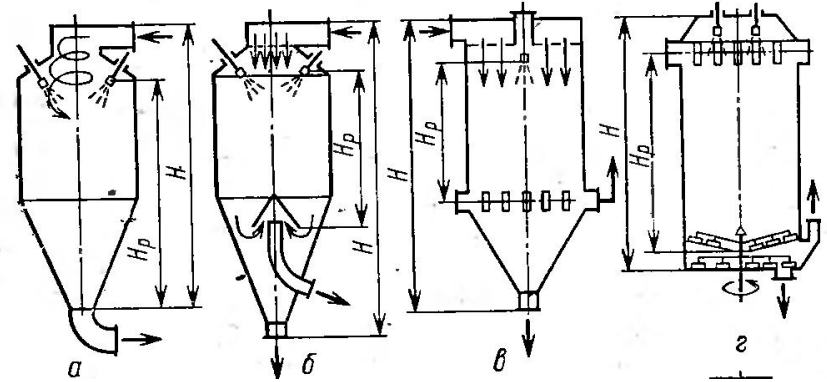
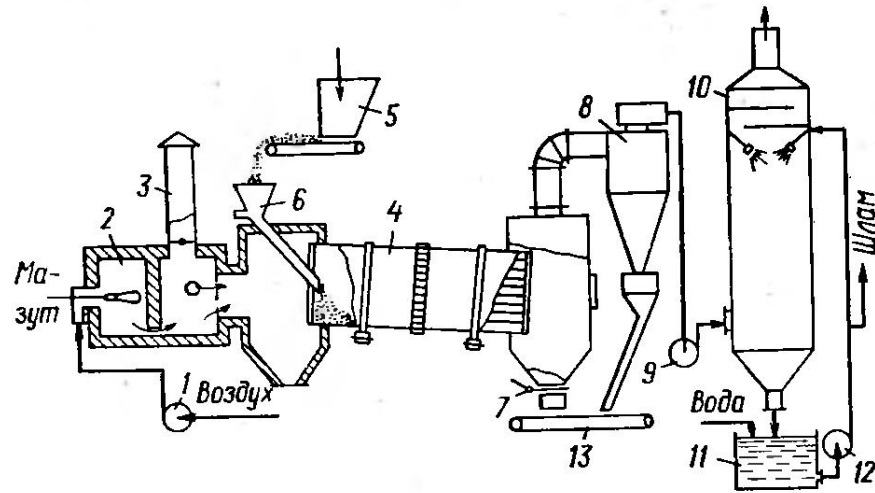
$$j_n = \frac{1}{R_p} \Delta p, \quad j_p = \frac{1}{R_u} \Delta U, \quad j_T = \frac{1}{R_T} \Delta T,$$



Криві кінетики сушки та нагріву вологого дисперсного матеріалу

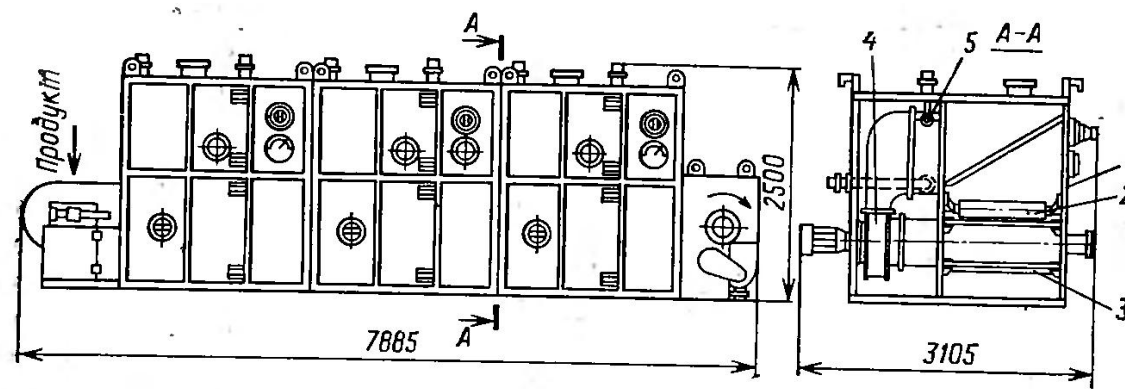
Залежності кінетичної кривої сушки $U(t)$: а – від температури теплоносія $t_1 < t_2 < t_3$; б - від відносної вологості теплоносія $\varphi_1 > \varphi_2 > \varphi_3$; в – від швидкості теплоносія відносно частинок матеріалу $v_3 > v_2 > v_1$; г – від діаметру частинок оброблюваного матеріалу $d_1 > d_2 > d_3$

Відоме обладнання для сушіння вологих дисперсних матеріалів

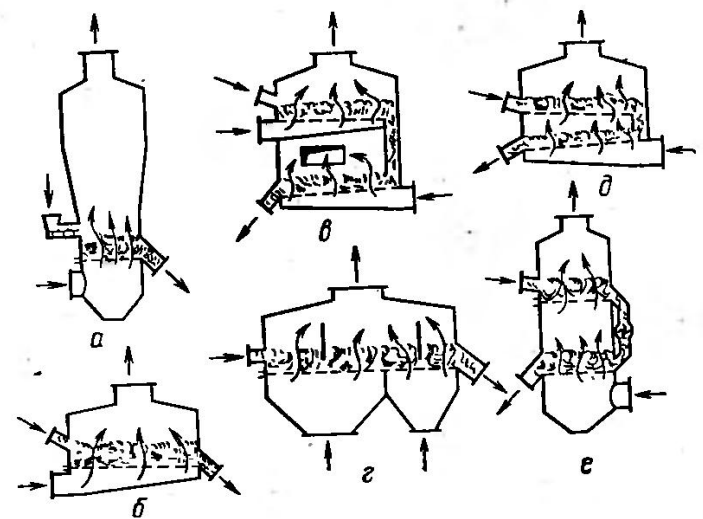


Типи розпилювальних сушильних камер

Установка з барабанною сушаркою

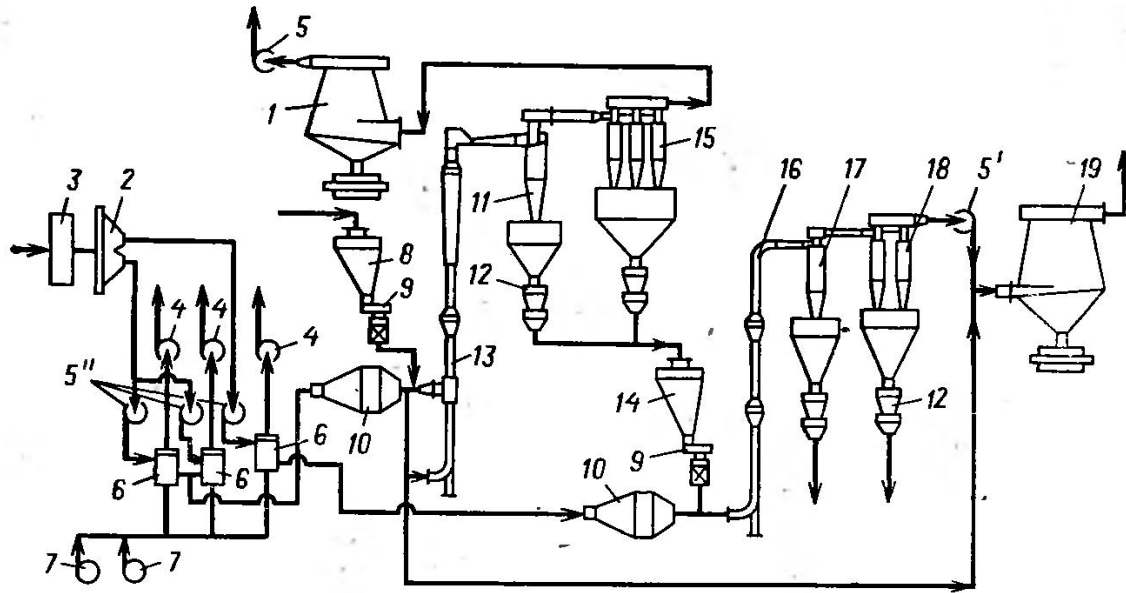


Однострічкова сушарка типу СЛ-1200-3

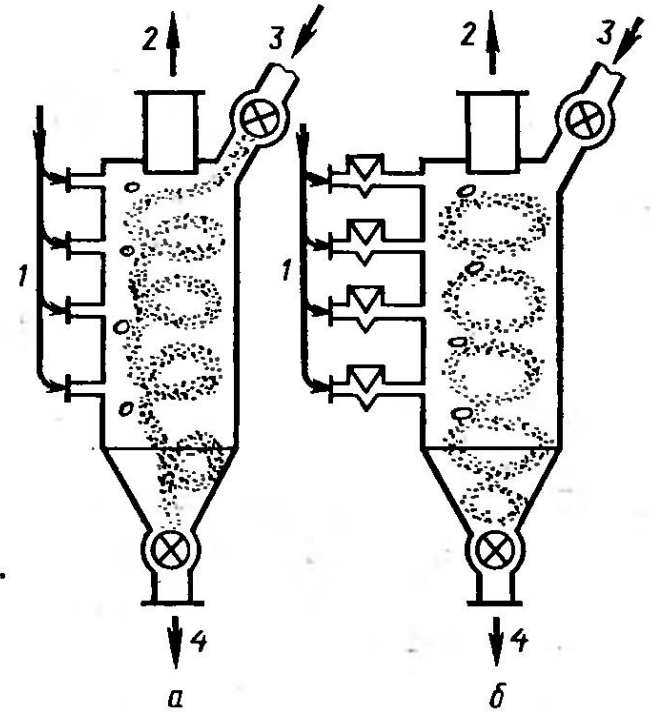


Типи сушарок із псевдозрідженим шаром

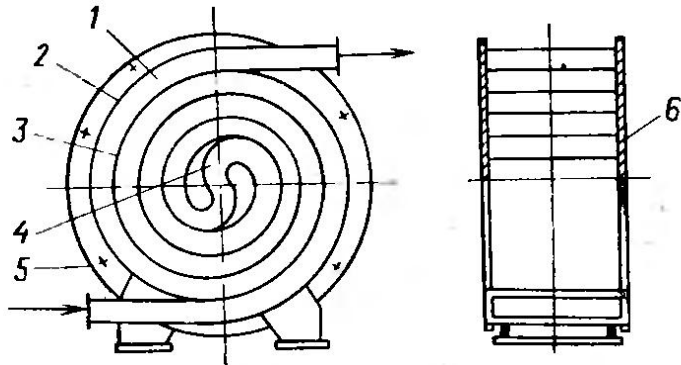
Відоме обладнання для сушіння вологих дисперсних матеріалів



Сушильна установка з двоступінчастою трубо-сушаркою ТС-2-600



Циклонні сушарки з регульованим часом перебування матеріалу

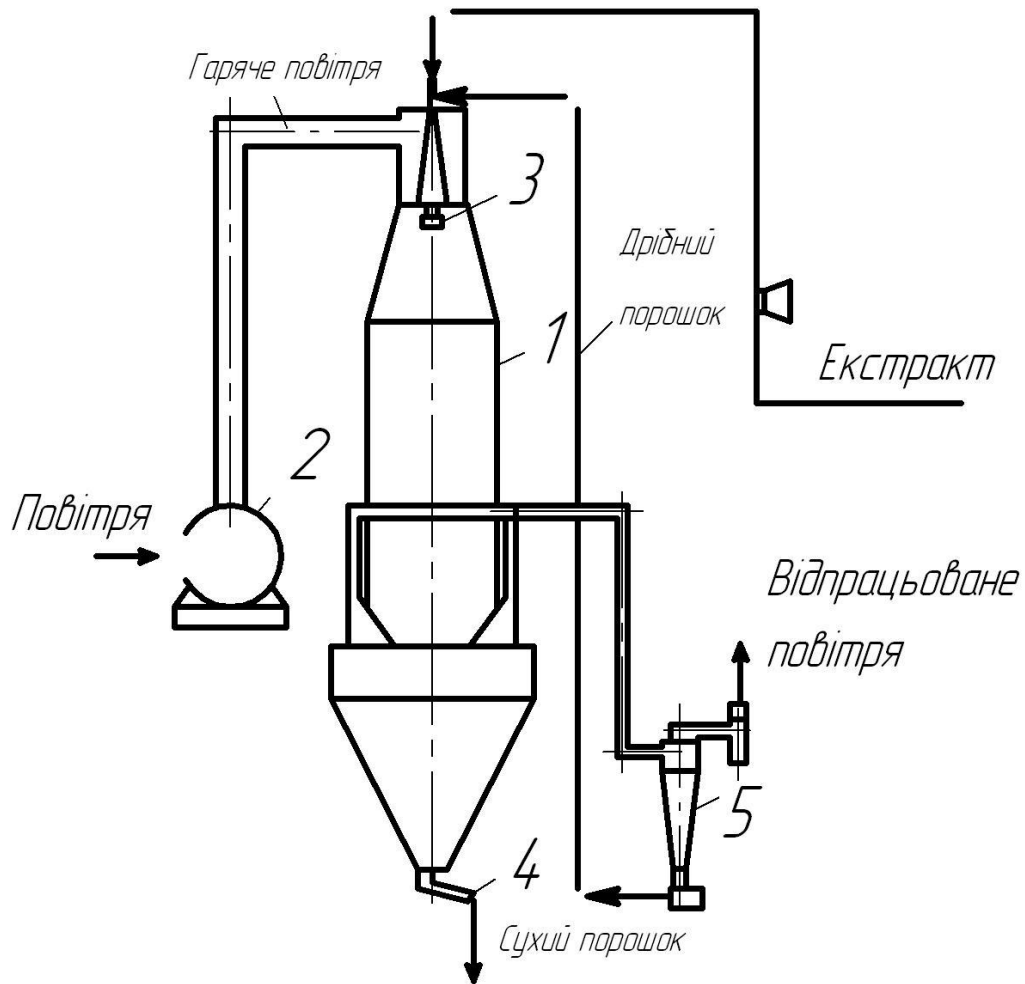


Сушарка зі спіральним каналом у виді плоскої подвійної спіралі

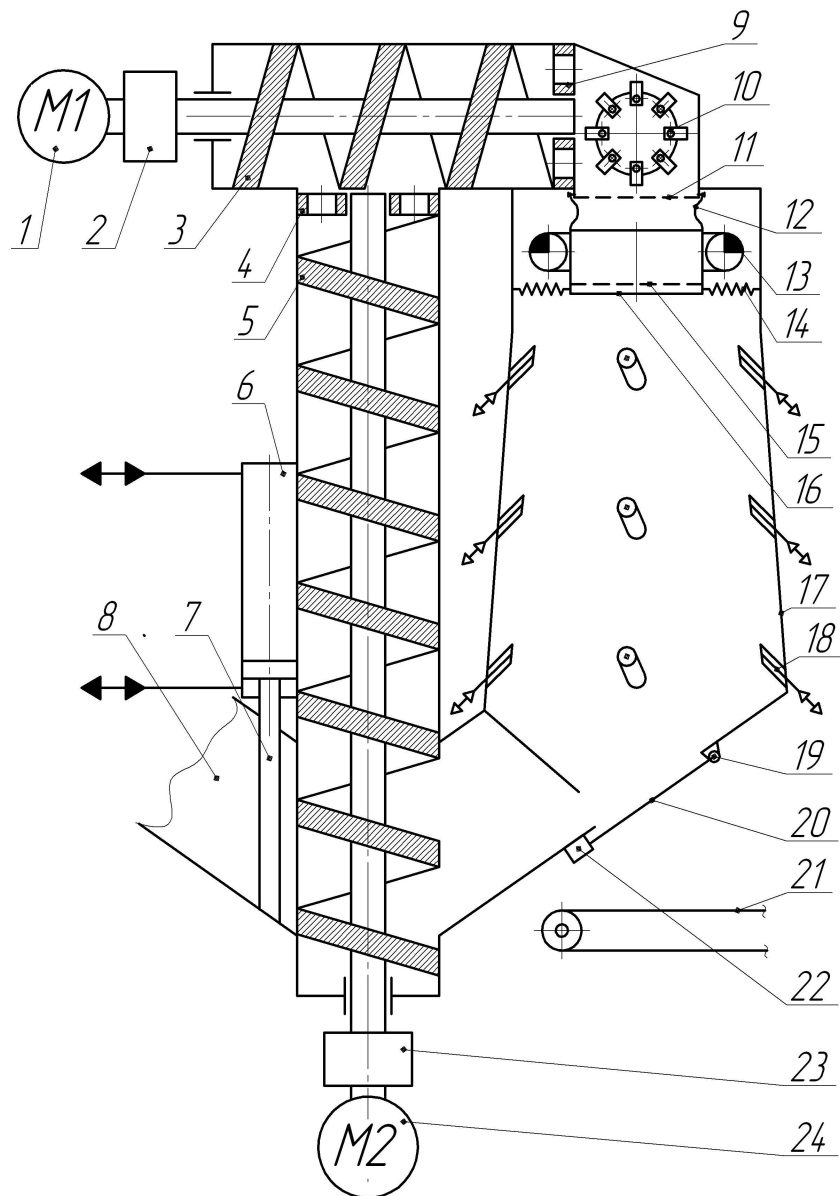
Пропонована сушарка та її аналог

Розпилювальна сушильна установка "Ніро

Атомайзер"



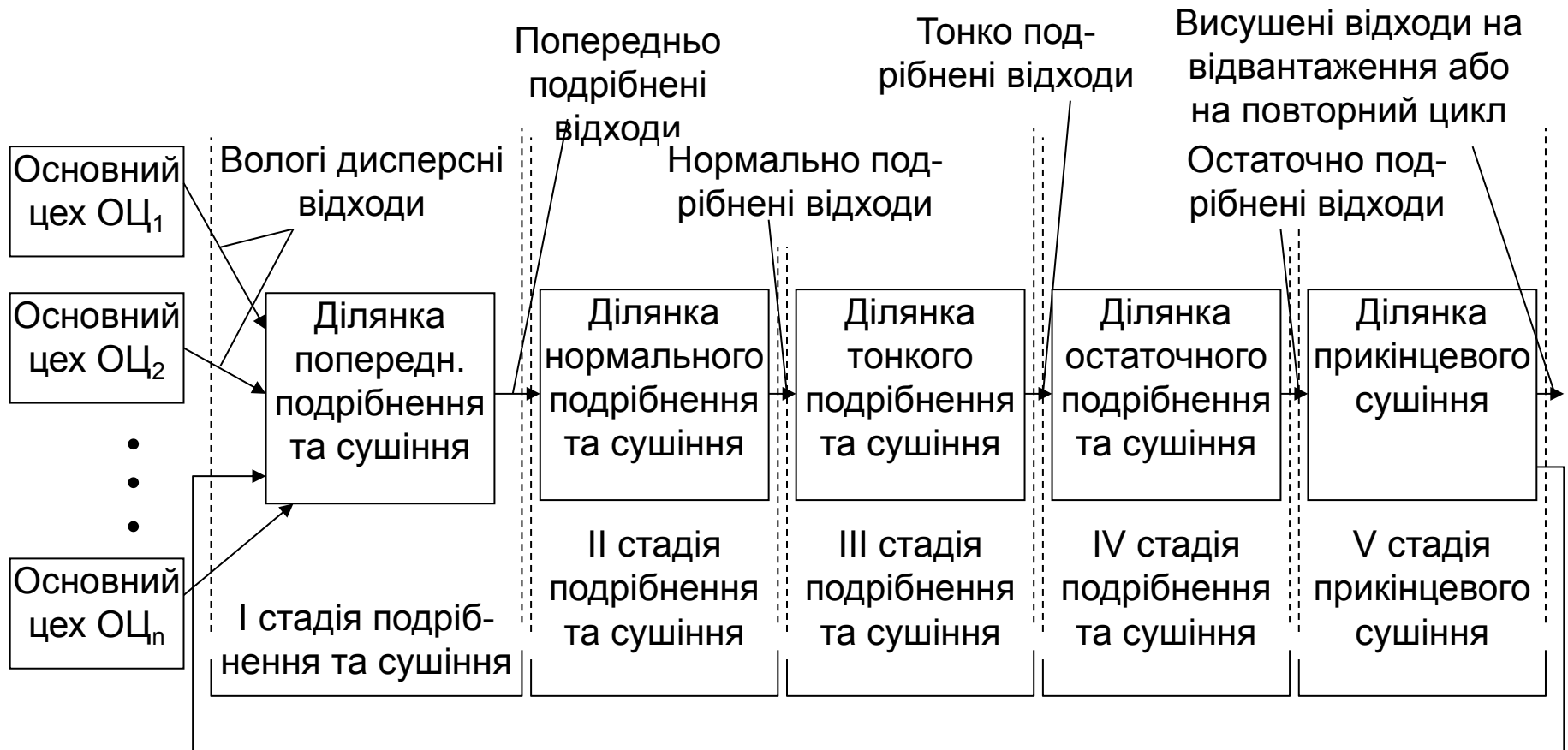
Нова технічна розробка



Основні техніко-економічні показники аналога і технічної розробки

№	Показники	Одиниця виміру	Аналога	Нова розробка	Відношення параметрів
1	Ціна	грн.	400000	500000	0,67
2	Продуктивність за випареною рідиною	т/год	0,28	1,2	4,29
3	Кінцева вологість відходів, що забезпечується	%	3	8	0,375
4	Питомі витрати на сушіння	грн/т	508,4	71,2	7,14
5	Установлена потужність електродвигунів	кВт	18	39	0,46
6	Витрати газу	м ³ /год	73	0	-

Технологічна схема сушарки для перероблення вологих дисперсних відходів харчових виробництв



Основні вимоги до розроблюваної удосконаленої сушарки для перероблення вологих дисперсних відходів

- 1) Збільшення кількості стадій подрібнення та розпушення твердих частинок вологих дисперсних відходів, що підлягають сушінню до 4. У подальшому, в ході реалізації основного процесу це сприятиме створенню передумов для віброзрідження та віброкипіння відходів у сушильній камері, що є найбільш ефективним для їх продуктивного та найменш енергоємного сушіння до заданої кінцевої вологості 8%.
- 2) На стадіях подрібнення відходів потрібно використовувати спочатку статичні методи, реалізовані за допомогою шнекових подрібнювачів – досить простого за конструкцією та надійного у використанні обладнання, яке при порівняно невеликих енергетичних витратах і з високою продуктивністю забезпечить попереднє грубе подрібнення відходів.
- 3) Далі для більш ретельного подрібнення доцільно використовувати молоткову дробарку, також відоме перевірене на практиці обладнання, що забезпечує досить високий ступінь подрібнення як сухих так і вологих дисперсних матеріалів за рахунок статичних (незмінних в часі впливів).
- 4) На завершальній стадії подрібнення потрібно використовувати вібраційне обладнання, що забезпечує коливання виконавчого елемента з частотою до 60 Гц та з амплітудою до 4 мм.
- 5) Основний процес сушіння повинен відбуватись з продуктивністю за переробленими відходами не менше, ніж 100 т/добу, при енергоємності до 500 кВт·год/т. Для забезпечення останнього досить низького показника слід максимально використовувати тепло з основного виробництва підприємства (тепло від нагрівання котлів, ректифікаційних колон, екстракторів, сатураторів, теплообмінників).

Основні вимоги до розроблюваної удосконаленої сушарки для перероблення вологих дисперсних відходів

- 6) Це тепло доцільно підводити до сушильної камери за допомогою металевих трубок і подавати у вигляді теплого повітря через сопла на порції відходів у камері. При цьому частинки відходів розмірами від 0,3 до 5 мм з початковою вологістю 25% повинні висушуватись до вологості 8%.
- 7) Оснащення сушарками датчиками контролю тиску на виконавчих елементах для подрібнення відходів для запобігання їх повного забивання та перевантаження (останнє може призвести до виходу з ладу елементів привода сушарки). В моменти виходу фактичного навантаження на виконавчих елементів за допустимі межі за допомогою датчиків повинні подаватись команди на зупинку приводів сушарки, а також вмикати відповідні світлові та звукові сигнали.
- 8) Забезпечення простоти та зручності обслуговування, налагодження та ремонту сушарки. Зокрема, передбачення можливості легкого та зручного знімання та чищення виконавчих елементів, а також інших деталей сушарки, змащення вузлів привода, поповнення та заміни робочої рідини в гідросистемі, регулювання вузлів та робочих параметрів обладнання (швидкості обертання шнеків та ротора дробарки, частоти та амплітуди коливань вібраційного пристрою, швидкості та тиску повітря, що підігрівається та використовується для сушіння).
- 9) Забезпечення роботи основних та допоміжних пристроїв сушарки за допомогою електромеханічних та гідромеханічних приводів.
- 8) Реалізація всіх основних та допоміжних функцій при роботі сушарки без участі робітника (який здійснює тільки запуск установки в роботу, загальний контроль за її роботою та за потребою оперативне керування або зупинку в аварійних ситуаціях). Також робітники можуть залучатись до виконання планових операцій з технічного обслуговування установки.

Залежності для визначення основних робочих параметрів пропонованої сушарки

$$t_n = \frac{1}{2}T = \frac{1}{2 \cdot v} \cdot a_c = \frac{2 \cdot A}{t_n^2} \cdot T_\Sigma = T_{\epsilon.n} + T_{z.n} + T_\delta + T_\epsilon + T_n + T_c, \quad T_{\epsilon.n} = \frac{L_{\epsilon.n}}{n_{\epsilon.n} \cdot t_{\epsilon.n}};$$

$$T_{z.n} = \frac{L_{z.n}}{n_{z.n} \cdot t_{z.n}}; \quad T_\delta = \frac{L_{c.\delta}}{4 \cdot v_{c.\delta}} = \frac{3 \cdot \pi \cdot d_{c.\delta}}{4 \cdot \pi \cdot d_{c.\delta} \cdot n_\delta} = \frac{3}{4 \cdot n_\delta}, \quad T_\epsilon = \sqrt{\frac{2 \cdot h_\epsilon}{g}}, \quad \rho_\epsilon = \rho_m (1 - U_m) + \rho_{жс} U_m,$$

$$T_n = \sqrt{\frac{2 \cdot h_\kappa}{a_{u.n}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot h_\kappa}{(m_u g - P_c)/m_u}} = \sqrt{\frac{2 \cdot h_\kappa}{\left(g - p_c \frac{\pi \cdot d_u^2}{4 \cdot m_u}\right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot h_\kappa}{\left(g - \rho_n \frac{v_\epsilon^2}{2} \frac{\pi \cdot d_u^2}{4 \cdot m_u}\right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot h_\kappa}{\left(g - \rho_n \frac{3}{4} \frac{v_\epsilon^2}{d_u \rho_\epsilon}\right)}}$$

$$U_m = U_n - \frac{U_n - U_\kappa}{h_\epsilon} h \quad m_u a_{u.c} = m_u g \cdot \sin \alpha - m_u g \cdot f \cdot \cos \alpha, \quad a_{u.c} = g(\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha).$$

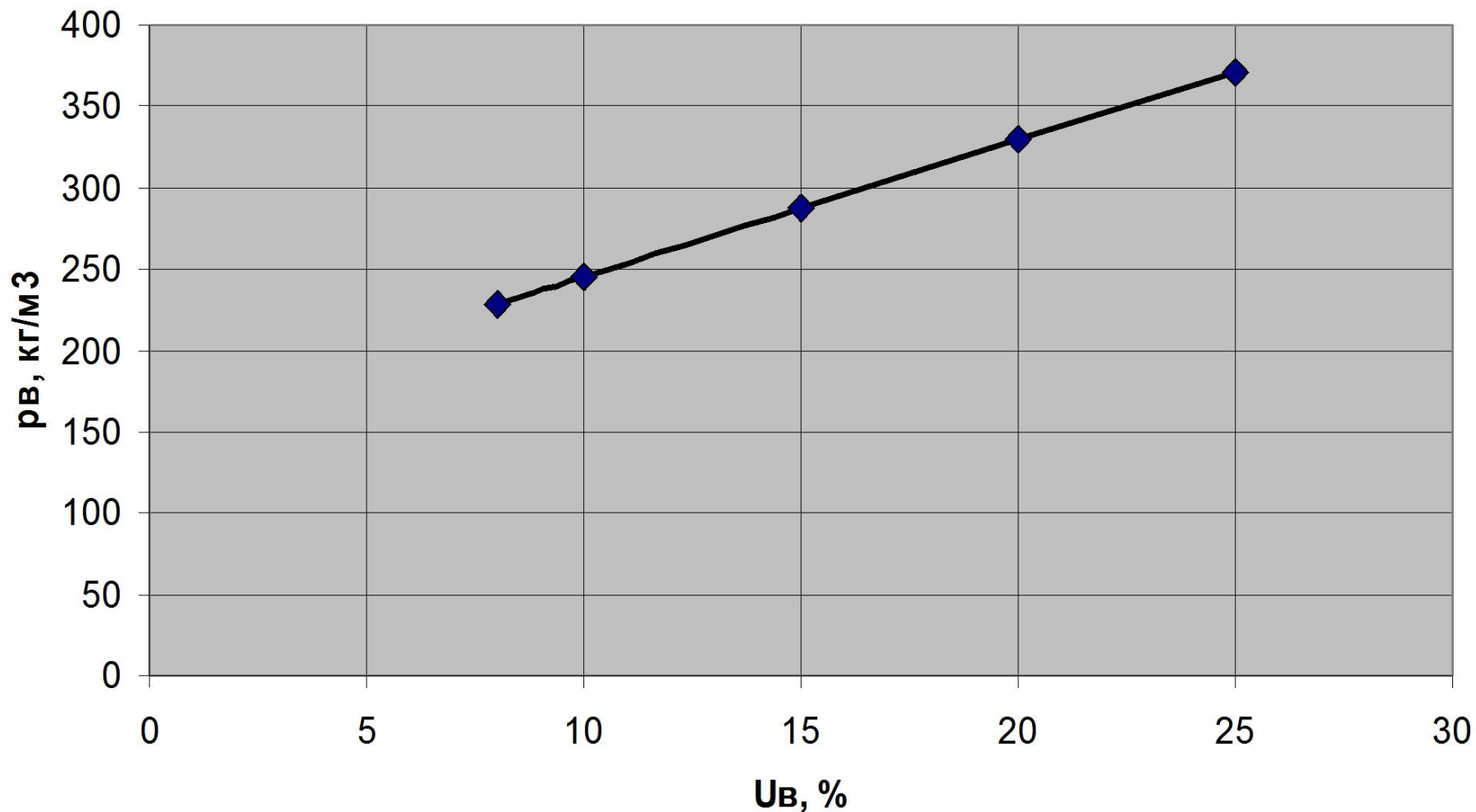
$$T_c = \sqrt{\frac{2 \left(\frac{l_\delta}{2} + \frac{l_\kappa}{2}\right)}{a_{u.c}}}. \quad T_c = \sqrt{\frac{l_\delta + l_\kappa}{g(\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha)}}. \quad Q_c = \frac{m_n}{T_\Sigma n_u}, \quad Q_{\epsilon.n} = 47 \cdot D_{\epsilon.n}^2 t_{\epsilon.n} n_{\epsilon.n} f \cdot \rho_o \cdot C,$$

$$m_n = Q_{\epsilon.n} T_\Sigma = 47 \cdot T_\Sigma D_{\epsilon.n}^2 t_{\epsilon.n} n_{\epsilon.n} f \cdot \rho_o \cdot C. \quad \frac{m_n}{T_\Sigma n_u} \geq \frac{0,2 \cdot M_{c.o}}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 432000 \cdot M_{c.o},$$

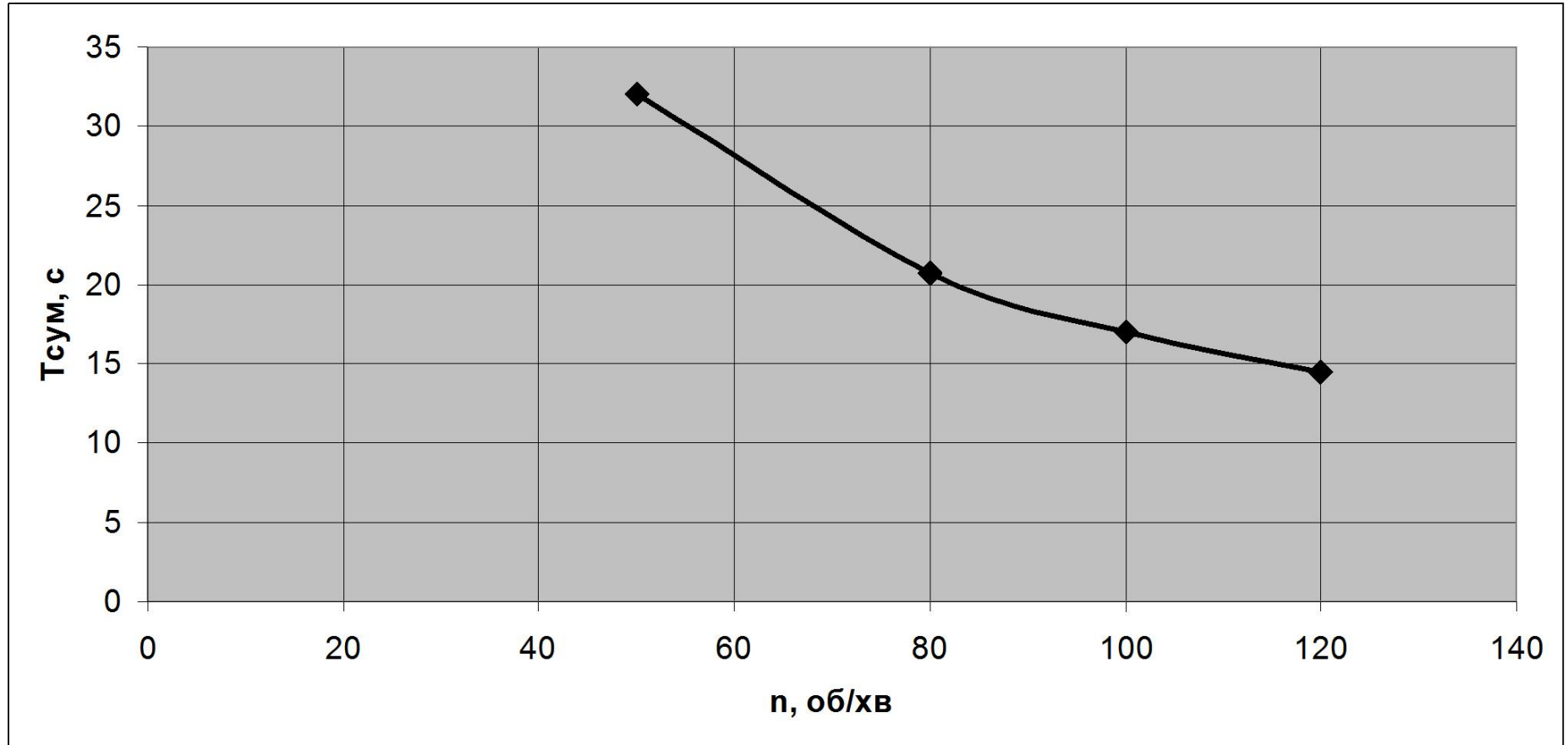
$$N_\Sigma = N_{\epsilon.n} + N_{z.n} + N_\delta + N_\epsilon + N_\kappa, \quad N_{\epsilon.n} = 0,006 \cdot Q_{\epsilon.n} L_{\epsilon.n}; \quad N_{z.n} = 0,006 \cdot Q_{\epsilon.n} L_{z.n}. \quad N_\kappa = K_3 \frac{Q_\epsilon p_\epsilon}{\eta_\kappa \eta_n}.$$

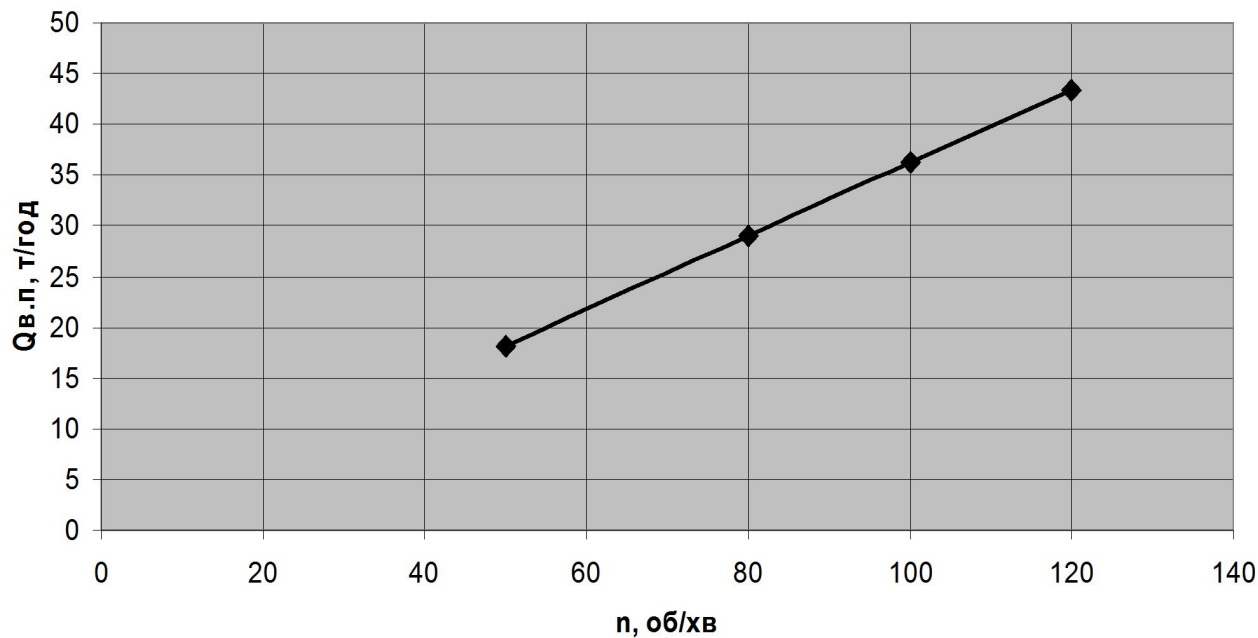
$$N_\delta = K_1 K_2 \rho_o D_p^2 L_p \omega_p, \quad \rho_m = \frac{m_{e.m} - m_e}{W_e}. \quad \rho_p = \frac{m_{e.p} - m_e}{W_e}. \quad \rho_{\epsilon 1} = \rho_m (1 - U_{\epsilon 1}) + \rho_p U_{\epsilon 1} v_\epsilon = \frac{Q_n}{2 \cdot S_\kappa} = \frac{2 \cdot Q_n}{\pi \cdot D_{cp}^2}.$$

Залежність густини ρ_v кавового шламу при збільшенні та зменшенні U_v



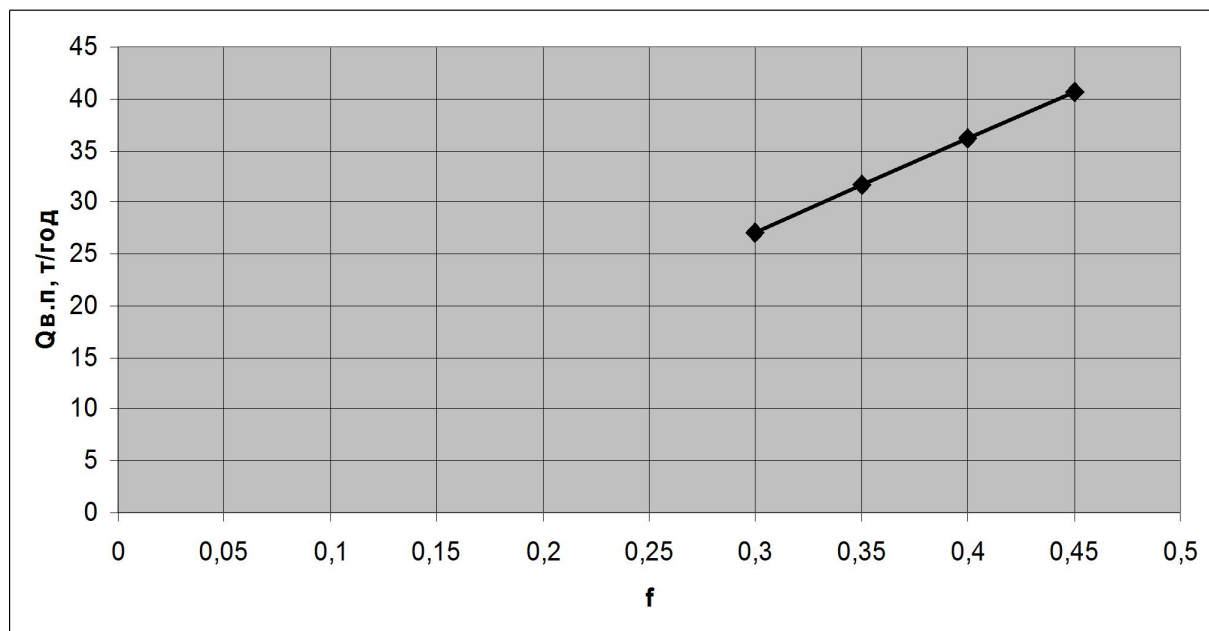
Залежність загальної тривалості T_{Σ} одного циклу проходження порції відходів через сушарку від частоти обертання n шнеків живильників





Зміна продуктивності $Q_{в.п.}$ проходження через сушарку перероблюваних відходів від частоти $n_{в.п.}$ обертання шнеків при коефіцієнті заповнення $f = 0,4$

Зміна продуктивності $Q_{в.п.}$ проходження через сушарку перероблюваних відходів від коефіцієнта заповнення f живильників, при частоті $n_{в.п.} = 100$ об/хв



Розрахунок показників ефективності пропонованої сушарки

$$N = \frac{6 \cdot \alpha \cdot f(t - \Theta)}{\rho_{\epsilon} d_{\psi} r_{\epsilon}}, \quad \alpha = \frac{4 \cdot Q}{(t - \Theta) \cdot \pi \cdot D_{cp}^2}, \quad Q = c_{v.n} m_n (t - \Theta),$$

$$m_n = Q_n \cdot \rho_n (T_{\epsilon} + T_n + T_c) = \frac{12,5}{60} 1,1 \cdot 1,98 = 0,45 \text{ кг}. \quad Q = 0,72 \cdot 0,45 \cdot (50 - 20) = 9,72 \text{ кДж}.$$

$$N = \frac{24 \cdot Q \cdot f}{\rho_{\epsilon} d_{\psi} r_{\epsilon} \pi \cdot D_{cp}^2} = \frac{24 \cdot 9,72 \cdot 50}{371,5 \cdot 0,001 \cdot 2258 \cdot 3,14 \cdot 0,8^2} = 6,9 \frac{\text{кг}}{\text{кг} \cdot \text{год}}$$

$$M_n = \frac{Q_{\epsilon.n3} T_{\Sigma}}{3600} = \frac{36196 \cdot 17,016}{3600} = 171 \text{ кг}. \quad m_{p\Sigma} = M_n \cdot (U_n - U_{\kappa}) = 171 \cdot (0,25 - 0,08) = 29,1 \text{ кг}.$$

$$T_{c.n} = \frac{m_{p\Sigma}}{N \cdot M_n} = \frac{29,1}{6,9 \cdot 171} = 0,0246 \text{ год}. \quad n_{\psi.c} = \frac{T_{c.n}}{T_{\Sigma}} = \frac{0,0246 \cdot 3600}{17,016} = 5,2 \text{ циклів}.$$

$$M_{\Sigma} = \frac{24}{T_{c.n}} M_n = \frac{24 \cdot 171}{0,0246} = 166832 \text{ кг} = 167 \text{ т}.$$

$$N_{\epsilon.n} = 0,006 \cdot Q_{\epsilon.n} L_{\epsilon.n} = 0,006 \cdot 36196 \cdot 5 = 1085,9 \text{ Вт} \approx 1,1 \text{ кВт}.$$

$$N_{z.n} = 0,006 \cdot Q_{\epsilon.n} L_{z.n} = 0,006 \cdot 36196 \cdot 2 = 434,4 \text{ Вт} \approx 0,43 \text{ кВт}.$$

$$N_{\Sigma} = N_{\epsilon.n} + N_{z.n} + N_{\delta} + N_{\epsilon} + N_{\kappa} = 1,1 + 0,43 + 7 + 0,5 + 30 = 39,03 \text{ кВт}.$$

$$E_{c.n} = \frac{24 \cdot N_{\Sigma}}{M_{\Sigma} (U_n - U_{\kappa})} = \frac{24 \cdot 39,03}{170 (0,25 - 0,08)} = 32,4 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}.$$

Висновки за МКР

1. Для ефективної утилізації відходів харчових виробництв, таких як спиртова барда, пивна дробина, буряковий жом, кавовий шлам необхідно здійснювати їхнє сушіння до вологості 8%, що дозволить використовувати відходи як цінні добавки до сільськогосподарських кормів або як паливо.
2. Відомі види обладнання придатного для сушіння вологих дисперсних матеріалів мають кожний свої недоліки, такі як: високі енергоємність або матеріалоємність, складність конструкції або експлуатації, що в основному обумовлені дещо іншою спеціалізацією даних сушарок.
3. Аналіз останніх показав, що найбільш ефективними є вібраційні сушарки, що при роботі створюють у середовищі оброблюваного матеріалу псевдозріджений або віброкиплячий шар, у якому видалення рідини відбувається найбільше інтенсивно.
4. У зв'язку з цим, у магістерській кваліфікаційній роботі пропонується сушарка, що спеціально призначена для зневоднення відходів харчових виробництв і забезпечує кілька стадій їхнього механічного подрібнення і розпушування, у тому числі під впливом складно просторових вібрацій, що сприяють інтенсивному і з мінімальними енерговитратами видаленню з відходів рідини. Остаточне сушіння відходів здійснюється за допомогою струменів гарячого повітря. При цьому в сушарці передбачена можливість багаторазового підсушування відходів, що дозволяє використовувати в якості теплоносія навіть прохолодне повітря основного виробництва, що підігрівається в трубках, улаштованих навколо казанів, баків і резервуарів з гарячою основною або вторинною продукцією. Усе це також дозволить істотно знизити витрати енергії на сушіння відходів.
5. Основні функціональні та експлуатаційні параметри розробленої сушарки: тривалість одного циклу проходження порції відходів через сушарку – 17 с; продуктивність проходження через сушарку відходів – 36,2 т/год; швидкість сушіння – 0,69 кг / кг·год; маса порції відходів, що підсушується – 171 кг; тривалість підсушування порції – 0,246 год; добова маса відходів з початковою вологістю 25%, що підсушуються до вологості 8% - 17 т; загальна встановлена потужність електродвигунів сушарки – 39 кВт; енергоємність зневоднення відходів за допомогою сушарки – 324 кВт·год/т.
6. Приведено залежності для визначення основних експлуатаційних параметрів пропонованої сушарки, за допомогою яких можна обґрунтувати її ефективність у порівнянні з іншим обладнанням аналогічного призначення. Дані залежності можуть також послужити основою для створення методики проектного розрахунку сушарки.