

## РОЗРАХУНКОВА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИТОВОГО СЕПАРУВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ СХЕМ І ПАРАМЕТРІВ СИТ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Гросул Л.Г., д-р техн. наук, професор, Гапонюк О.І., д-р техн. наук, професор, Мосієнко Г.А., інженер, Гончарук Г.А., канд. техн. наук, доцент, Яцкова Т.Й., канд. техн. наук  
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Наведено аналіз графів ситових сепараторів, призначених для сепарування зернових сумішей. Установлено вплив властивостей продуктів обробки на ефективність сепарування, запропоновано аналітичні залежності і надано рекомендації для розрахункового визначення технологічних параметрів сит і схем їхнього використання.

*Analysis of graphs Seth separators designed for separation of grain mixtures. Defined impact of product specifics on efficiency of separation, established analytical interdependence and provided recommendations for determining technological characteristics of Seth separators and their functioning.*

Ключові слова: зерновий сепаратор, суміш, самосортування, сепарування.

**Стан проблеми.** Матеріальні потоки (рис. 1) зернопродуктів при сталих режимах просіювальних установок можна розглядати, використовуючи два показники:

абсолютний – сума інтенсивностей вхідних потоків (дуг орграфу  $Q_{i,k}$ ) зернопродуктів (кг/с), що надходять від попередніх (вершини  $i$  орграфу) до даного (вершина  $k$  орграфу) функціонального елемента класифікатора, дорівнює сумі інтенсивностей вихідних потоків (дуг орграфу  $Q_{k,j}$ ) від даного (вершина  $k$  орграфу) до наступних (вершини  $j$  орграфу) функціональних елементів

$$\sum_{i=1}^n Q_{i,k} = \sum_{j=1}^m Q_{k,j};$$

відносний – сума відношень інтенсивностей вхідних потоків (дуг орграфу  $Q_{i,k}$ ) зернопродуктів, що надходять від попередніх (вершини  $i$  орграфу) до даного (вершина  $k$  орграфу) функціонального елемента просіювача, та загальної продуктивності останнього  $Q$ , дорівнює сумі відношень інтенсивностей вихідних потоків (дуг орграфу  $Q_{k,j}$ ) від даного (вершина  $k$  орграфу) до наступних (вершини  $j$  орграфу) функціональних елементів та загальної продуктивності ситового сепаратора  $Q$

$$\sum_{i=1}^n Q_{i,k} / Q = \sum_{j=1}^m Q_{k,j} / Q \quad \text{або} \quad \sum_{i=1}^n q_{i,k} = \sum_{j=1}^m q_{k,j}.$$

Якщо вхідні потоки зернопродуктів можна розглядати як один сумарний потік  $q_k$  із сталими характеристиками, то вихідні потоки залежать від призначення та ефективності роботи  $k$ -того функціонального елемента

$$q_k = q_{k,1} + q_{k,2} + \dots + q_{k,j} = q_k I_1 + q_k I_2 + \dots + q_k I_j,$$

де:  $I_1, I_2, \dots, I_j$  – частки (доли) відносної інтенсивності утворення потоків зернопродуктів у даному функціональному елементі (вершина  $k$  орграфу), що спрямовуються до наступних функціональних елементів (вершини  $1, 2, \dots, j$  орграфу). При цьому

$$I_1 + I_2 + \dots + I_j = q_{k,1}/q_k + q_{k,2}/q_k + \dots + q_{k,j}/q_k = 1.$$

Сепаратор для класифікації зерна, відповідно до розробленої схеми компактного технологічного процесу, наприклад, сортування вологого свіжозібраного зерна перед його сушінням, можна розглядати як складову частину у вигляді графа (рис. 1, а) із паралельною компоновкою сит. Функціональним призначенням класифікатора є розподіл вхідного зерна на чотири [1] фракції (4 потоки зерна від класифікатора до сушильних пристроїв  $j=2.1, 2.2, 2.3$  та 3.4). Для виконання такої операції класифікатор зерна необхідно оснастити трьома ( $j-1$ ) ситами (три вершини графа  $k=1.1, 1.2$ , та 1.3), які допускають також послідовне (рис. 1, б) або комбіноване (рис. 1, в та з) компоновання сит.

Кожне з наявних сит характеризується:

ефективністю відділення дрібної фракції (проходу)  $E_n = (\delta - \delta_0) / \delta$ ,

де  $\delta$  та  $\delta_0$  – частина продукту, що підлягає відділенню проходом та його невідділена частина у сході при сепарації сипкого матеріалу конкретним ситом;

розділювальною спроможністю, яка є відношенням теоретично можливого проходу  $\delta$  до загальної

кількості продукту, що надходить на сито  $q_k$  ( $P_{np} = \partial/q_k$ ) або відношенням теоретично можливого сходу  $q_k - \partial$  до загальної кількості продукту ( $P_{cx} = (q_k - \partial)/q_k$ ). При цьому  $P_{np} + P_{cx} = 1$ .

Використовуючи будь який із приведених показників розділювальної спроможності (наприклад,  $P_{np} = P$ ), маємо можливість для будь якого сита визначити величини практично очікуваного проходу –  $q_{np} = q_k P E_n$  та сходу –  $q_{cx} = q_k(1 - P) + q_k P(1 - E_n)$ .

Розділювальна спроможність сита визначається робочим розміром його отворів, які залежно від геометричної форми (наприклад, круг або прямокутник) є обмеженням до умов проходу часток залежно від їхньої ширини чи товщини відповідно. Робочий розмір отворів сита є його технологічним параметром і за умов забезпечення необхідної розділювальної спроможності може бути визначеним на основі аналізу гранулометричного складу конкретної суміші продуктів, наприклад, призначеного для обробки зерна.

Природність походження зерна як сипкого матеріалу, що складається з окремих часток аналогічної форми та різних лінійних розмірів, які належать відомому інтервалу їх варіації, дає підставу зробити припущення про відповідність розподілу останніх функції Лапласа. Проведені дослідження геометрії зерна, яке не зазнавало попередньої обробки, підтвердили припущення про нормальний закон розподілу [2] кожного з його лінійних розмірів  $x$  (довжина –  $l$ ; ширина –  $b$ ; товщина –  $c$ ), для яких відомі:

диференціальна функція розподілу

$$f(x) = e^{-(x-M)^2/2D} / \sqrt{2\pi D},$$

математичне сподівання

$$M = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} x f(x) dx = \sum_{i=1}^n x_i / n$$

та дисперсія

$$D = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} x^2 f(x) dx = \sum_{i=1}^n (x_i - M)^2 / n,$$

де  $x_i$  – конкретне значення відповідного розміру  $i$ -того зерна в суміші з  $n$  часток;

$x_{\min}$  та  $x_{\max}$  – найменше та найбільше значення розмірів зерна в одержаному інтервалі.

Якщо відомі математичне сподівання  $M$  безперервної випадкової величини  $x$  і її середнє квадратичне відхилення  $\sigma = \sqrt{D}$ , то можна записати конкретний вираз функції розподілу імовірностей. Так, наприклад, якщо середнє арифметичне ширини зерна гречки складає  $b_{cp} = 3,464$  мм при  $\sigma = 0,6$ , то математичне сподівання діаметра круглого отвору для його просіювання [1] визначиться  $M = b_{cp} / 0,866 = 4$  мм, а диференціальна функція розподілу імовірностей набуває вигляду

$$f(x) = \exp[-(x - M)^2 / 2D] / \sqrt{2\pi D} = \exp[-(x - 4)^2 / 0,72] / \sqrt{0,72\pi},$$

де:  $D = \sigma^2 = 0,36$  – дисперсія лінійного розміру ширини зерна;

$0,866$  – коефіцієнт корекції робочого розміру зерна гречки.

Враховуючи, що обмежена кривою на графіку диференціальної функції розподілу розмірів зерна (рис. 2, а, б) площа дорівнює одиниці ( $S = 1$  і охоплює всі наявні частки), та вибираючи сито з необхідним робочим розміром  $x_b = d$  або  $x_c = e$  відповідної форми (круг або прямокутник) отворів, можна стверджувати таке:

суміш зерна з розмірами часток  $-\infty < x_i < d$  відповідає умовам проходження їх крізь отвори вибраного сита і при просіюванні може утворити його проход  $P_p$ . При цьому, відношення площі  $S_{np}$  на інтервалі  $-\infty < x_i < d$  до загальної площі  $S$  під кривою розподілу розмірів визначає розділювальну спроможність такого сита за величиною проходу

$$P_{np} = S_{np} / S = S_{np};$$

суміш зерна з розмірами часток  $d < x_i < +\infty$  не відповідає умовам проходження їх крізь отвори вибраного сита і при просіюванні може утворити його схід  $S_x$ . При цьому, відношення площі  $S_{cx}$  на інтервалі  $d < x_i < +\infty$  до загальної площі  $S$  під кривою розподілу розмірів визначає розділювальну спроможність такого сита за величиною сходу

$$P_{cx} = S_{cx} / S = S_{cx}.$$

Для розв'язку практичних задач достатньо розглядати інтервал  $M \pm 3\sigma$ , де з імовірністю 0,997 знаходяться всі значення діаметрів отворів, що забезпечують умови просіювання, наприклад, зерна гречки як випадкової величини. Згідно з наявними даними величина цього інтервалу обмежена значеннями  $x_{\min} = M - 3\sigma = 4 - 3 * 0,6 = 2,2$  мм та  $x_{\max} = M + 3\sigma = 4 + 3 * 0,6 = 5,8$  мм.

Відповідно до процесу класифікації зерна гречки на фракції за розмірами часток за допомогою сит, фізичним змістом меж розглянутого інтервалу є:

$X_{min}=d_{min}$  – найменше значення робочого розміру отворів сита, крізь які не пройде жодне зерно даної сукупності;  $X_{max}=d_{max}$  – найбільше значення робочого розміру отворів сита, крізь які пройдуть майже всі частки (99,7%) цієї сукупності. Таким чином, вибравши сито з діаметром отворів  $d_{min} < d < d_{max}$ , є можливість шляхом просіювання розділити сукупність усіх зерен на фракції у відношенні, визначеному відношенням площ під кривою розподілу імовірностей на інтервалах від  $d_{min}$  до  $d$  та від  $d$  до  $d_{max}$ , що відповідають площам  $S_{np}$  та  $S_{cx}$ , для яких

$$S_{np}=S_{np}/S=P_{np} \text{ та } S_{cx}=S_{cx}/S=P_{cx},$$

де  $S=1$  – загальна площа під кривою на графіку розподілу імовірностей.

Відповідно до фізичного змісту

$$P_{cx}+P_{np}=(S_{cx}+S_{np})/S \approx \left\{ \int_{X_{min}}^d \exp[-(x-M)^2/0,72]dx + \int_d^{X_{max}} \exp[-(x-M)^2/0,72]dx \right\} / \sqrt{0,72\pi} = 1.$$

Загалом, імовірність того, що випадковий розмір (а відповідно і частка) належить відомому інтервалу (а відповідно і фракції) визначається [3] за виразом

$$P(x_{min} < x < d) = \Phi[(d-M)/\sigma] - \Phi[(x_{min}-M)/\sigma],$$

де  $\Phi(x) = \int_0^x \exp(-x^2/2)dx / \sqrt{2\pi}$  – функція Лапласа, значення якої табульовані [4] для половинного інтервалу залежності.

Використовуючи наведену залежність відповідно до встановлених параметрів ( $M=4$  мм,  $\sigma=0,6$  мм,  $X_{min}=2,2$  мм,  $X_{max}=5,8$  мм), одержимо

$$P(x_{min} < x < d) = \Phi[(d-4)/0,6] - \Phi[(2,2-4)/0,6] = P_{np},$$

або

$$P(d < x < x_{max}) = \Phi[(5,8-4)/0,6] - \Phi[(d-4)/0,6] = P_{cx},$$

що дає можливість теоретичним шляхом розрахувати величину робочого розміру  $d$  отворів сита, необхідного для розділу суміші зерна гречки на фракції в заданому відношенні  $P_{cx}$  та  $P_{np}$ . Це дозволяє визначити технологічні параметри (наприклад, діаметри  $d_1$ ,  $d_2$  та  $d_3$  отворів круглої форми) сит класифікатора зерна гречки на чотири фракції перед сушінням.

Однак при практичній реалізації процесу просіювання частина  $d_0$  від можливого проходу  $d$  потрапляє до сходу, збільшуючи його кількісний склад. Це явище враховується показником ефективності роботи сита  $E_n$  і дає можливість (наприклад, при  $P=P_{np}$ ) для будь-якого сита визначити фактичні обсяги проходу –  $q_{np}=q_k P E_n$  та сходу –  $q_{cx}=q_k(1-P)+q_k P(1-E_n)=q_k(1-P E_n)$ .

**Постановка задачі.** Відповідно до трьох сит класифікатора зерна, який забезпечує утворення чотирьох фракцій – потоків зерна до наступних сушильних пристроїв – їх можна одержати при різних варіантах схеми паралельного (рис. 2, а), послідовного (рис. 2, в) та змішаного розміщення сит (рис. 2, д та ж), що дозволяє реалізувати одну і ту ж операцію на основі різних принципів сепарування: “від крупного до дрібного”, “від дрібного до крупного”, та комбінованого. Вибір найбільш доцільного принципу сепарації є важливим завданням оптимізації технологічної операції класифікації зерна на чотири фракції з метою визначення оптимальної схеми розміщення сит та обґрунтування раціональної конструктивної компоновки їх при проектуванні класифікатора.

**Основна частина.** Для вирішення поставленої задачі розглянемо всі можливі схеми компоновки трьох сит у класифікаторі.

Аналіз тих, що надходять, і утворених (від крупного до дрібного) потоків (рис. 1, а та 2, а,б) зернопродуктів при паралельному розміщенні сит та відомих ефективностях просіювання  $E_n$  кожного з них (1.1–верхнім з діаметром отворів  $d_1$  та ефективністю  $E_{1,1}$ , 1.2–середнім –  $d_2$  та  $E_{1,2}$  і 1.3–нижнім –  $d_3$  та  $E_{1,3}$ ), дозволяє встановити їхні кількісні характеристики – інтенсивності утворених потоків.

Схід верхнього сита визначається як передбачений значенням розділовальної спроможності  $P_1$  головний потік  $q_k P_1$  та сума потоків недосіву ( $1-E_{1,1}$ ) наступних дрібних фракцій і має вигляд рівняння

$$q_{1.1-2.1} = q_k [P_1 + P_2(1-E_{1,1}) + P_3(1-E_{1,1}) + P_4(1-E_{1,1})];$$

Прохід верхнього сита визначається як різниця між кількістю зерна, що надходить до верхнього сита, та відводиться від нього сходом

$$q_{1.1-1.2} = q_k - q_{1.1-2.1} = q_k [(1-P_1) - P_2(1-E_{1,1}) - P_3(1-E_{1,1}) - P_4(1-E_{1,1})];$$

За аналогією з розглянутим є можливість установити:

схід середнього сита

$$q_{1.2-2.2} = q_k [(1-P_1) - P_2(1-E_{1,1}) - P_3(1-E_{1,1}) - P_4(1-E_{1,1})] P_2 + (P_3 + P_4)(1-E_{1,2});$$

прохід середнього сита

$$q_{1.2-1.3} = q_k [(1-P_1) - P_2(1-E_{1,1}) - P_3(1-E_{1,1}) - P_4(1-E_{1,1})] (1-P_2) - (P_3 + P_4)(1-E_{1,2});$$

схід нижнього сита

$$q_{1.3-2.3} = q_k \{ [(1-P_1) - P_2(1-E_{1.1}) - P_3(1-E_{1.1}) - P_4(1-E_{1.1})] (1-P_2) - (P_3+P_4)(1-E_{1.2}) \} P_3 + P_4(1-E_{1.3});$$

прохід нижнього сита

$$q_{1.3-2.4} = q_k \{ [(1-P_1) - P_2(1-E_{1.1}) - P_3(1-E_{1.1}) - P_4(1-E_{1.1})] (1-P_2) - (P_3+P_4)(1-E_{1.2}) \} (1-P_3) - P_4(1-E_{1.3}).$$

Для розрахунків чотирьох невідомих розділювальних спроможностей достатньо розв'язати систему рівнянь, обмежену чотирма вихідними потоками трьох вершин графа компактного технологічного процесу, які відбивають операції класифікації вхідного зерна на фракції:

схід верхнього сита

$$q_{1.1-2.1} = q_k [P_1 + (P_2 + P_3 + P_4)(1-E_{1.1})];$$

схід середнього сита

$$q_{1.2-2.2} = q_k \{ [(1-P_1) - P_2(1-E_{1.1}) - P_3(1-E_{1.1}) - P_4(1-E_{1.1})] P_2 + (P_3 + P_4)(1-E_{1.2}) \};$$

схід нижнього сита

$$q_{1.3-2.3} = q_k \{ [(1-P_1) - (P_2 + P_3 + P_4)(1-E_{1.1})] (1-P_2) - (P_3 + P_4)(1-E_{1.2}) \} P_3 + P_4(1-E_{1.3});$$

прохід нижнього сита

$$q_{1.3-2.4} = q_k \{ [(1-P_1) - (P_2 + P_3 + P_4)(1-E_{1.1})] (1-P_2) - (P_3 + P_4)(1-E_{1.2}) \} (1-P_3) - P_4(1-E_{1.3}).$$

Одержана система складається з квадратних рівнянь і відрізняється значними трудностями при розв'язку. З метою спрощення процедури розв'язання використаємо припущення, що верхнє сито бездоганно забезпечує необхідну розділювальну спроможність  $P_1$ . У такому випадку на середнє сито надходить  $q_{1.1-1.2} = q_k (P_2 E_{1.1} + P_3 E_{1.1} E_{1.2} + P_4 E_{1.1} E_{1.2})$  зерна, що дає змогу підрахувати схід середнього сита і, за аналогією, установити величини проходу та сходу нижнього сита. Таким чином, одержана система лінійних рівнянь має єдиний розв'язок і включає:

схід верхнього сита

$$q_{1.1-2.1} = q_k [P_1 + P_2(1-E_{1.1}) + P_3(1-E_{1.1}) + P_4(1-E_{1.1})];$$

схід середнього сита

$$q_{1.2-2.2} = q_k [P_2 E_{1.1} + P_3 E_{1.1}(1-E_{1.2}) + P_4 E_{1.1}(1-E_{1.2})];$$

схід нижнього сита

$$q_{1.3-2.3} = q_k [P_3 E_{1.1} E_{1.2} + P_4 E_{1.1} E_{1.2}(1-E_{1.3})];$$

прохід нижнього сита

$$q_{1.3-2.4} = q_k [P_4 E_{1.1} E_{1.2} E_{1.3}].$$

Після приведення подібних членів система набуває вигляду

$$q_{1.1-2.1} = q_k [P_1 + (P_2 + P_3 + P_4)(1-E_{1.1})];$$

$$q_{1.2-2.2} = q_k \{ [P_2 + (P_3 + P_4)(1-E_{1.2})] E_{1.1} \};$$

$$q_{1.3-2.3} = q_k \{ [P_3 + P_4(1-E_{1.3})] E_{1.1} E_{1.2} \};$$

$$q_{1.3-2.4} = q_k [P_4 E_{1.1} E_{1.2} E_{1.3}].$$

Враховуючи необхідність уніфікації обладнання, в транспортно-технологічних комплексах часто виникає необхідність використовувати однотипні, паралельно працюючі пристрої (2.1, 2.2, 2.3 та 2.4) однакової продуктивності, що вимагає рівних інтенсивностей потоків продукту, які надходять до них

$$q_{0.1-1.1} = q_{1.1-2.1} + q_{1.2-2.2} + q_{1.3-2.3} + q_{1.3-2.4} = 0,25q_k + 0,25q_k + 0,25q_k + 0,25q_k = q_k.$$

На основі проведеного аналізу одержано систему рівнянь, яка подає математичну модель ситового сепаратора для класифікації зерна перед його сушінням і має вигляд системи чотирьох рівнянь із чотирма невідомими

$$P_1 + P_2(1-E_{1.1}) + P_3(1-E_{1.1}) + P_4(1-E_{1.1}) = 0,25;$$

$$P_2 E_{1.1} + P_3 E_{1.1}(1-E_{1.2}) + P_4 E_{1.1}(1-E_{1.2}) = 0,25;$$

$$P_3 E_{1.1} E_{1.2} + P_4 E_{1.1} E_{1.2}(1-E_{1.3}) = 0,25;$$

$$P_4 E_{1.1} E_{1.2} E_{1.3} = 0,25.$$

Беручи до уваги ідентичні умови експлуатації та аналогічні кінематичні параметри усіх трьох сит розглянутого класифікатора зерна перед сушінням у схемі післяжнивної обробки зерна, можна прийняти рівні значення ефективності їхньої роботи, наприклад,  $E_{1.1} = E_{1.2} = E_{1.3} = 0,95$ .

Розв'язання приведеної раніше системи рівнянь, як математичної моделі класифікатора, дає можливість одержати необхідні значення розділювальної спроможності кожного з його сит. Так, при використанні принципу компонування сит "від крупного до дрібного", маємо:

$$P_4 = 0,25/E_{1.1} E_{1.2} E_{1.3} = 0,25/0,95^3 = 0,2916;$$

$$P_3 = 0,25/E_{1.1} E_{1.2} - P_4(1-E_{1.3}) = 0,25/0,95^2 - 0,2916 \times 0,05 = 0,2624;$$

$$P_2 = 0,25/E_{1.1} - (P_3 + P_4)(1-E_{1.2}) = 0,25/0,95 - 0,554 \times 0,05 = 0,2355;$$

$$P_1 = 0,25 - (P_2 + P_3 + P_4)(1-E_{1.1}) = 0,25 - 0,7895 \times 0,05 = 0,2105.$$

При цьому сума значень усіх розділювальних спроможностей дорівнює одиниці.

На основі значень необхідних розділювальних спроможностей ( $P_1 = 0,2105$ ;  $P_2 = 0,2355$ ;  $P_3 = 0,2624$  та  $P_4 = 0,2916$ ) сит, об'єднаних (рис. 1, а) за принципом "від крупного до дрібного", можна записати

$$P(d_1 < X_{max}) = \Phi[(X_{max} - M)/\sigma] - \Phi[(d_1 - M)/\sigma] = P_1,$$

$$P(d_2 < x < d_1) = \Phi[(d_1 - M)/\sigma] - \Phi[(d_2 - M)/\sigma] = P_2,$$

$$P(d_3 < x < d_2) = \Phi[(d_2 - M)/\sigma] - \Phi[(d_3 - M)/\sigma] = P_3.$$

З метою перевірки, значення  $d_3$  може бути розраховане за виразом

$$P(X_{min} < x < d_3) = \Phi[(d_3 - M)/\sigma] - \Phi[(X_{min} - M)/\sigma] = P_4.$$

Для розрахунку діаметра отворів  $d_1$  верхнього сита підставимо значення  $M=4$  мм,  $\sigma=0,6$  мм,  $X_{max}=5,8$  мм, та  $P_1=0,2105$  мм в перше рівняння

$$\Phi[(5,8-4)/0,6] - \Phi[(d_1-4)/0,6] = 0,2105, \text{ або } \Phi(3) - \Phi[(d_1-4)/0,6] = 0,2105.$$

Із таблиці значень функції Лапласа знаходимо її величину для аргумента 3 і підставляємо в рівняння  $0,49865 - \Phi[(d_1-4)/0,6] = 0,2105$ , або  $\Phi[(d_1-4)/0,6] = 0,28815$ .

Далі, за значенням функції в тій же таблиці, вибираємо величину аргумента, якій воно відповідає  $\Phi[(d_1-4)/0,6] = \Phi(0,8)$ .

На підставі того, що рівні значення однакових функцій свідчать про рівність їх аргументів

$$(d_1-4)/0,6 = 0,8 \text{ або } d_1-4 = 0,48,$$

одержуємо змогу розрахувати величину діаметра отворів  $d_1=4,48$  мм верхнього сита, необхідного для утворення першої крупної фракції зерна за допомогою класификатора зерна гречки перед сушінням і забезпечення подачі четвертої частини його загального потоку до першого сушильного пристрою.

Наведена методика, шляхом послідовного розв'язання останніх трьох рівнянь, дає змогу визначити робочі розміри отворів (діаметри  $d_1=4,48$  мм,  $d_2=4,078$  мм, та  $d_3=3,67$  мм) сит та використати їх для вибору стандартизованих значень цих величин.

Найбільш близькими до розрахункових значень є стандартні штамповані сита з отворами круглої форми діаметрами  $d_1=4,5$  мм,  $d_2=4,0$  мм, та  $d_3=3,6$  мм.

Такі сита необхідно компоувати за принципом “від крупного до дрібного” і розміщувати в послідовності зверху до низу в розсійнику або сепараторі для класифікації зерна на чотири фракції перед сушінням. Обґрунтована таким чином схема (рис. 2, а) об'єднання сит у класификаторі, при обсязі вхідного потоку  $q_k=1$ , забезпечить формування потоків зерна:  $q_{0.1-1.1}=1$ ;  $q_{1.1-2.1}=q_{1.2-2.2}=q_{1.3-2.3}=q_{1.3-2.4}=0,25$ ;  $q_{1.1-1.2}=0,75$  та  $q_{1.2-1.3}=0,5$ .

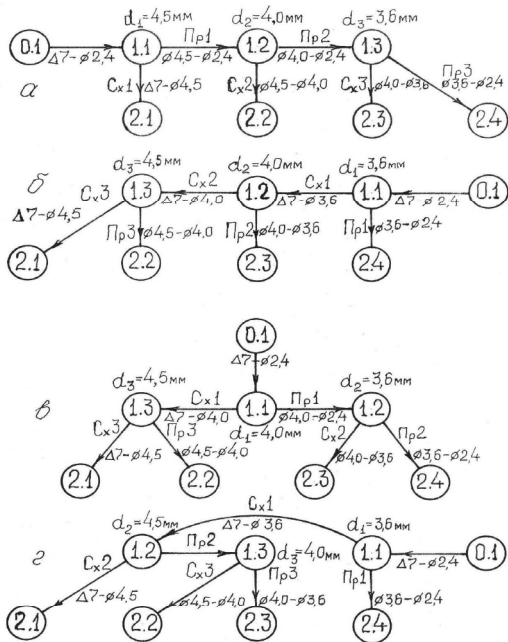


Рис. 1. – Графи класифікації свіжозібраного зерна гречки згідно вимог компактної технології його післязжнивної обробки

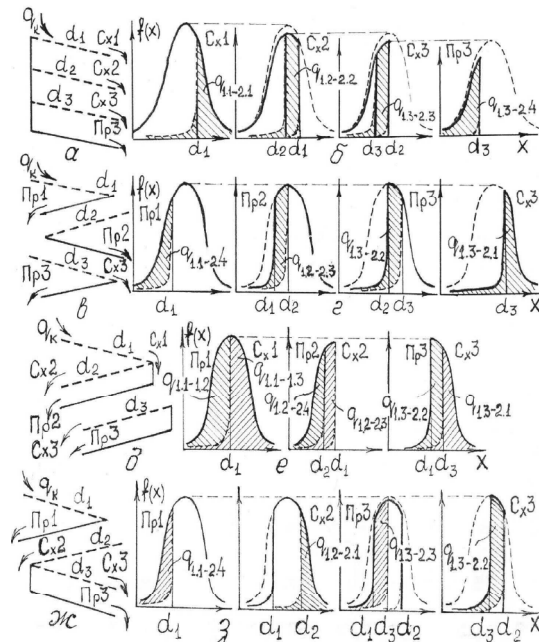


Рис. 2. – Схеми розміщення сит класификатора зерна та криві імовірностей розподілу його розмірів по фракціям

За аналогічною методикою можуть бути розраховані параметри сит, розміщених за принципом “від дрібного до крупного” (рис 1, б і рис 2, в, г) та комбінованих схем (рис.1, в, г і 2, д, е, ж, з).

Одержані математичні моделі процесу класифікації зерна на ситовому сепараторі є основою для обґрунтування оптимального варіанту схеми розміщення сит у сепараторі для класифікації зерна за крупністю, вибору технічно раціонального компоування та розробки найбільш доцільних конструктивно-

функціональних рішень робочих органів ситового класифікатора транспортно-технологічного комплексу.

Загалом у ситових сепараторах енергія витрачається на зрівноваження інерційного навантаження ситового корпусу та подолання сил тертя між шарами продуктів та ситами. Ситові корпуси однакових за продуктивністю та кількістю сит сепараторів мають аналогічну будову і рівні маси. Внаслідок цього слід очікувати, що витрати енергії на зрівноваження інерційного навантаження в ідентичних сепараторів будуть однаковими. Витрати енергії на подолання сил тертя прямо пропорційні останнім і зростають при збільшенні кількості (маси) продуктів, які одночасно знаходяться на ситах і утворюють їхні сходи. І навпаки, зменшення кількості продуктів, які одночасно знаходяться на ситах (зростання кількості проходів), обумовлює зниження витрат енергії на привід сепаратора.

Таким чином, не підраховуючи конкретні величини необхідної на привід класифікатора енергії, можна стверджувати, що найменшими її витратами буде відзначатися схема об'єднання сит із найменшою загальною кількістю продуктів у сходах та найбільшою загальною кількістю продуктів у проходах (табл. 1).

Проведений аналіз призначення та роботи ситового класифікатора зерна для транспортно-технологічних комплексів дозволяє:

установити технологічні параметри сит, необхідні для задовільнення вимог до конструктивно-технічних рішень та уніфікації суміжного обладнання в комплексах.

обґрунтувати технологічно доцільне об'єднання і розміщення сит та перспективну компоновку ситового корпусу класифікатора з метою мінімізації витрат енергії на процес формування окремих фракцій зерна у вигляді окремих потоків його до наступних пристроїв.

**Висновки.** Розглянута методика аналізу роботи класифікатора зерна може бути використана для розробки математичної моделі ситових круповідділювачів і сепараторів іншого призначення з будь-якою кількістю сит. Використання таких сит забезпечить розподіл зернопродуктів, що надходять, на необхідні за кількістю та обсягами потоки. Крім цього, одержані дані за технологічними параметрами сит дозволяють установити характеристики крупності часток зернопродуктів у кожному потоці у вигляді інтервалу, обмеженого можливими найбільшим та найменшим розмірами часток. Такі дані необхідні також для подальших розрахунків сепарувальних машин для класифікаторів вологого свіжозібраного зерна та систем регулювання їхніх режимів.

**Таблиця 1 – Розрахункові значення загальної кількості зерна в сходах та проходах класифікатора при різних компоновках сит**

Процедура підрахунку	Числові значення	Сума
Від крупного до дрібного (рис 2, а)		
Загальні сходи = $q_{1.1-2.1}+q_{1.2-2.2}+q_{1.3-2.3}$	0,25+0,25+0,25	0,75
Загальні проходи = $q_{1.1-1.2}+q_{1.2-1.3}+q_{1.2-2.4}$	0,75+0,50+0,25	1,50
Від дрібного до крупного (рис 2, б)		
Загальні сходи = $q_{1.1-1.2}+q_{1.2-1.3}+q_{1.3-2.1}$	0,75+0,50+0,25	1,50
Загальні проходи = $q_{1.1-2.4}+q_{1.2-2.3}+q_{1.3-2.2}$	0,25+0,25+0,25	0,75
Комбінована схема (рис. 2, в)		
Загальні сходи = $q_{1.1-1.3}+q_{1.3-2.1}+q_{1.2-2.3}$	0,50+0,25+0,25	1,00
Загальні проходи = $q_{1.1-1.2}+q_{1.2-2.4}+q_{1.3-2.2}$	0,50+0,25+0,25	1,00
Комбінована схема (рис. 2, г)		
Загальні сходи = $q_{1.1-1.2}+q_{1.2-2.1}+q_{1.3-2.2}$	0,75+0,25+0,25	1,25
Загальні проходи = $q_{1.1-2.4}+q_{1.3-2.3}+q_{1.2-1.3}$	0,25+0,25+0,50	1,00

Результати досліджень були використані при створенні проектної документації на транспортно-технологічний комплекс для попереднього очищення та класифікації зерна.

#### Література

1. Гинзбург М. Сокращение производственного цикла на гречезаводах // Мукомолье и элеватор.-склад. хоз-во. – 1953. – №2. – С.15-18.
2. Гросул Л.И., Дударев И.Р., Котляр Л.И. Форма поверхности и объем зерновки пшеницы // Изв. ВУЗов. Пищ. технология. 1972. – №4. – С. 17-20.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1977. – 58 с.
4. Гутер Р.С., Овчинский Б.В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта. – 2-е изд., перераб. – М.: Наука, 1970. – 432 с.