

## **ФУНКЦІОНАЛЬНО-СТРУКТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА НА ТОКУ**

***С.П. Степаненко, кандидат технічних наук  
Національний науковий центр "Інститут механізації та  
електрифікації сільського господарства"***

*В статті наведений математичний та алгоритмічний опис імітаційної моделі технологічного процесу післязбиральної обробки зерна в умовах току, застосовано системно-проектний підхід до управління системою машин для післязбиральної обробки зерна.*

***Зерно, моделювання, обробка, тік.***

**Постановка проблеми.** Збільшення валового збору зерна вимагає застосування високопродуктивної техніки збирання та для післязбиральної обробки зерна. При запропонованому обсязі збирання зернових до 80 млн. т. [1], інтенсивність надходження зернового збіжжя на зерноочисні пункти України збільшиться у 3-4 рази. Детальний аналіз кожної технологічної операції на стадії післязбиральної обробки зерна в системі току, виправлення негативних моментів на даній стадії шляхом вибору найкращого рішення, оцінка прийнятих рішень та намагання до вдосконалення виробництва зерна і покращення його якісних властивостей – це те, що дозволить підвищити економічну ефективність будь-якого сільськогосподарського підприємства.

**Аналіз останніх досліджень.** Дослідження [2, 3, 4] спрямовані на підвищення ефективності роботи окремих машин та рекомендацій стосовно визначення потрібного комплексу машин для післязбиральної обробки зерна.

В даних дослідженнях пропонується спосіб, при якому на початковому етапі виділяється частина зерна високої якості з кондиційними властивостями, потім виділення повноцінного зерна високої якості з між операційним його доведенням.

Зміна вологості, чистоти зернового збіжжя, інтенсивність його надходження в межах сезону носить випадковий (стохастичний) характер, що було доведено наступними вченими з використанням теорії ймовірності [4, 8]. Тим не менш, перші розроблені методики передбачали потребу в обладнанні для післязбиральної обробки зерна і насіння, які припускали постійність характеристик потоків

зернового збіжжя [5]. Вищезгадані дослідження не дають повної інформації розробнику організаційно-технологічного проекту в умовах інтенсивного багатоменклатурного надходження потоку на очисно-сушильно-зберігаючий пункт, тому актуальною задачею є розроблення математичного та алгоритмічного опису імітаційної моделі технологічного процесу післязбиральної обробки зерна в умовах току, застосування системно-проектного підходу до управління системою машин для післязбиральної обробки зерна, дозволяє розглянути систему в цілому і дослідити причинно-наслідкові зв'язки між ланками технологічної системи.

**Результати досліджень.** На стадії досліджень технологічних процесів післязбиральної обробки зерна в системі току було вибрано принцип функціонально-структурного моделювання процесів на основі побудови моделей імітаційного типу.

Розглянемо типовий технологічний процес післязбиральної обробки зерна на току (рис. 1).

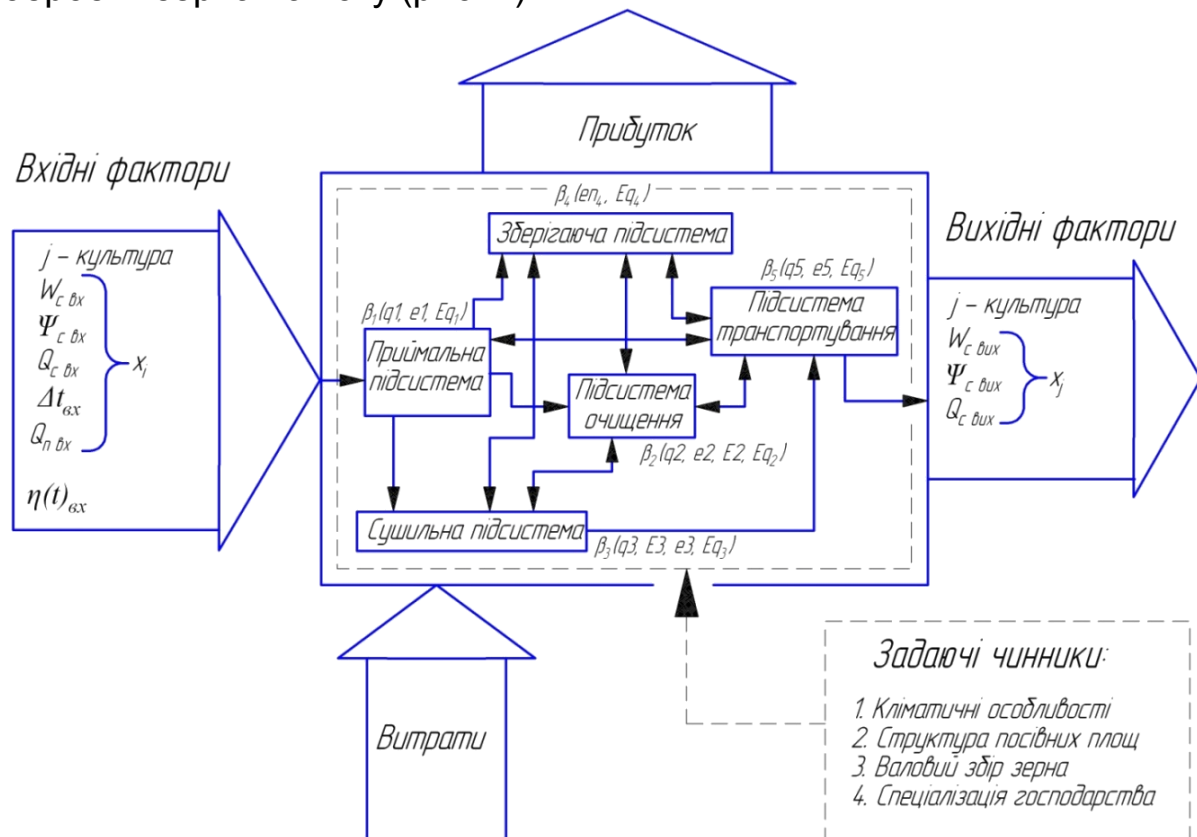


Рис. 1. Схема типового технологічного процесу післязбиральної обробки зерна в системі току.

Стадія формування зерна на току, або приймальна підсистема передбачає: зважування на вагах току зерновий матеріал який надходить від комбайнів, розвантаження транспортних засобів на спеціальному обладнанні, формування багатоменклатурних потоків зернових на відкритих майданчиках току, визначення якісних

характеристик потоків, формування бурту зерна системою машин для завантаження та транспортування.

*Попереднє очищення зерна в буртах на току.* Технологією попереднього очищення зерна передбачається видалення із зернової суміші, яка надходить з поля від комбайнів, залишків соломи, рослин, частково полови та інших крупних, у тому числі випадкових домішок. Видалення домішок підвищує сипучість зернового матеріалу, частково знижує його вологість, що покращує подальший процес сушіння зерна, знижує затрати тепла на сушку, крім того, такий зерновий матеріал, можна ефективно тимчасово зберігати в ємкостях активного вентилявання.

Машини, які використовуються для попереднього очищення, повинні бути налаштовані на виділення великих та найбільш вологих домішок і забезпечувати видалення не менше 50...60% всіх бур'янистих і 99...100% солонистих домішок. Попереднє очищення виконується на ворохоочищувачах і повітряно-решітних машинах. При правильному підборі решіт машин і швидкості повітряного потоку за один прохід кількість бур'янистих домішок в зерні повинно зменшуватися до 3%, при цьому втрати зерна основної культури у відходах не повинні перевищувати 0,1%. Машини попереднього очищення можна розділити на дві групи: машини повітряно-решітної очистки та скальператори.

Скальператори оснащені робочими органами у вигляді пруткового чи решітчастого циліндра з горизонтальною віссю обертання, або сітчастого транспортера. Машини даного принципу дії, як правило, видаляють крупні солонисті домішки: частини колосків, стебел, частини бур'янів, листки та інші крупні домішки. Даний тип машин добре працює, як при очистці сухого зерна, так і зерна з помірною та підвищеною вологістю.

Машини повітряно-решітної очистки виконують розділення на декілька фракцій за питомою вагою і за розмірами, що дозволяють виділити, крім сміттєвих домішок, ще й фуражну фракцію.

*Стадія сушіння зерна.* Технологічні режими роботи зерносушарок і їх регулювання визначаються вихідними умовами їх роботи і конструктивними особливостями. Найбільш поширеними в практичному використанні є шахтні зерносушарки, а також пересувні шахтні зерносушарки. При запуску в роботу зерносушарку необхідно завантажувати вологим зерном до заповнення шахт, після чого проводити розпалювання топків. Перевід зерносушарок на робочий режим проводиться в два етапи. На першому етапі прогрівається сушарка і зерно на протязі 25-30 хв. при закритих дросельних заслінках в всмоктувальних коробах, після чого дросельні заслінки відкриваються на необхідну величину і вмикається вивантаження

зерна із шахт. На другому етапі не повністю висушене зерно, випущене із шахт, повторно направляється для пропускання через зерносушарку.

Для забезпечення ефективної роботи шахтних зерносушарок необхідно забезпечувати, по можливості, цілодобову їх роботу, якщо організувати в такому режимі роботу не можливо, то зерносушарку із зерном перед зупинкою варто охолодити не підігрітим повітрям на протязі 20 хв. при прикритих наполовину дросельних заслінках вентиляторів. Стадія сушіння зерна повинна забезпечувати кондиційну вологість вихідного матеріалу.

Стадія *первинного очищення* повинна забезпечувати наступні агротехнічні вимоги:

- втрати основного зерна у фуражні, крупні та легкі відходи не повинні перевищувати 1,5% від маси основного зерна у вихідному матеріалі;

- втрати основного зерна в дрібні відходи не повинні перевищувати 0,05 % від маси основного зерна у вихідному матеріалі;

- подрібнення зерна машиною не повинно перевищувати 0,1% від маси основного зерна у вихідному матеріалі.

Зерноочисні машини первинного очищення потребують швидкого налаштування режиму розділення зернового матеріалу, особливо в умовах одночасного збирання декількох культур. Для окремих випадків, режим уточнюють, виходячи з чистоти і крупності зернівки, її вологості тощо.

Стадія *вторинного очищення зерна*. Для використання зерна в насінневих цілях зернова суміш повинна бути очищена від абсолютно всіх домішок, мати однаковий розмір і вагу зернівок. Повне доведення зернової суміші до посівних кондицій виконують машини вторинного очищення. Крім цього, їх використовують на очищені продовольчого зерна від важковідокремлювальних і особливих домішок.

Машини вторинного очищення повинні забезпечувати якість вихідного зернового матеріалу, що відповідає 1 та 2 класу для зерна. Вміст сміттєвих домішок у вихідній фракції не повинно перевищувати 0,2%, вміст шкідливих домішок – 0,1%. Вміст повноцінного зерна у вихідній фракції для 1 класу повинен знаходитись в межах 99%, для 2 класу – 98,5%.

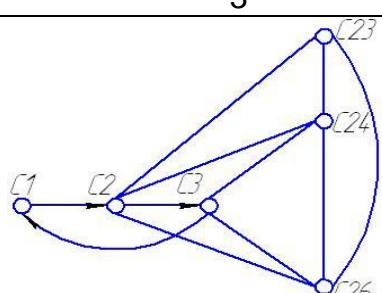
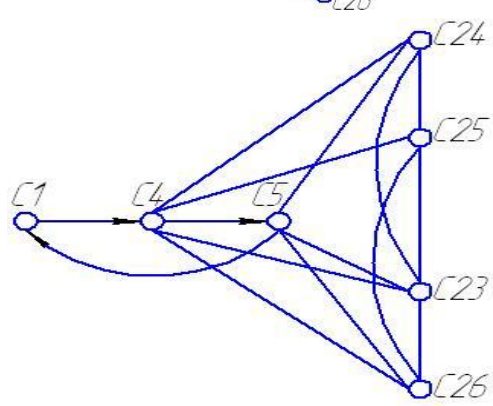
Для виділення коротких (насіння кукілю, биті зерна та ін.) та довгих (овсюк, овес) домішок використовуються машини спеціального призначення – трієри. Трієри представляють собою циліндр, внутрішня поверхня якого виконана у вигляді комірок певного розміру та форми.

Для розділення лущених і не лущених зерен рису, вівса, проса, виділення ячменю з вівса, виділення грибкових тіл, насіння польової редьки, часнику, камінців, пророслих, неякісних пошкоджених зерен із основної культури використовуються сепаратори з відбиваючими стінками (падді-машини).

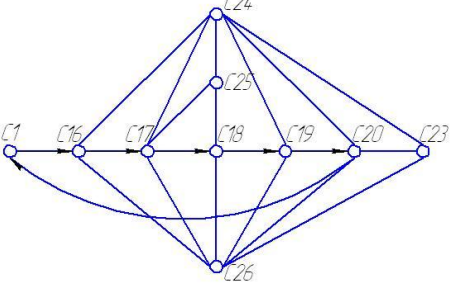
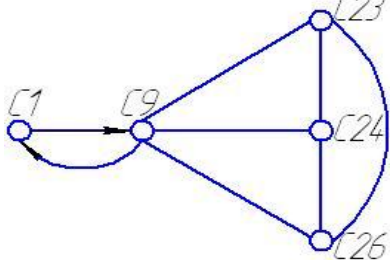
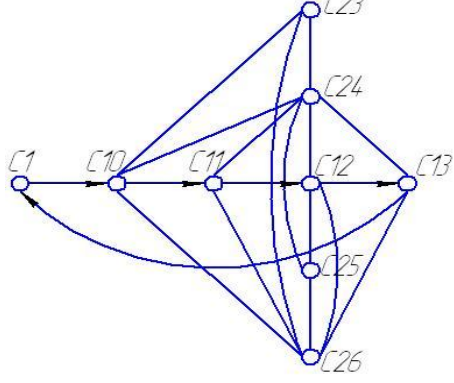
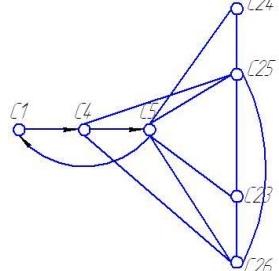
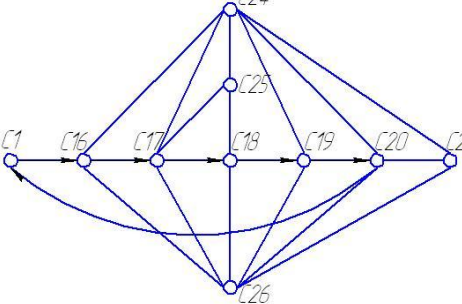
**Складування зерна та тимчасове зберігання.** Тимчасове зберігання дозволяє збільшити обсяги приймання зернового матеріалу в денний час і цілодобово, використовувати зерноочисне і сушильне обладнання приймальних пунктів. У зв'язку з цим продуктивність машин попереднього очищення, як правило, в 2-3 рази вища продуктивності поточкових ліній при наступній обробці.

Виходячи з аналізу опису системи, можна зробити висновок, що технологічний процес післязбиральної обробки зерна в системі току – досить складний, безперервний стохастичний процес. Використовуючи системний підхід до технологічної лінії виробництва зерна в системі току на рівні структурних елементів можна представити у вигляді ряду взаємозв'язків техніко-технологічних підсистем післязбиральної обробки зерна в системі току: «Формування зерна на току», «Попереднє очищення в буртах», «Попереднє очищення зерна в комплексі», «Аспірація зерна», «Сушіння зерна», «Первинне очищення зерна», «Вторинне очищення зерна», «Складування очищеного зерна» (табл. 1).

### 1. Модель подій функціонування технологічного обладнання в системі току.

Підсистема	Обладнання	Граф
1	2	3
T1 - «Формування зерна току»	Зважування (ваги) – (C <sub>2</sub> ) Зернометач (C <sub>3</sub> )	
T2 – «Попереднє очищення зерна в буртах на току» T21 – «Попереднє очищення»	Машина попереднього очищення зерна (C <sub>4</sub> )	
T22 – «Завантаження зерна на автомобіль з буртів»	Зернометач (C <sub>5</sub> )	

Продовження табл. 1

1	2	3
<p>T3 – «Попереднє очищення зерна в комплексі»                      T31 – «Транспортування зерна на попереднє очищення в комплексі»                      T32 – «Подача зерна на попереднє очищення»                      T33 – «Попереднє очищення в комплексі»</p>	<p>Автомобіль (C<sub>6</sub>)                      Ковшовий елеватор (норія) (C<sub>7</sub>)                      Скальператор (C<sub>8</sub>)</p>	
<p>T4 – «Аспірація зерна»</p>	<p>Система аспірації зерна (C<sub>9</sub>)</p>	
<p>T5 – «Сушіння зерна»                      T51 – «Транспортування зерна на сушіння»                      T52 – «Подача зерна в сушарку»                      T53 – «Сушіння зерна»                      T54 – «Контроль якості зерна»</p>	<p>Автомобіль (C<sub>10</sub>)                      Ковшовий елеватор (норія) (C<sub>11</sub>)                      Зерносушарка (C<sub>12</sub>)                      Система контролю якості зерна (C<sub>13</sub>)</p>	
<p>T6 – «Первинне очищення зерна»                      T61 – «Транспортування зерна на первинне очищення»                      T62 – «Первинне очищення зерна»</p>	<p>Закритий скребковий транспортер (C<sub>14</sub>)                      Сепаратор (C<sub>15</sub>)</p>	
<p>T7 – «Вторинне очищення зерна»                      T71 – «Транспортування зерна на вторинне очищення»                      T72 – «Вторинне очищення зерна»                      T73 – «Відвантаження відходів з комплексу»</p>	<p>Ковшовий елеватор (C<sub>16</sub>)                      Трієр (C<sub>17</sub>)                      Швидкодіюча задвижка (C<sub>18</sub>)                      Транспортер (C<sub>19</sub>)                      Автомобіль (C<sub>20</sub>)</p>	

**Продовження табл. 1**

1	2	3
Т8 – «Складування зерна» Т81 – «Складування зерна в зерносховищі» Т82 – «Транспортування зерна в силос»	Автомобіль (C <sub>21</sub> )  Ковшовий транспортер (C <sub>22</sub> )	

В табл. 1 наведено ряд технологічних операцій та технічних засобів: С<sub>1</sub> – Підготовчо-заклучна операція; С<sub>2</sub> – Зважування зерна; С<sub>3</sub> – Формування зерна на току; С<sub>4</sub> – Попереднє очищення зерна в буртах на току; С<sub>5</sub> – Завантаження зерна на автомобіль з буртів; С<sub>6</sub> – Транспортування зерна на попереднє очищення в комплексі; С<sub>7</sub> – Подача зерна на попереднє очищення; С<sub>8</sub> – Попереднє очищення зерна в комплексі; С<sub>9</sub> – Аспірація зерна; С<sub>10</sub> – Транспортування зерна на сушіння; С<sub>11</sub> – Подача зерна в сушарку; С<sub>12</sub> – Сушіння зерна; С<sub>13</sub> – Контроль якості зерна; С<sub>14</sub> – Транспортування зерна на первинне очищення; С<sub>15</sub> – Первинне очищення зерна; С<sub>16</sub> – Транспортування зерна на вторинне очищення; С<sub>17</sub> – Вторинне очищення зерна; С<sub>18</sub> – Формування потоків зерна; С<sub>19</sub> – Транспортування відходів та зерна після очищення (попереднього, первинного, вторинного); С<sub>20</sub> – Відвантаження відходів із зерноочисного комплексу; С<sub>21</sub> – Складування зерна в зерносховищі; С<sub>22</sub> – Транспортування зерна в силос запасу вологого (очищеного) зерна; С<sub>23</sub> – Допоміжні технологічні операції; С<sub>24</sub> – Відмова за технічних причин; С<sub>25</sub> – Відмова за технологічних причин; С<sub>26</sub> – Простій обладнання в зв'язку з відсутністю фронту робіт.

Кожна підсистема відповідає технологічним процесам і виконується відповідними технічними засобами або обладнанням, яке в свою чергу може приймати певний технологічний стан. За таких умов процес функціонування підсистем представлено у вигляді послідовно зв'язаних графів. Вершини графів вказують технологічний стан технічних засобів та обладнання яке розглядається в підсистемі; дуги графа – взаємозв'язок операцій.

У відповідності до формальних процедур опису складних систем розроблені математичні і імітаційні моделі техніко-технологічних підсистем у вигляді сукупності співвідношень логічних умов та отриманих на даній основі моделюючі алгоритми, які визначають їх реальне функціонування. Експериментальною основою створення моделей є дослідження статистичних

закономірностей розподілу випадкових величин протікання основних та допоміжних технологічних процесів на току, наробіток на відмову, час ліквідації технологічних та технічних відмов для різного виду і типу обладнання технологічної лінії очищення зерна. Синтез математичних моделей підсистем дозволив побудувати узагальнену модель функціонування механізованої лінії, яка наведена системою логічних рівнянь, які в свою чергу описують умови переходу одної техніко-технологічної підсистеми в іншу. За таких умов враховується, що підсистеми Т2, Т3, Т5, Т6, Т7, Т8 – включають підсистеми відповідно нижчого рівня: Т21, Т22; Т31, Т32, Т33; Т51, Т52, Т53, Т54; Т61, Т62; Т71, Т72, Т73; Т81, Т82 (табл. 1).

$$T(t + \Delta t) = \left\{ \begin{array}{l} T_1, \text{ якщо } (T(t) = T_1) \cap (N_1(t) < N_1) \\ T_2(T_{2.1}), \text{ якщо } (T(t) = T_{2.1}) \cap (N_2(t) < N_2) \cup (T(t) = T_1) \cap (N_1(t) \geq N_1) \\ T_2(T_{2.2}), \text{ якщо } (T(t) = T_{2.2}) \cap (N_3(t) < N_3) \cup (T(t) = T_{2.1}) \cap (N_2(t) \geq N_2) \\ T_3(T_{3.1}), \text{ якщо } (T(t) = T_{3.1}) \cap (N_4(t) < N_4) \cup (T(t) = T_1) \cap (N_1(t) \geq N_1) \\ T_3(T_{3.2}), \text{ якщо } (T(t) = T_{3.2}) \cap (N_5(t) < N_5) \cup (T(t) = T_{3.1}) \cap (N_4(t) \geq N_4) \\ T_4, \text{ якщо } (T(t) = T_4) \cap (N_7(t) < N_7) \cup (T(t) = T_{3.3}) \cap (N_6(t) \geq N_6) \\ T_5(T_{5.1}), \text{ якщо } (T(t) = T_{5.1}) \cap (N_8(t) < N_8) \cup (T(t) = T_4) \cap (N_7(t) \geq N_7) \\ T_5(T_{5.2}), \text{ якщо } (T(t) = T_{5.2}) \cap (N_9(t) < N_9) \cup (T(t) = T_{5.1}) \cap (N_8(t) \geq N_8) \\ T_5(T_{5.3}), \text{ якщо } (T(t) = T_{5.3}) \cap (N_{10}(t) < N_{10}) \cup (T(t) = T_{5.2}) \cap (N_9(t) \geq N_9) \\ T_5(T_{5.4}), \text{ якщо } (T(t) = T_{5.4}) \cap (N_{11}(t) < N_{11}) \cup (T(t) = T_{5.3}) \cap (N_{10}(t) \geq N_{10}) \\ T_6(T_{6.1}), \text{ якщо } (T(t) = T_{6.1}) \cap (N_{12}(t) < N_{12}) \cup (T(t) = T_{5.4}) \cap (N_{11}(t) \geq N_{11}) \\ T_6(T_{6.2}), \text{ якщо } (T(t) = T_{6.2}) \cap (N_{13}(t) < N_{13}) \cup (T(t) = T_{6.1}) \cap (N_{12}(t) \geq N_{12}) \\ T_7(T_{7.1}), \text{ якщо } (T(t) = T_{7.1}) \cap (N_{14}(t) < N_{14}) \cup (T(t) = T_{6.2}) \cap (N_{13}(t) \geq N_{13}) \\ T_7(T_{7.2}), \text{ якщо } (T(t) = T_{7.2}) \cap (N_{15}(t) < N_{15}) \cup (T(t) = T_{7.1}) \cap (N_{14}(t) \geq N_{14}) \\ T_7(T_{7.3}), \text{ якщо } (T(t) = T_{7.3}) \cap (N_{16}(t) < N_{16}) \cup (T(t) = T_{7.2}) \cap (N_{15}(t) \geq N_{15}) \\ T_8(T_{8.1}), \text{ якщо } (T(t) = T_{8.1}) \cap (N_{17}(t) < N_{17}) \cup (T(t) = T_{7.3}) \cap (N_{16}(t) \geq N_{16}) \\ T_8(T_{8.2}), \text{ якщо } (T(t) = T_{8.2}) \cap (N_{18}(t) < N_{18}) \cup (T(t) = T_{8.1}) \cap (N_{17}(t) \geq N_{17}) \end{array} \right.$$

де  $N_1(t)$  – випадкова функція кількості зваженого зернового матеріалу на вагах току;  $N$  – необхідна кількість зернового



матеріалу для зважування на вагах току;  $N_2(t)$  – випадкова функція кількості попередньо очищеного зернового матеріалу на току;  $N_2$  – необхідна кількість зернового матеріалу для попереднього очищення на току;  $N_3(t)$  – випадкова функція кількості зернового матеріалу завантаженого на автомобіль після попереднього очищення на току;  $N_3$  – необхідна кількість зернового матеріалу для завантаження на автомобіль;  $N_4(t)$  – випадкова функція кількості зернового матеріалу перевезеного автомобілем на попереднє очищення в комплекс;  $N_4$  – необхідна кількість зернового матеріалу для повного завантаження автомобілем при перевезенні на попереднє очищення в комплекс;  $N_5(t)$  – випадкова функція кількості зернового матеріалу поданого на попереднє очищення в комплекс;  $N_5$  – необхідна кількість зернового матеріалу для подачі його на попереднє очищення в комплексі;  $N_6(t)$  – випадкова функція кількості зернового матеріалу отриманого після попереднього очищення в комплексі;  $N_6$  – необхідна кількість зернового матеріалу отриманого після попереднього очищення в комплексі;  $N_7(t)$  – випадкова функція кількості виділених легких сміттєвих домішок системою аспірації зерна;  $N_7$  – необхідна кількість видалених легких сміттєвих домішок системою аспірації зерна;  $N_8(t)$  – випадкова функція кількості зернового матеріалу перевезеного автомобілем на сушіння зерна;  $N_8$  – необхідна кількість зернового матеріалу для повного завантаження автомобіля при перевезенні на сушіння зерна;  $N_9(t)$  – випадкова функція кількості зернового матеріалу поданого на сушіння зерна;  $N_9$  – необхідна кількість зернового матеріалу для подачі його на сушіння зерна;  $N_{10}(t)$  – випадкова функція кількості зернового матеріалу отриманого після сушіння зерна;  $N_{10}$  – необхідна кількість зернового матеріалу отриманого після сушіння зерна;  $N_{11}(t)$  – випадкова функція кількості зернового матеріалу яку перевіряє система контролю якості зерна;  $N_{11}$  – необхідна кількість зернового матеріалу яку перевіряє система контролю якості зерна;  $N_{12}(t)$  – випадкова функція кількості зернового матеріалу поданого на первинне очищення;  $N_{12}$  – необхідна кількість зернового матеріалу для подачі його на первинне очищення;  $N_{13}(t)$  – випадкова функція кількості зернового матеріалу отриманого після первинного очищення зерна;  $N_{13}$  – необхідна кількість зернового матеріалу отриманого після первинного очищення зерна;  $N_{14}(t)$  – випадкова функція кількості зернового матеріалу поданого на вторинне очищення;  $N_{14}$  – необхідна кількість зернового матеріалу для подачі його на вторинне очищення;  $N_{15}(t)$  – випадкова функція кількості зернового матеріалу отриманого після вторинного очищення;  $N_{15}$  – необхідна кількість зернового матеріалу отриманого після вторинного очищення;  $N_{16}(t)$  – випадкова функція кількості

відвантажених відходів з комплексу перевезеного автомобілем;  $N_{16}$  – необхідна кількість відходів з комплексу для повного завантаження автомобіля;  $N_{17}(t)$  – випадкова функція кількості зернового матеріалу доведеного до базисних кондицій відвантаженого з комплексу на автомобіль для складування в зерносховище;  $N_{17}$  – необхідна кількість зернового матеріалу доведеного до базисних кондицій відвантаженого з комплексу на автомобіль для складування в зерносховище;  $N_{18}(t)$  – випадкова функція кількості зернового матеріалу поданого в силос для зберігання зерна;  $N_{18}$  – необхідна кількість зернового матеріалу для його подачі в силос для зберігання зерна.

Виходячи з вищенаведеного, модель функціонування мехлінії очищення зерна на току та технологічного обладнання, що працює на майданчиках току наведено в системі рівнянь.

Трансформація отриманих математичних моделей в імітаційні здійснюється за допомогою програмного забезпечення і алгоритмізації технологічного процесу та включає в себе процес моделювання на ЕВМ динаміки протікання технологічних процесів очищення зерна на току в часі. При цьому було використано наступні принципи: принцип « $\Delta t$ » - фіксованих інтервалів часу (для програмування додаткових модулів, які відображають взаємозв'язок між підсистемами) [4, 6] та принцип «особливого стану» (для програмування техніко-технологічних підсистем, що є досить зручним та економічно вигідним у відношенні машинного часу) [6-8].

При цьому на кожному кроці модельного часу для технічних засобів та технологічного обладнання розраховується час роботи і надійність. Визначення надійності здійснюється шляхом моделювання наробітку на відмову і часу відновлення відповідного технологічного обладнання.

**Висновок.** Математичний та алгоритмічний опис імітаційної моделі технологічного процесу післязбиральної обробки зерна в умовах току, дозволяє сформулювати інженерну множину задач для проектування та ефективного керування технологічною системою току. При цьому, маючи дані про вхідні чинники, кліматичні особливості місцевості, структуру посівних площ, валовий збір – проектувальник може синтезувати необхідну для даних умов схему технологічної системи з раціональними параметрами.

### Список літератури

1. Програма "Зерно України – 2015" – К.: ДІА, 2011 г. – 48 с.
2. Елькин В.К. Исследование динамики и организация технологического процесса обработки семян : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Елькин Виталий Кузьмич. – Орджоникидзе, 1975. – 31 с.
3. Макарычев Б.А. Исследование и оптимизация структуры предприятий послеуборочной обработки зерна методом статистического моделирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Москва, 1976. – 30 с.

4. Сидорчук О.В. Інженерія машинних систем. Монографія. [Текст] / О.В. Сидорчук. – К.: ННЦ "ІМЕСГ" УААН, 2007. – 263 с.
5. Котов Б.І. Системно-проектний підхід до управління комплексом машин на току / Б.І. Котов, С.П. Степаненко, В.О. Швидя / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – Вип. 12, т. 5. – С. 78–85.
6. Бусленко Н.М. Моделирование сложных систем / Н.М. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 401 с.
7. Бусленко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем / Н.М. Бусленко. – М.: Наука, 1977. – 240 с.
8. Завалишин Ф.С. Методы исследования по механизации сельскохозяйственного производства / Ф.С. Завалишин, М.Г. Мацнев. – М.: Колос, 1982. – 231 с.

*В статье приведен математическое и алгоритмическое описание имитационной модели технологического процесса послеуборочной обработки зерна в условиях тока, применен системно-проектный подход к управлению системой машин для послеуборочной обработки зерна.*

***Зерно, моделирование, обработка, ток.***

*The paper presents mathematical and algorithmic description of simulation model of process of post-harvest grain handling in threshing floor applied system-design approach to the management of the system of machines for post-harvest grain.*

***Grain, modeling, treatment, threshing floor.***

УДК 519.21

## **УМОВИ ІСНУВАННЯ РОЗВ'ЯЗКІВ ЛІНІЙНОЇ СИСТЕМИ З ПРЯМОКУТНОЮ МАТРИЦЕЮ КОЕФІЦІЄНТІВ**

***Р.Ф. Овчар, кандидат фізико-математичних наук***

*Запропоновано алгоритм знаходження умов існування і побудови розв'язків лінійної системи з прямокутною матрицею коефіцієнтів. Наведено приклад, який ілюструє основні теоретичні твердження даної статті.*

***Лінійна система з прямокутною матрицею коефіцієнтів, ядро оператора, ортопроектор, фундаментальна матриця.***

**Постановка проблеми.** Розглядається наступна задача: знайдемо умови існування і побудови розв'язків лінійної системи з

© Р.Ф. Овчар, 2012