Національна академія аграрних наук

Національний науковий центр
“Інститут механізації та електрифікації сільського господарства”

РАЦІОНАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ МАШИН ДЛЯ ЗБИРАННЯ ТА ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ УРОЖАЮ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

1. ДНЕСЬ Віктор Ігорович – кандидат технічних наук, в.о. зав.відділу, ННЦ «ІМЕСГ»
2. СКІБЧИК Володимир Іванович – кандидат технічних наук, наук. співроб. ННЦ «ІМЕСГ»
3. ШВИДЯ Віктор Олександрович – кандидат технічних наук, докторант, ННЦ «ІМЕСГ»

Глеваха 2018

МЕТА РОБОТИ: підвищення ефективності технологічних процесів у рослинництві завдяки використанню раціональних комплексів машин, які обґрунтовані на підставі узгодження параметрів технічного оснащення цих процесів із характеристиками виробничих планів з урахуванням мінливості агрометеорологічних умов.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ – технологічні процеси збирання й післязбиральної обробки зерна ранніх зернових культур, машини та обладнання для виконання цих процесів, характеристики потоків зерна на пункти його післязбиральної обробки.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ – функціональні показники технологічних процесів збирання та післязбиральної обробки зерна ранніх зернових культур, їх статистичні закономірності та залежність від параметрів відповідних технологічних комплексів машин за заданих характеристик виробничих планів та стохастичного впливу агрометеорологічних умов.

НАУКОВА НОВИЗНА ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ:

– розроблено метод системного обґрунтування параметрів зернозбирально-транспортних комплексів на основі статистичного імітаційного моделювання технологічних систем збирання ранніх зернових культур, який враховує сукупний вплив характеристик виробничих планів і параметрів комбайнової та транспортної складових цих систем на функціональні показники механізованих технологічних процесів збирання за стохастичного впливу агрометеорологічних умов;

– розроблено системно-проектний підхід до дослідження технологічних систем обслуговування багатономенклатурних потоків урожаю зернових культур на пункти післязбиральної обробки урожаю, який дає змогу оцінити структуру ліній післязбиральної обробки зерна та розрахувати необхідні параметри складових лінії для ефективної і продуктивної роботи в залежності від виробничих умов;

– встановлено статистичні закономірності функціональних показників технологічних процесів збирання та післязбиральної обробки урожаю ранніх зернових культур на основі статистичного імітаційного моделювання, яким системно враховуються характеристики виробничих планів їх збирання, параметри зернозбирально-транспортних комплексів і технічного оснащення пунктів післязбиральної обробки зерна, взаємовпливи означених технологічних процесів і стохастичний вплив агрометеорологічних умов;

– розроблено метод обґрунтування параметрів технічного оснащення пунктів післязбиральної обробки зерна на основі статистичного імітаційного моделювання технологічних процесів збирання та післязбиральної обробки урожаю ранніх зернових культур, який враховує системний вплив характеристик виробничих планів, параметри збирально-транспортних комплексів і технічне оснащення пунктів післязбиральної обробки урожаю на характеристики потоків зерна та інтегральні функціональні показники технологічних систем його збирання і післязбиральної обробки за стохастичних агрометеорологічних умов;

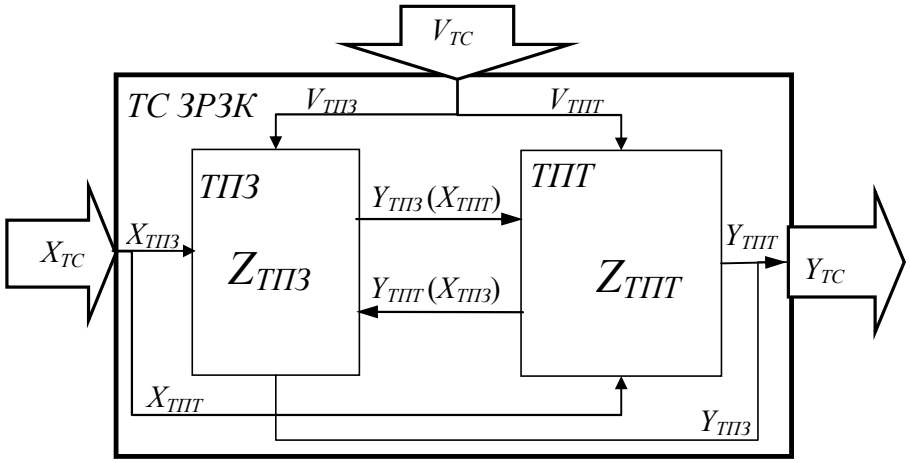
– розроблено статистичну імітаційну модель технологічних процесів післязбиральної обробки зерна ранніх зернових культур, яка системно враховує мінливість характеристик потоків зерна на відповідні пункти, зумовлену характеристиками виробничих планів збирання цих культур, параметрами збирально-транспортних комплексів, а також зворотним впливом технологічних процесів післязбиральної обробки зерна на роботу зернозбирально-транспортних комплексів за стохастичних агрометеорологічних умов;

– удосконалено метод системно-подієвого відображення технологічних процесів збирання ранніх зернових культур, який враховує стохастичну зміну середньодобової температури повітря та її вплив на час достигання ранніх зернових культур і є основою для удосконалення статистичної імітаційної моделі цих процесів;

– удосконалено статистичну імітаційну модель технологічних (зернозбирально-транспортних) процесів збирання ранніх зернових культур, яка враховує ймовірнісний характер та зв'язки між часом достигання різних видів цих зернових культур, а також зворотний вплив технологічних процесів післязбиральної обробки зерна на роботу збирально-транспортних комплексів.

1. ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ МАШИН ДЛЯ ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Системний аналіз технологічного процесу збирання ранніх зернових культур



Множина вхідних впливів ($X_{ТС ЗРЗК}$) ТС ЗРЗК складається з площ кожної із зернових культур, характеристики хлібостою та полів на яких він знаходиться:

$$X_{ТС ЗРЗК} = \begin{pmatrix} K_1, S_1, l_1, L_1, i_1, U_1, \delta_1 \\ K_2, S_2, l_2, L_2, i_2, U_2, \delta_2 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ K_p, S_p, l_p, L_p, i_p, U_p, \delta_p \end{pmatrix}$$

$$Z_{opt} = f(X_{ТС ЗРЗК}, Y_{ТС ЗРЗК}, V_{ТС ЗРЗК}, T) \text{ за умови } Y \to extr$$

Враховуючи структуру ТС ЗРЗК, можна сказати, що множина внутрішніх станів ($Z_{ТС\ ЗРЗК}$) складається з двох підмножин, які характеризують, відповідно збиральну ($Z_{ТПЗ}$) і транспортну ($Z_{ТПЗ}$) підсистеми:

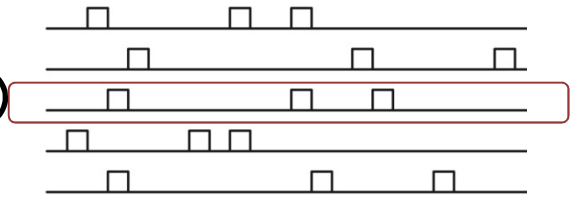
$$Z_{ТС ЗРЗК} = \begin{pmatrix} P_1, q_1, B_1, V_1, m_1 \\ P_2, q_2, B_2, V_2, m_2 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ P_k, q_k, B_k, V_k, m_k \end{pmatrix} \bigcup \begin{pmatrix} Q_1, V_1, \upsilon_1 \\ Q_2, V_2, \upsilon_2 \\ \dots\dots\dots \\ Q_a, V_a, \upsilon_a \end{pmatrix}$$

Множина впливів зовнішнього середовища ($V_{ТС ЗРЗК}$) зводиться до агрометеорологічних умов, характер впливу яких зумовлюється географічним розташуванням господарства

$$V_{ТС ЗРЗК} = (\theta(\tau), f(t_{пп}), f(t_{нп})) \bigcup \begin{pmatrix} D_{пов.MAX1} & D_{пов.MAX2} & \dots D_{пов.MAX\tau} \\ t_{з.р.1} & t_{з.р.2} & \dots \quad t_{з.р.\tau} \\ t_{п.р.1} & t_{п.р.2} & \dots \quad t_{п.р.\tau} \end{pmatrix}$$

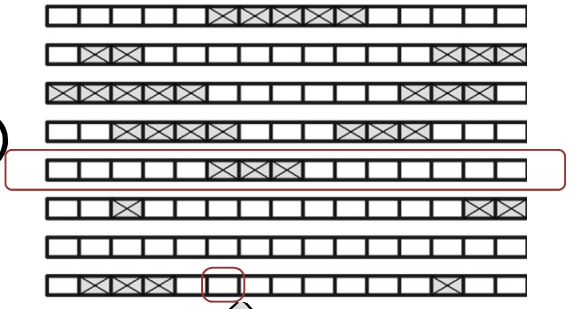
Графічна інтерпретація моделювання технологічного процесу збирання

1



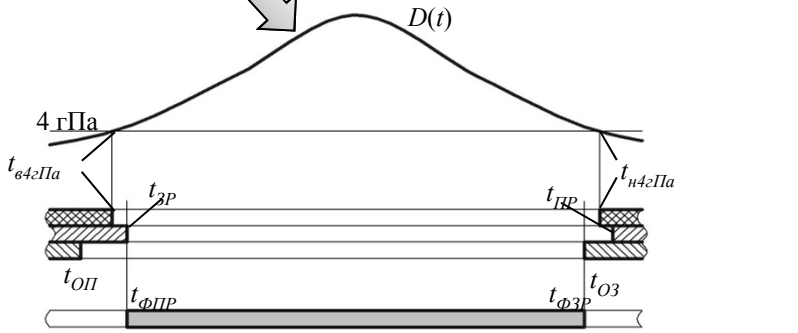
ВАРІАНТИ ДОСТИГАННЯ КУЛЬТУР НА ПОЛЯХ

2



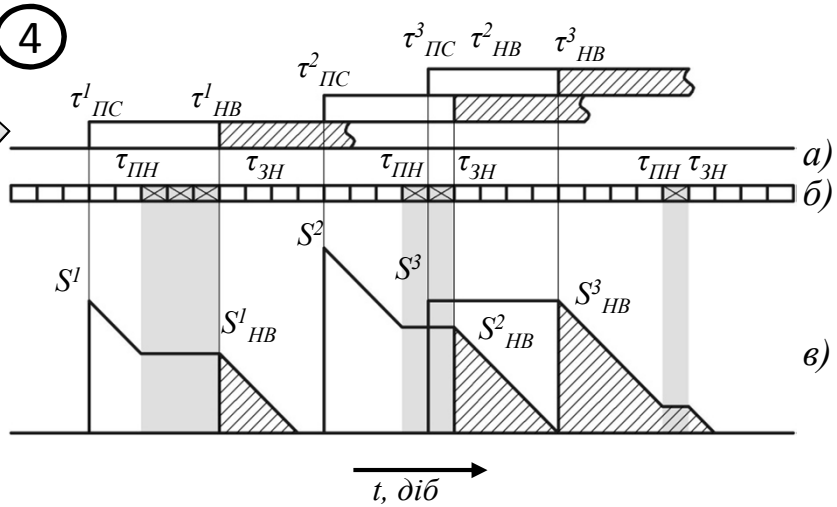
ВАРІАНТИ ПОГОЖИХ І НЕПОГОЖИХ ПРОМІЖКІВ ЧАСУ

3



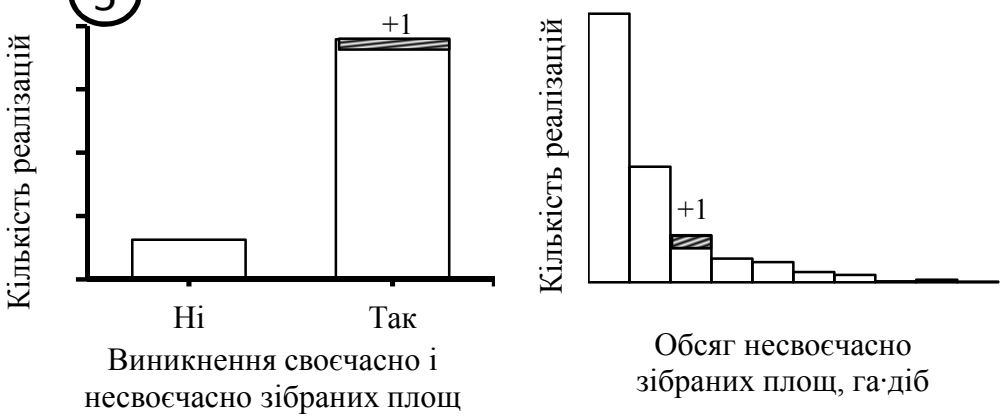
ФОРМУВАННЯ ФАКТИЧНОГО ДОБОВОГО ФОНДУ ЧАСУ ЗБИРАННЯ

4



ГРАФІЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ: події з достигання культур на полях (а), непогожих інтервалів часу (б) та їх вплив на функціонування ТС ЗРЗК (в): $\tau_{ПС}$ і $\tau_{НВ}$ – відповідно час настання повної стиглості культури та втрат урожаю на полі; $\tau_{ПН}$ і $\tau_{ЗН}$ – відповідно час початку та завершення непогожих інтервалів часу; S і $S_{НВ}$ – відповідно своєчасно та несвоєчасно зібрані площі на полі

5



ОЦІНЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ

Метод прогнозування часу достигання ранніх зернових культур

Дата початку фази повної стиглості:

$$\tau_{пс}^{k} = f\left(\tau_{ДПВВ}^{k}, T_{акт.біол}^{k}, T_{\min.біол}^{k}, \theta(\tau)\right)$$

Дата початку весняної вегетації:

$$\tau_{ДПВВ}^{k} = \begin{cases} \tau_{ДВВВ}^{k}, & \text{для озимих} \\ \tau_{c}^{k}, & \text{для ярих} \end{cases}$$

Дата сівби культури:

$$\tau_{c} = \max(\tau_{T_{\min.гр}^{k}}, \tau_{ФСГ})$$

Функція зміни середньодобових температур задається множиною можливих станів $\{S\}$, початковим станом S_0, а також матрицею перехідних ймовірностей P:

$$\theta(\tau) = \left\{S_0, \{S^d\}, P\right\}$$

Початковий стан S_0 характеризується значенням середньодобової температури повітря станом на можливий початок вегетації (1 березня):

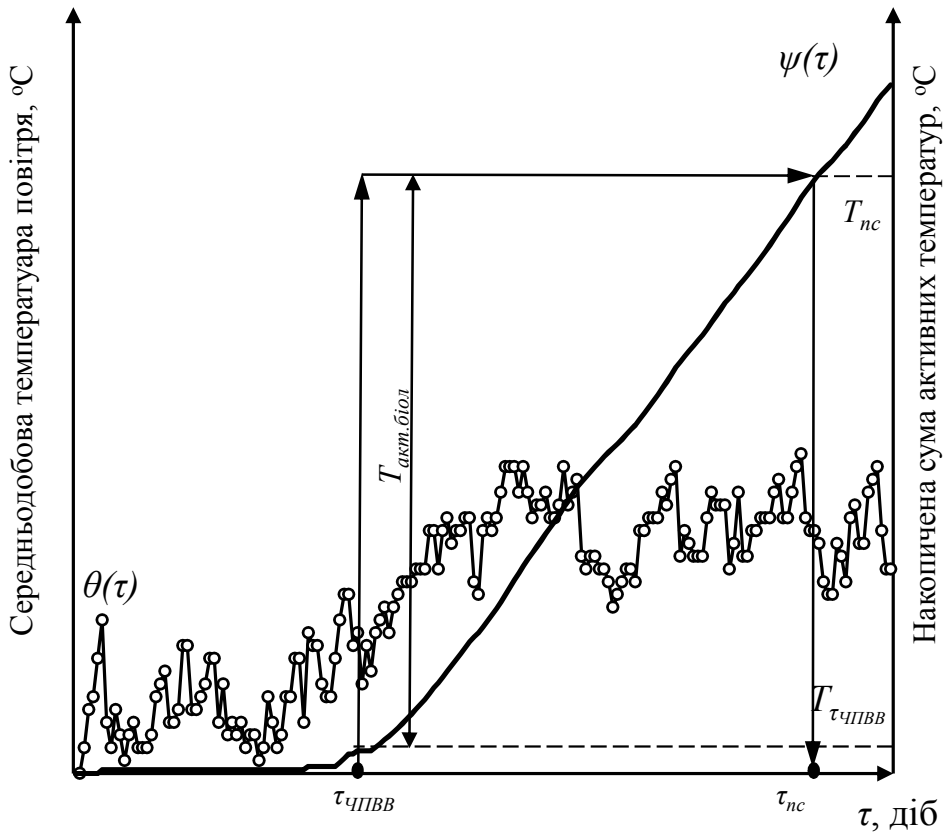
$$S_0 = f(T_{с.д.}^{1бер})$$

Множина можливих станів:

$$S^d = \{T_1^d, T_2^d, \ldots, T_i^d\}$$

Для кожного з d-ї декади, за статистичними даними, будуються матриці перехідних ймовірностей виду

$$P^d = \begin{array}{c|cccc|} & T_1 & T_2 & \ldots & T_i \\ T_1 & p_{11} & p_{12} & \ldots & p_{1i} \\ T_2 & p_{21} & p_{22} & \ldots & p_{2i} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ T_i & p_{i1} & p_{i2} & \ldots & p_{ii} \end{array}$$



ГРАФІЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ НАСТАННЯ ПОВНОЇ СТИГЛОСТІ КУЛЬТУРИ

Метод обґрунтування параметрів ЗТК

Раціональні параметри ЗТК відображаються такими складовими: 1) числом комбайнів N_k; 2) їх потужністю P_k; 3) числом N_a автомобілів; 4) їх вантажністю q_a; 5) кількість комбайнерів (n_k) та шоферів ($n_ш$):

$$Z_{TC}^{P} = \{N_k, P_k, N_a, q_a, n_k, n_ш\}$$

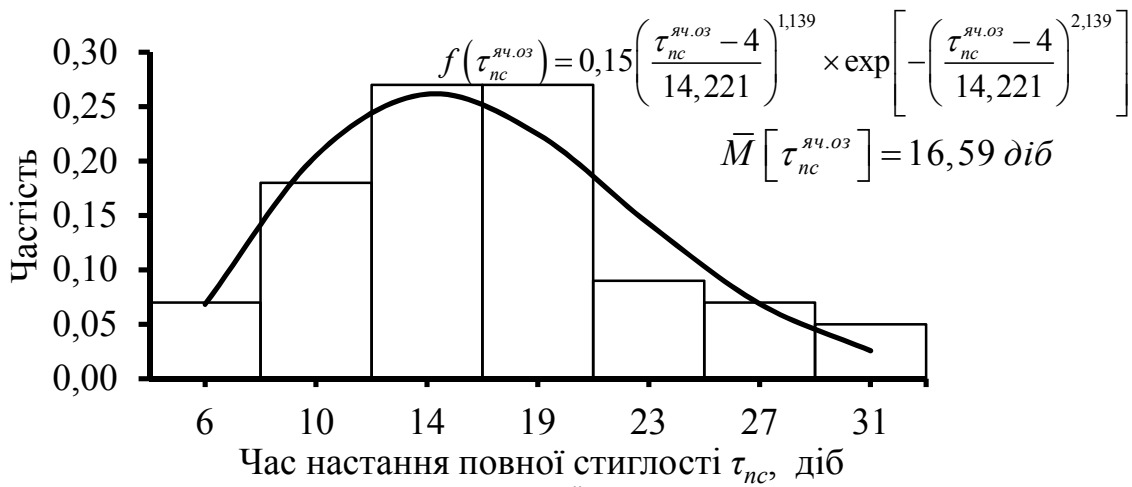
На основі статистичного імітаційного моделювання ТП ЗРЗК для кожного варіанту комбайнового забезпечення визначають раціональні параметри Z_r^P ЗТК. У цьому разі розв'язується відповідна задача на основі функціонала:

$$\Phi\left[Z_r^P \leftrightarrow X_n\right] = B_У + З_{ТП} \to \min$$

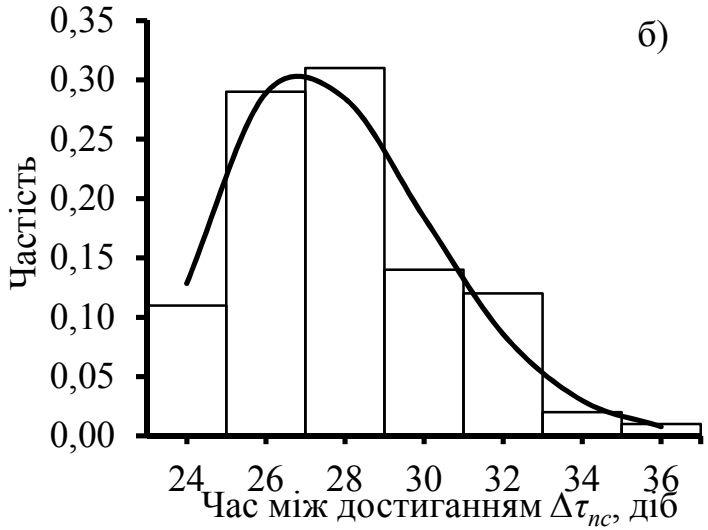
де X_n – характеристики виробничого плану; $B_У$– питоме вартісне оцінення втрат вирощеного врожаю через несвоєчасність збирання грн/га; $З_{ТП}$ – зведені питомі витрати коштів у технологічному процесі збирання та транспортування зерна ранніх зернових культур, грн/га.

№	Основні етапи методу обґрунтування раціональних параметрів ЗТК	Підстава означеного стану
1	Визначення напруженого періоду ТП ЗРЗК за відомих характеристик виробничого плану	Часова нерівномірність достигання ранніх зернових культур зумовлює напружені періоди ТП ЗРЗК, які визначають максимальні параметри ЗТК
2	Означення варіантів комбайнового забезпечення ЗТК	Наявність на ринку зернозбиральних комбайнів різної потужності унеможливлює однозначне визначення раціональних параметрів ЗТК
3	Визначення для кожного варіанта комбайнового забезпечення числа комбайнів для напруженого періоду ТП ЗРЗК	Параметри комбайнового забезпечення ЗТК визначаються потужністю комбайнів.
4	Обгрунтування числа автомобілів для кожного варіанту комбайнового забезпечення ЗТК для напруженого періоду ТП ЗРЗК	Потреба в автомобілях залежить від параметрів комбайнового забезпечення ЗТК
5	Визначення функціональних показників ТП ЗРЗК упродовж збирального сезону для кожного варіанту комбайнового забезпечення ЗТК	Функціональні показники ТП ЗРЗК залежать від характеристик виробничих планів збирання ранніх зернових культур та параметрів ЗТК, зокрема параметрів комбайнового забезпечення.
6	Визначення раціональних параметрів ЗТК для кожного варіанту комбайнового забезпечення	Для заданих характеристик виробничого плану існують раціональні параметри ЗТК
7	Обгрунтування раціонального варіанту та параметрів комбайнового та транспортного забезпечення ЗТК	Для заданих характеристик полів виробничого плану з-поміж множини варіантів комбайнового забезпечення існує раціональний

Результати прогнозування часу достигання ранніх зернових культур



РОЗПОДІЛ ЧАСУ НАСТАННЯ ПОВНОЇ СТИГЛОСТІ ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО (ВІДНОСНО 30 ЧЕРВНЯ)

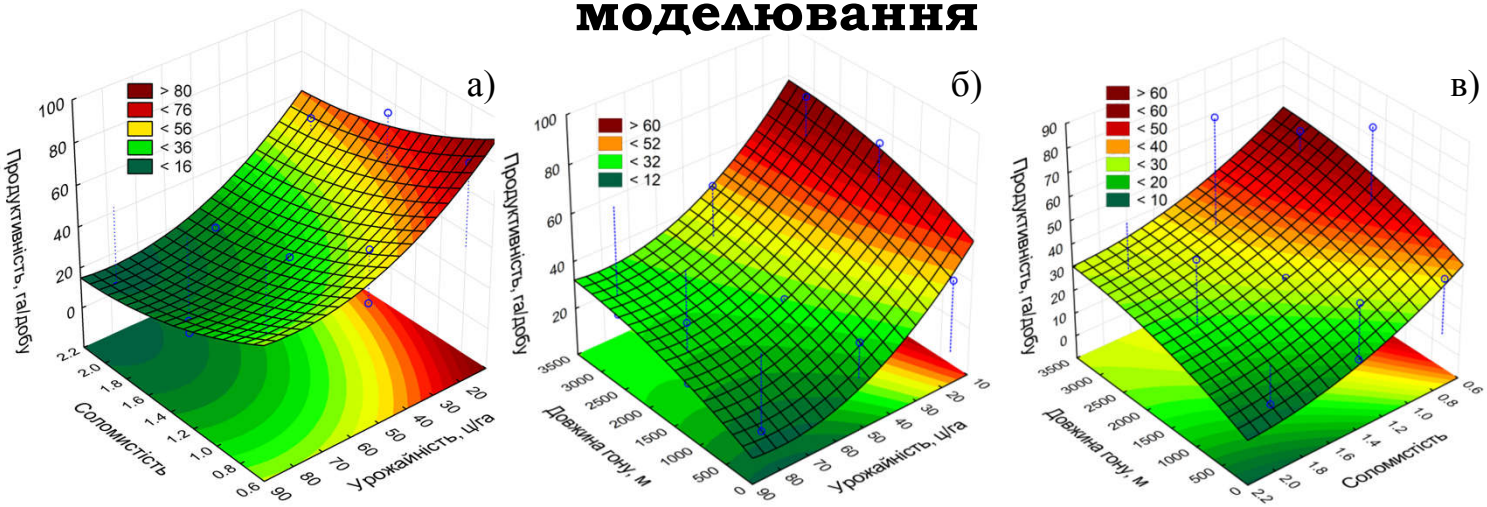


РОЗПОДІЛИ ЧАСУ МІЖ ДОСТИГАННЯМ ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО ТА ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ (а) ТА ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО ТА ВІВСА (б)

Статистичні характеристики та розподіли зміщення часу достигання ранніх зернових культур відносно першої культури (ячменю озимого) виробничого плану СГТ

Культура	Оцінка математичного сподівання	Оцінка середньо-квадратичного відхилення	Теоретичний закон розподілу	χ^2
Пшениця озима	13.47	1.31	Нормальний	3,742
Жито озиме	17.34	1.63	Нормальний	6,505
Ячмінь ярий	18.45	1.91	Нормальний	5,906
Пшениця яра	25.37	2.37	Вейбула	2,500
Овес	28.41	2.60	Вейбула	3,927

Результати дослідження добової продуктивності комбайнів за допомогою статистичного імітаційного моделювання



ЗАЛЕЖНІСТЬ ОЦІНОК МАТЕМАТИЧНОГО СПОДІВАННЯ ДОБОВОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ КОМБАЙНА TUCANO 440 ВІД ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕДМЕТНОГО СЕРЕДОВИЩА:

а) соломистості і урожайності; б) довжини гону і урожайності; в) довжини гону і соломистості

Залежності оцінок математичного сподівання добової продуктивності для різних зернозбиральних комбайнів від умов використання (характеристик полів та зерностеблостою).

•для комбайна Нива-Эффект –

$$\bar{M}\left[W_{доб}\right] = 65.998 + 0.007U^2 - 1.029U - 14.192\delta + 0.003L \qquad R^2 = 0,87$$

•для комбайна КЗС-9-1 «Славутич» –

$$\bar{M}\left[W_{доб}\right] = 89,8160 + 0,009U^2 - 1,372U - 18,409\delta + 0,005L \qquad R^2 = 0,92$$

•для комбайна Tucano 440 (Claas) –

$$\bar{M}\left[W_{доб}\right] = 101,793 + 0,009U^2 - 1,514U - 19,894\delta + 0,007L \qquad R^2 = 0,92$$

•для комбайна Lexion 670 (Claas) –

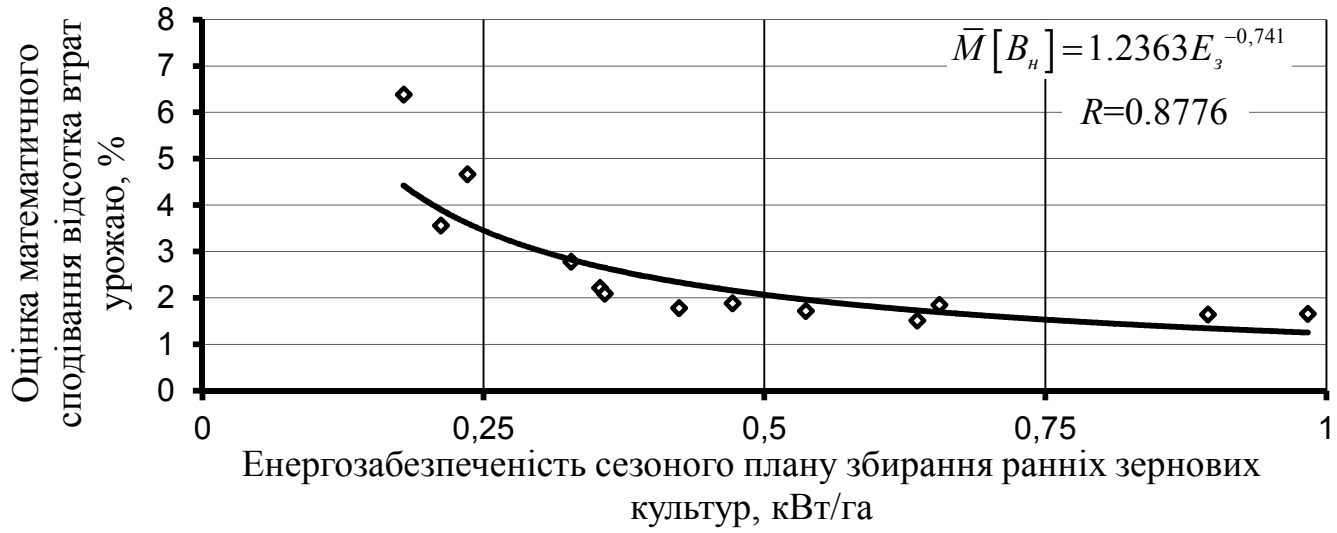
$$\bar{M}\left[W_{доб}\right] = 116,870 + 0,010U^2 - 1,668U - 23,894\delta + 0,008L \qquad R^2 = 0,92$$

де U – урожайність зернової культури, ц/га; δ – соломистість; L – довжина гону, м

Характеристики виробничого плану та залежність оцінки математичного сподівання відсотка втрат вирощеного урожаю від його енергозабезпеченості

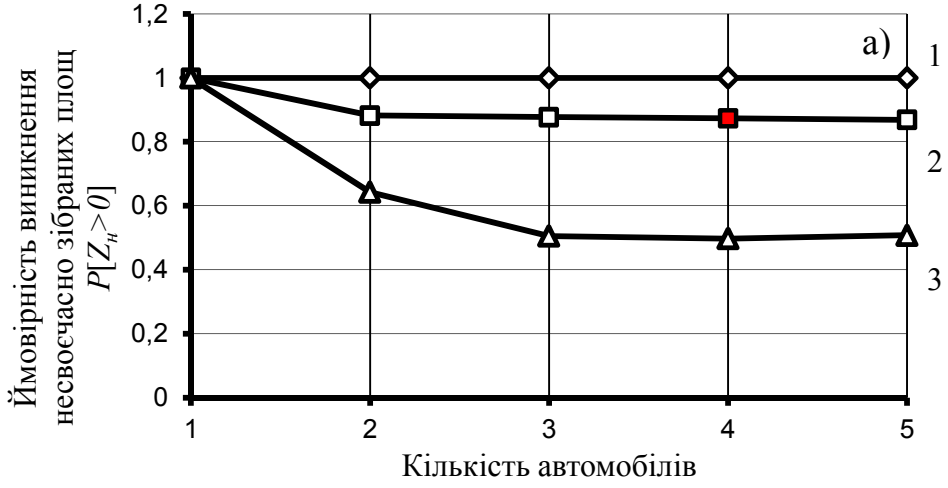
ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИРОБНИЧОГО ПЛАНУ ЗБИРАННЯ РАННІХ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Культура	Площа, га	Урожайність, ц/га	Соломи-стість	Довжина гону, м	Вартість культури, у.о./т	Відсоток втрат урожаю, %/добу	Середня віддаль перевезень, км
Пшениця озима	314	18,4	1:1.5	2299	122.85	1,90	3
Жито озиме	90	25,1	1:1.3	911	82.99	1,90	3
Пшениця яра	67	21,2	1:1.5	772	122.85	1,90	3
Ячмінь ярий	157	18,4	1:1.6	1327	113.50	1,78	3
Овес	337	13,6	1:1.8	2438	107.69	1,69	3
ВСЬОГО	**965**						

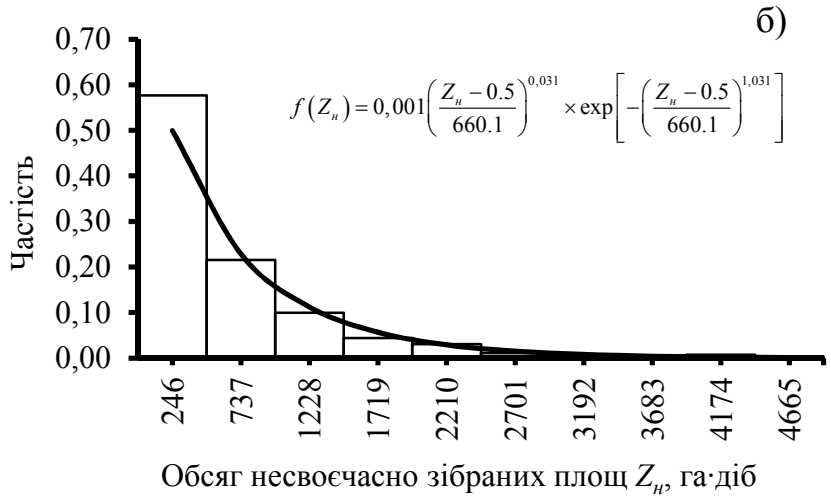


ЗАЛЕЖНІСТЬ ОЦІНКИ МАТЕМАТИЧНОГО СПОДІВАННЯ ВІДСОТКА ВТРАТ ВИРОЩЕНОГО УРОЖАЮ ВІД ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ СЕЗОННОГО ПЛАНУ ЗБИРАННЯ ЗА ІДЕАЛІЗОВАНОЇ РОБОТИ ТПТ

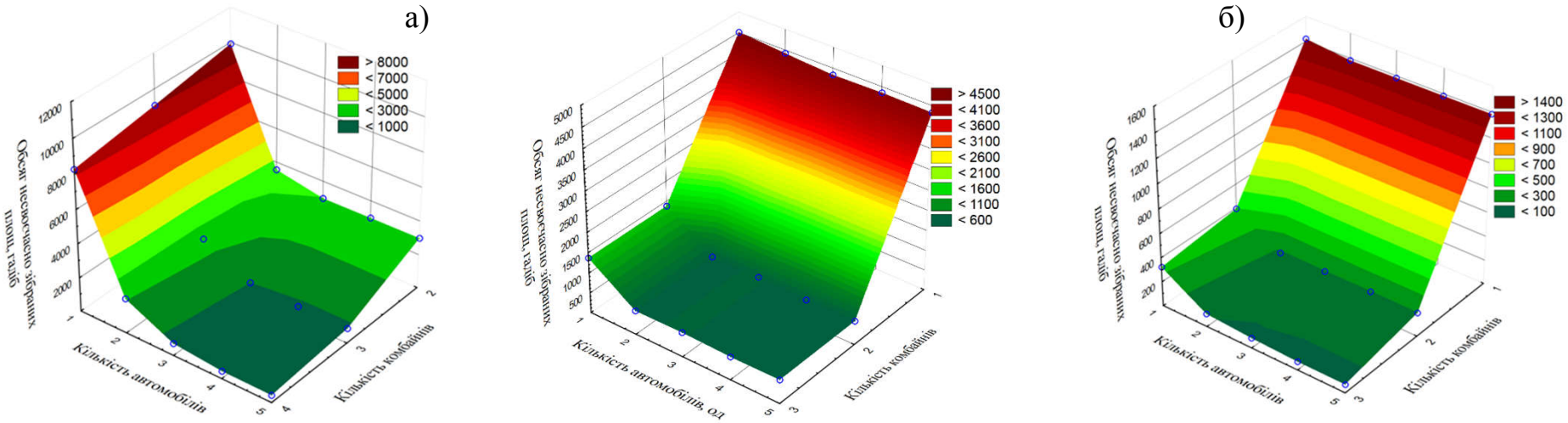
Імовірність виникнення та розподіл обсягів несвоєчасно зібраних площ



ЗАЛЕЖНІСТЬ ЙМОВІРНОСТІ ВИНИКНЕННЯ НЕСВОЄЧАСНО ЗІБРАНИХ ПЛОЩ ЗА КОМПЛЕКТУВАННЯ ЗТК НА БАЗІ КОМБАЙНА КЗС-9-1 «СЛАВУТИЧ»: 1, 2, 3 – число комбайнів

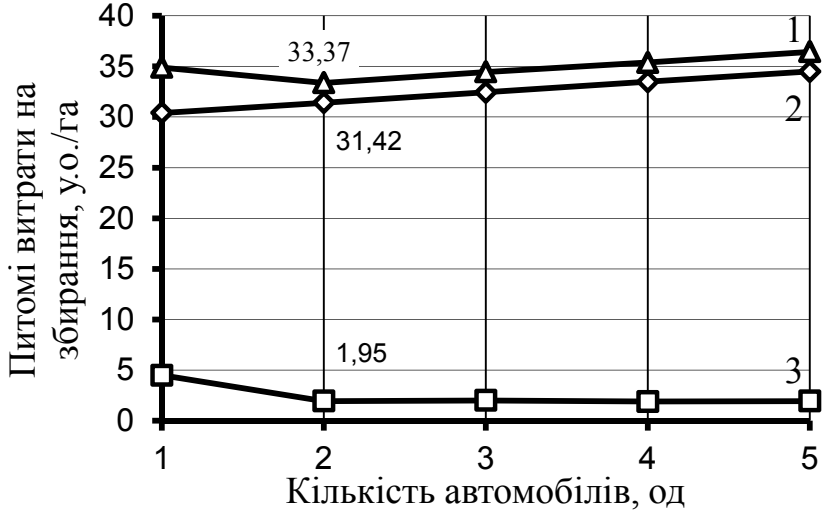


РОЗПОДІЛИ ОБСЯГУ НЕСВОЄЧАСНО ЗІБРАНИХ ПЛОЩ ЗА УМОВИ РОБОТИ ЗТК У СКЛАДІ КЗС-9-1 «СЛАВУТИЧ» (2 од) та МАЗ-4581 (4 од) (б)



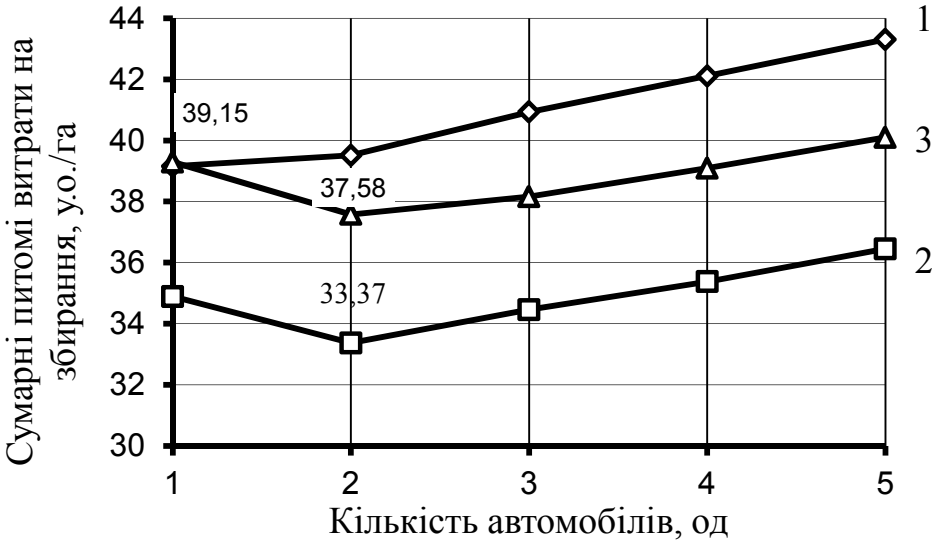
ЗАЛЕЖНІСТЬ СЕРЕДНЬОГО УЗАГАЛЬНЕНОГО ОБСЯГУ НЕСВОЄЧАСНО ЗІБРАНИХ ПЛОЩ ДЛЯ ЗТК НА БАЗІ КОМБАЙНА НИВА-ЕФЕКТ (а) ТА CLAAS LEXION 670 (б)

Вартісні показники технологічного процесу збирання за різних параметрів ЗТК



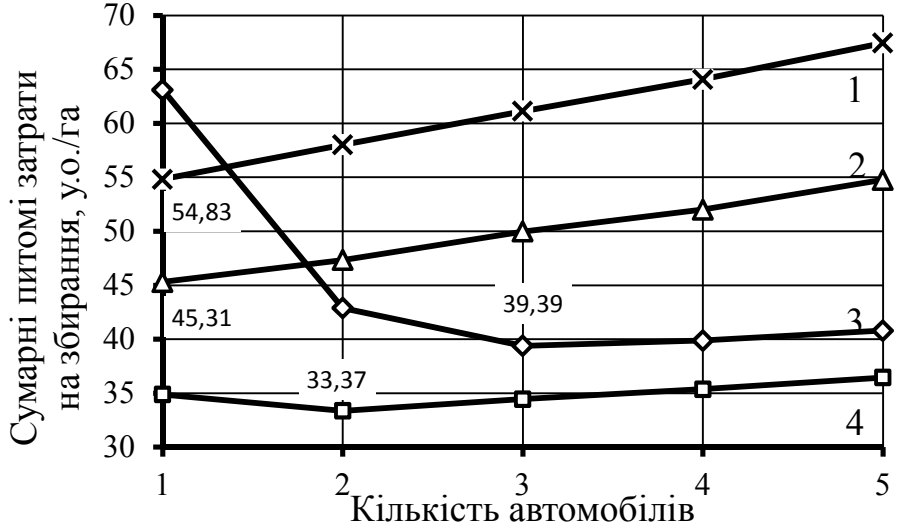
ЗМІНА ВИТРАТ КОШТІВ НА ЗБИРАННЯ ДЛЯ ЗТК У СКЛАДІ КЗС-9-1 «СЛАВУТИЧ» (2 од) – МАЗ-4581 (2 од.):

1 – сумарні питомі зведені затрати коштів; 2 – питомі прямі експлуатаційні затрати; 3 – питома вартість втрат вирощеного урожаю



ЗМІНА СУМАРНИХ ПИТОМИХ ВИТРАТ КОШТІВ НА ЗБИРАННЯ ДЛЯ ЗТК У СКЛАДІ КЗС-9-1 «СЛАВУТИЧ»:

1, 2, 3 – кількість комбайнів

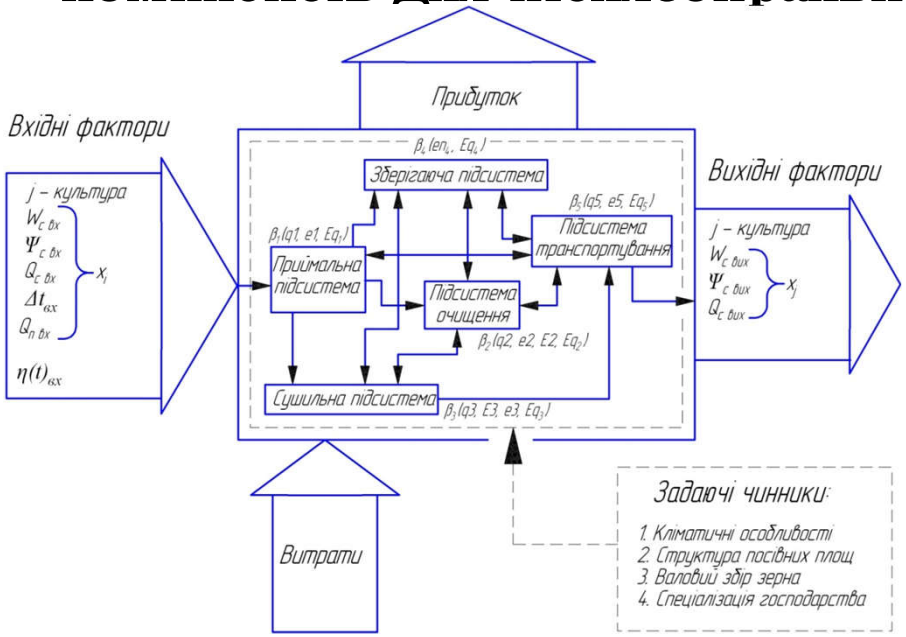


ЗМІНА СУМАРНИХ ПИТОМИХ ВИТРАТ КОШТІВ НА ЗБИРАННЯ ДЛЯ РІЗНИХ ВАРІАНТІВ КОМПЛЕКТУВАННЯ:

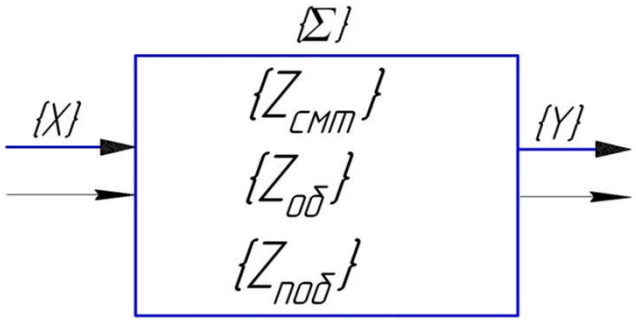
1) Claas Lexion 670 (1 од.) – КамАЗ-65115 ;
2) Claas Tucano 440 (1од)– КамАЗ-43225-6010 ;
3) Нива-Ефект (3 од.) – ГАЗ-33106;
4) КЗС-9-1 «Славутич» (2 од.) – МАЗ-4581.

2. ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ МАШИН ДЛЯ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Системний підхід до обгрунтування раціональних комплексів для післязбиральної обробки зернових культур



Системний аналіз структури технологічної системи післязбиральної обробки зерна



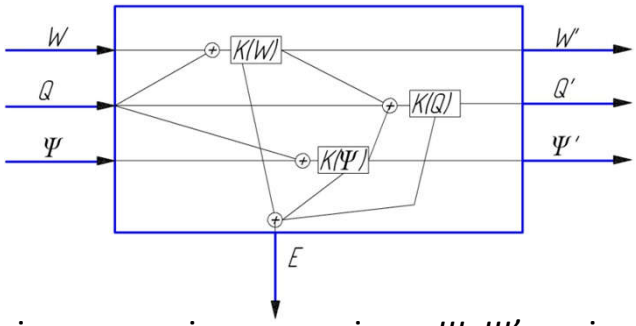
{X}, {Y} – множини вхідних чинників та вихідних характеристик; $\{Z_{смт}\}$, $\{Z_{об}\}$, $\{Z_{поб}\}$ – множини параметрів головної, обслуговуючої та побутової підсистем

Математична модель виробничого процесу

$$\begin{cases} \Delta З_{оп}(j) = f_1(x_j, \beta) \\ З_{сп}(j) = \sum_{j+1}^{j} \Delta З_{оп}(t) \\ W_c вих(j) = f_2(x_j, \beta) \\ \Psi_c вих(j) = f_2(x_j, \beta) \\ Q_c вих(j) = f_4(x_j, \beta) \\ \Delta Q(j) = Q_c вих(j) \cdot \Delta t \\ Q_{ces}(j) = \sum_{i+1}^{K} \Delta Q(\varepsilon) \end{cases}$$

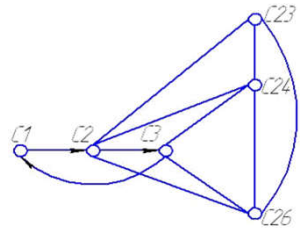
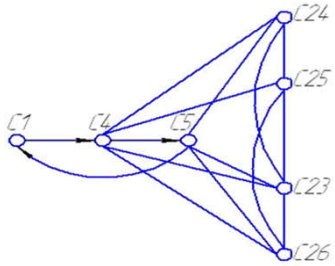
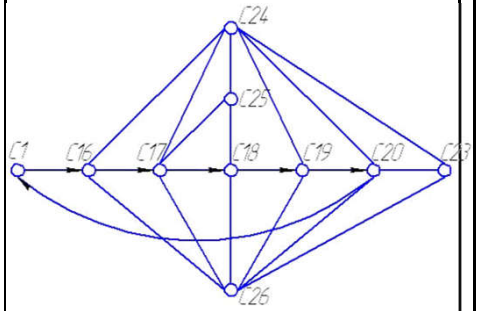
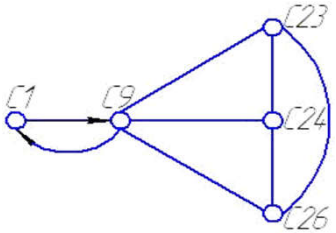
де $\Delta з_{оп}(j)$ — величина оцінки якості процесу; x_j — сукупність параметрів зернової суміші; *в* — сукупність параметрів технологічної лінії; $Q_{ces}(j)$ — загальна кількість зерна, обробленого на *j*-том проміжку Δt; *ΔQ(j)* — кількість зерна, обробленого на *j*-том проміжку Δt.

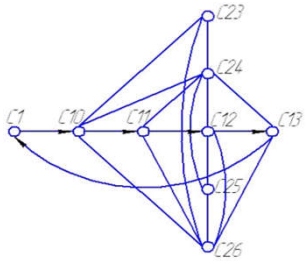
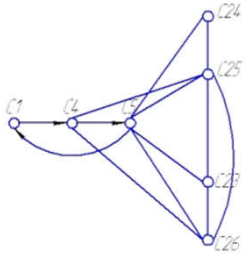
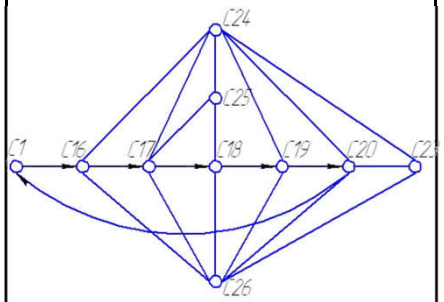
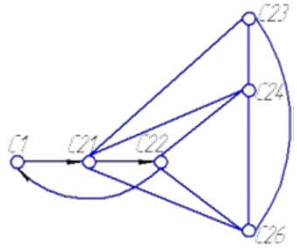
Модель функціонування технологічної системи післязбиральної обробки зерна



W, W' – вхідна та вихідна вологість; *Ψ, Ψ'* – вхідна та вихідна засміченість; *Q, Q'* – інтенсивність надходження та швидкість оброблення зернового збіжжя технологічною системою; *E* – енерговитрати; *K(W)* – передаточна функція вологості; *K(Ψ)* – передаточна функція засміченості; *K(Q)* – передаточна функція швидкості оброблення зернового збіжжя

Аналіз станів складових технологічної системи післязбиральної обробки зернових культур

Підсистема	Обладнання	Граф
Т1 - «Формування зерна току»	Зважування (ваги) – (C_2) Зерометач (C_3)	
Т2 – «Попереднє очищення зерна в буртах на току» Т21 – «Попереднє очищення» Т22 – «Завантаження зерна на автомобіль з буртів»	Машина попереднього очищення зерна (C_4) Зерометач (C_5)	
Т3 – «Попереднє очищення зерна в комплексі» Т31 – «Транспортування зерна на попереднє очищення в комплексі» Т32 – «Подача зерна на попереднє очищення» Т33 – «Попереднє очищення в комплексі»	Автомобіль (C_6) Ковшовий елеватор (норія) (C_7) Скальператор (C_8)	
Т4 – «Аспірація зерна»	Система аспірації зерна (C_9)	

Підсистема	Обладнання	Граф
Т5 – «Сушіння зерна» Т51 – «Транспортування зерна на сушіння» Т52 – «Подача зерна в сушарку» Т53 – «Сушіння зерна» Т54 – «Контроль якості зерна»	Автомобіль (C_{10}) Ковшовий елеватор (норія) (C_{11}) Зерносушарка (C_{12}) Система контролю якості зерна (C_{13})	
Т6 – «Первинне очищення зерна» Т61 – «Транспортування зерна на первинне очищення» Т62 – «Первинне очищення зерна»	Закритий скребковий транспортер (C_{14}) Сепаратор (C_{15})	
Т7 – «Вторинне очищення зерна» Т71 – «Транспортування зерна на вторинне очищення» Т72 – «Вторинне очищення зерна» Т73 – «Відвантаження відходів з комплексу»	Ковшовий елеватор (C_{16}) Трієр (C_{17}) Швидкодіюча задвижка (C_{18}) Транспортер (C_{19}) Автомобіль (C_{20})	
Т8 – «Складування зерна» Т81 – «Складування зерна в зерносховищі» Т82 – «Транспортування зерна в силос»	Автомобіль (C_{21}) Ковшовий транспортер (C_{22})	

Математичні моделі технологічної та економічної ефективності комплексів для післязбиральної обробки зернових культур

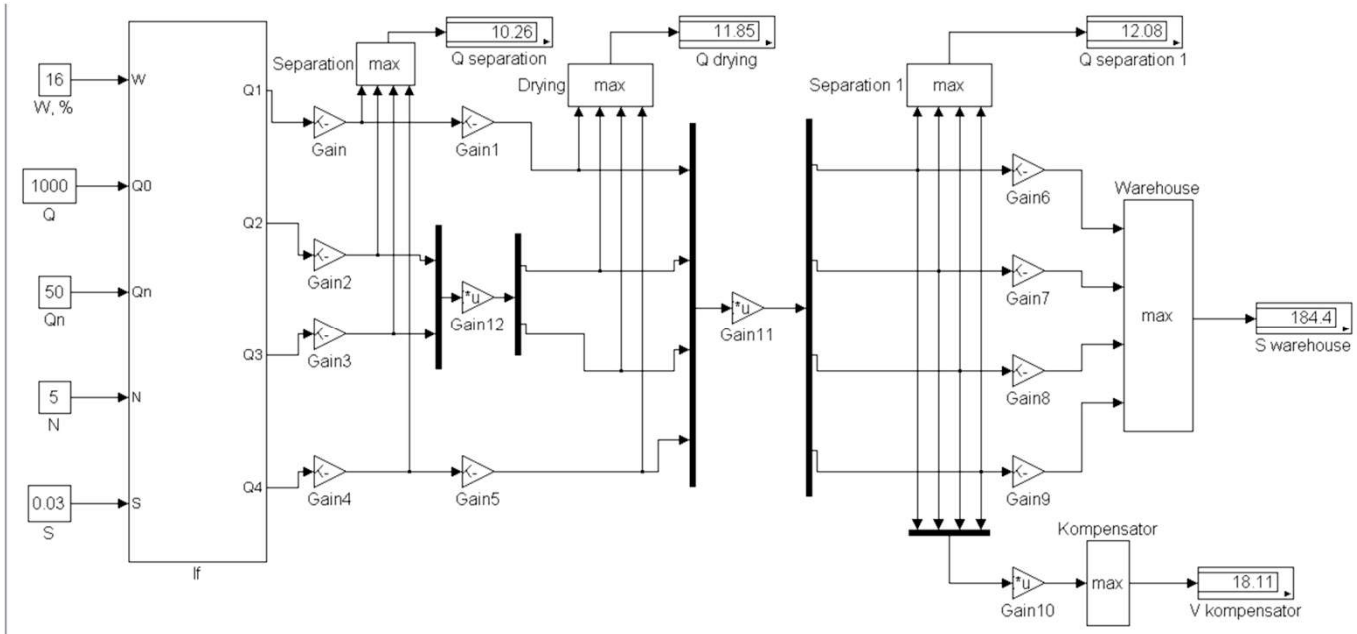
$$E_{\text{тех еф}} = \begin{Bmatrix} C_i & B_{oi} \\ l_{pi} & K_{\delta(x)} \end{Bmatrix} \cdot e^{-\begin{Bmatrix} \delta(T) & \gamma(T) & w(T) \\ f_E & f_{Vi} & f_\alpha \end{Bmatrix} \cdot \lambda \cdot T \cdot \prod_{j=1}^{n} Q_j}$$

$$B_{\text{вит}} = \begin{Bmatrix} C_i & B_{oi} \\ l_{pi} & K_{\delta(x)} \end{Bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \delta(T) & \gamma(T) & w(T) \\ f_E & f_{Vi} & f_\alpha \end{Bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \sum_{j=1}^{n} M_{Ej} \\ \sum_{j=1}^{n} M_{Mj} \end{Bmatrix} \cdot \sum_{j=1}^{n} N_j \cdot \frac{\sum_{j=1}^{n} U_{\text{ст}j}}{\sum_{j=1}^{n} U_{\text{ун}j}} \cdot \prod_{j=1}^{n} E_{\text{ерг}\,i} \cdot \Pi_{\text{Тб}}[\alpha_{1\delta}(x), \alpha_{4\delta}(x), b_{c\delta}(x)]$$

C_i – комбінаторна функція типу машин, які складають зернокомплекс;
B_{oi} – комбінаторна функція технології виконання процесу післязбиральної обробки зерна ланками зернокомплексу;
l_{pi} – питомі енергетичні витрати ланок зернокомплексу;
$K_{\delta(x)}$ – комбінаторна функція схеми зернокомплексу;
$\delta(T)$, $\gamma(T)$, $w(T)$ – динамічні функції засміченості, гранулометричного складу та вологості оброблюємої зернової маси, відповідно;
f_E, f_{Vi}, f_α – щільність розподілення багатономенклатурності зернового потоку, швидкості вітання компонентів, гранумолетричного складу, відповідно;
M_{Ej} – питома енергоємність типу машин, які складають зернокомплекс, кВт·год/т;
M_{Mj} – питома матеріалоємність типу машин, які складають зернокомплекс, кг·год/т;
N_j – енергоспоживання типу машин, які складають зернокомплекс, кВт;
$U_{стj}$ – показник стандартизації типу машин, які складають зернокомплекс;
$U_{унj}$ – показник уніфікації типу машин, які складають зернокомплекс;
$E_{ергj}$ – показник ергономічності типу машин, які складають зернокомплекс;
$П_{Тб}$ – функція, що визначає вартість втрат повноцінного зерна та якість вихідної зернової суміші;
$\alpha_{1\delta}(x)$, $\alpha_{4\delta}(x)$, $b_{c\delta}(x)$ – функція втрат зерна у відходи, вихід повноцінного зерна, вміст сміттєвих домішок у вихідній зерновій суміші, відповідно;
λ – інтенсивність надходження збіжжя до зернокомплексу, т/год;
Т – час роботи зерноклмплексу, т/год;
Q_j – продуктивності ланок, що входять до зернокомплексу, т/год.
n – кількість ланок.

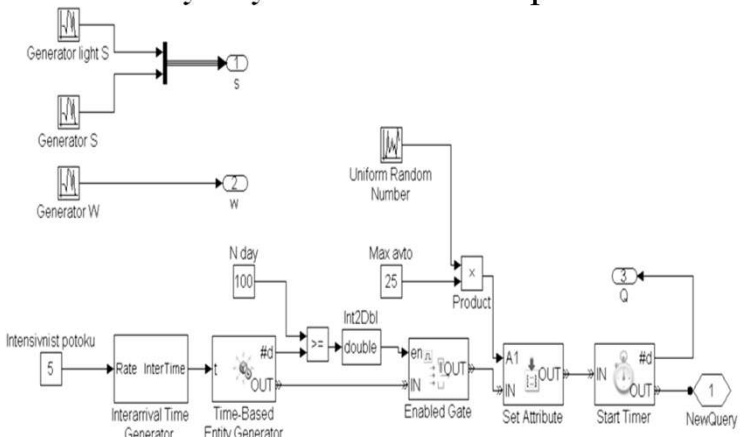
Узагальнена імітаційна модель технологічної системи післязбиральної обробки зерна

(програмне середовище Simulink)

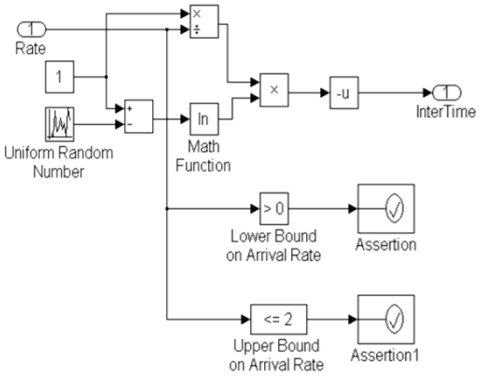


Підсистема генератора формування заявок вхідного багатономенклатурного потоку зерна

Структурна схема підсистеми формування заявок на обслуговування потоків зерна

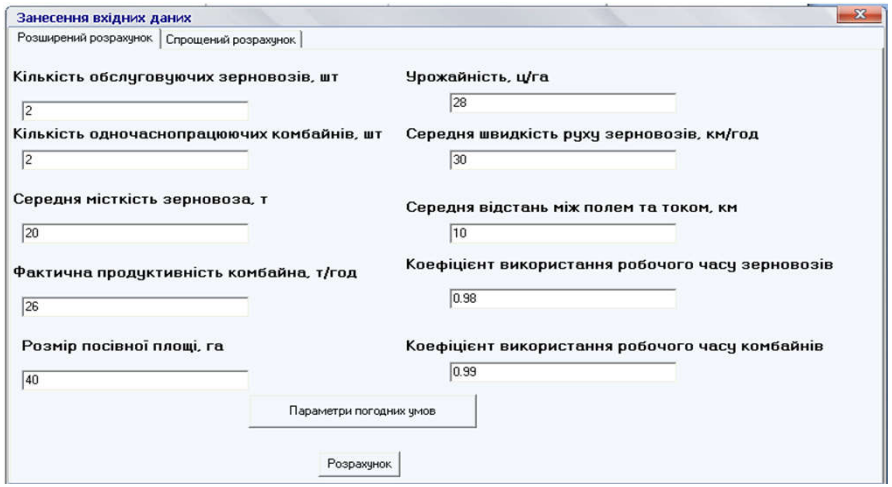


Структурна схема підсистеми Interarrival Time Generator

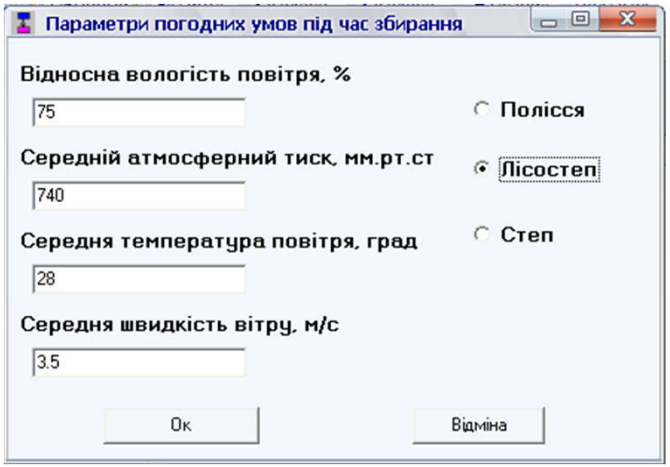


Основні компоненти інтерфейсу прикладної комп'ютерної програми для обґрунтування раціональних комплексів післязбиральної обробки зернових культур

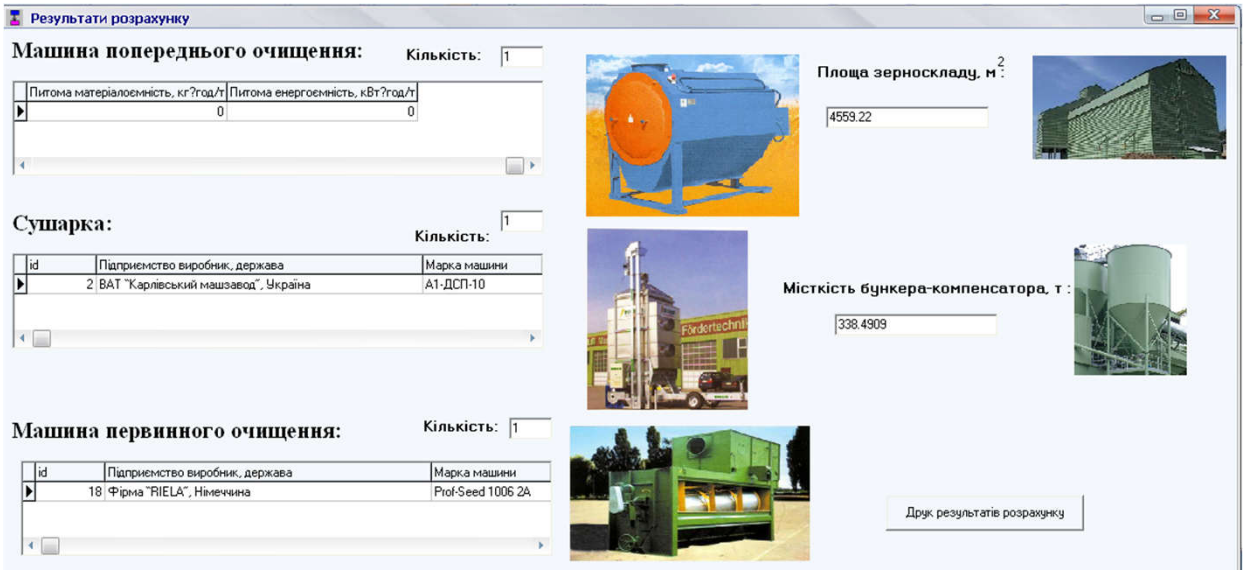
Параметри зернозбиральної системи:



Характеристики метереологічних умов:



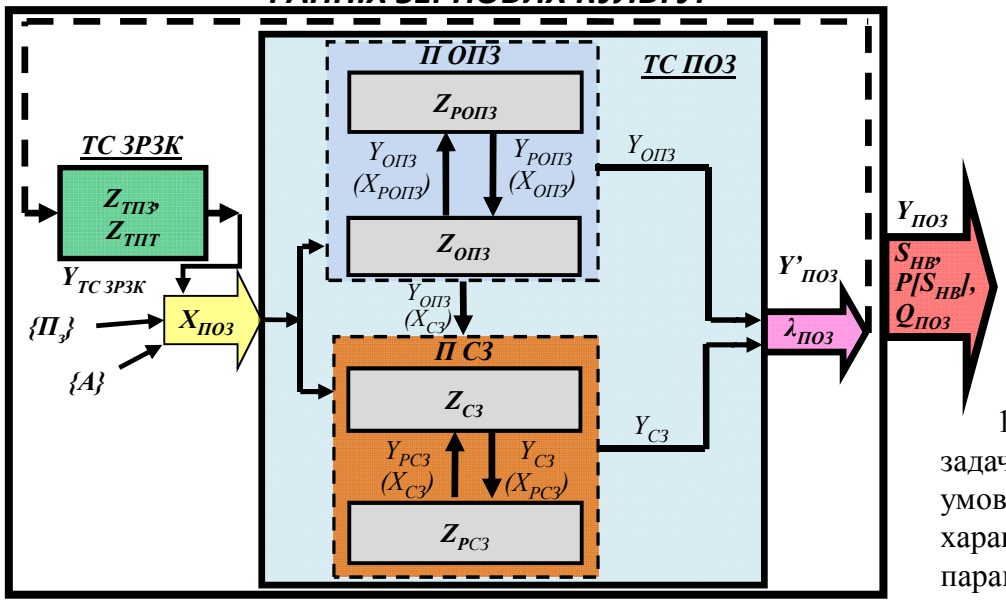
Параметри комплексу для післязбиральної обробки зернових культур:



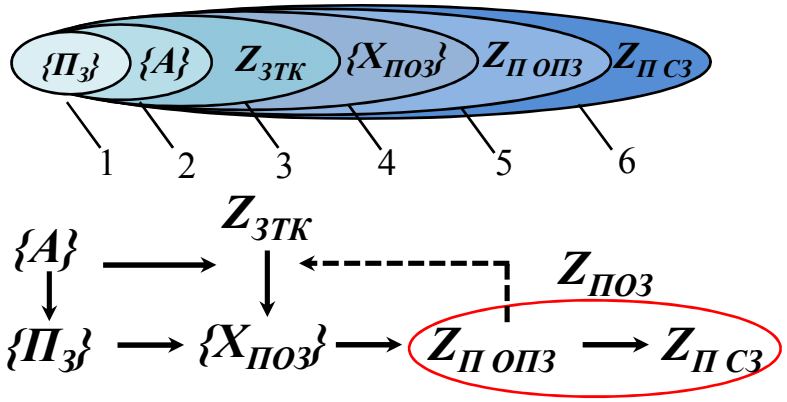
3. УЗГОДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ МАШИН ДЛЯ ЗБИРАННЯ ТА ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ЗА ЗАДАНОГО ВИРОБНИЧОГО ПЛАНУ

Системний підхід до обґрунтування параметрів технічного оснащення пунктів післязбиральної обробки зерна

СХЕМА ВЗАЄМОДІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ЗБИРАННЯ (ТС ЗРЗК) ТА ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ (ТС ПОЗ) ВРОЖАЮ РАННІХ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР



СКЛАДОВІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ЗБИРАННЯ ТА ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ВРОЖАЮ РАННІХ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР



1 - задача визначення характеристик виробничого плану; 2 - задача кількісного оцінювання характеристик агрометеорологічних умов; 3 - задача визначення параметрів ЗТК; 4 - задача оцінювання характеристик потоків зерна на пункт; 5 - задача визначення параметрів підсистеми попереднього очищення зерна на пункті; 6 - задача визначення параметрів підсистеми сушіння зерна на пункті.

Характеристики **вхідних впливів** (зернових потоків) ($X_{ПОЗ}$) ТС ПОЗ зумовлюються:

$$X_{ПОЗ} = f(\{П_з\}, \{A\}, Y_{ТС\ ЗРЗК}, Y'_{ПОЗ}).$$

Параметрами ТС ПОЗ є множина параметрів її підсистем (технічні характеристики відповідних машин і обладнання):

$$Z_{ПОЗ} = \begin{cases} Z_{ОПЗ}; \\ Z_{РОПЗ}; \\ Z_{СЗ}; \\ Z_{РСЗ}; \\ n_p \end{cases} = \begin{cases} W_{ОПЗ1}, n_{ОПЗ1}, N_{ОПЗ1}; W_{ОПЗ2}, n_{ОПЗ2}, N_{ОПЗ2}; \ldots; W_{ОПЗm}, n_{ОПЗm}, N_{ОПЗm}; \\ V_{РОПЗ}, N_{РОПЗ}; \\ n_{СЗ1}, W_{СЗ1}, Q_{СЗ1}, N_{СЗ1}; n_{СЗ2}, W_{СЗ2}, Q_{СЗ2}, N_{СЗ2}; \ldots; n_{СЗa}, W_{СЗa}, Q_{СЗa}, N_{СЗa}; \\ V_{РСЗ}, N_{РСЗ}; \\ n_{pОПЗ}, n_{pРОПЗ}, n_{pСЗ}, n_{pРСЗ}. \end{cases}$$

Інтегральні функціональні показники ТС ЗРЗК і ТС ПОЗ залежать від характеристик вхідних впливів ($X_{ПОЗ}$), параметрів технічного оснащення ТС ПОЗ ($Z_{ПОЗ}$) у період часу T її функціонування (задача аналізу):

$$Y_{ПОЗ} = f(X_{ПОЗ}, Z_{ПОЗ}, T).$$

Параметри ТС ПОЗ обґрунтовуються на основі розв'язання множини системних задач:

$$\begin{cases} \left[\{П_з\}, \{A\}, Z_{ЗТК}\right] \leftrightarrow X_{П\ ПОЗ} \leftrightarrow Z_{П\ ОПЗ} \rightarrow \left(Z_{П\ СЗ}\right); \\ \left[\{П_з\}, \{A\}, Z_{ЗТК} \leftrightarrow X_{П\ ПОЗ} \leftrightarrow Z_{П\ ОПЗ}\right] \rightarrow Z_{П\ СЗ}. \end{cases}$$

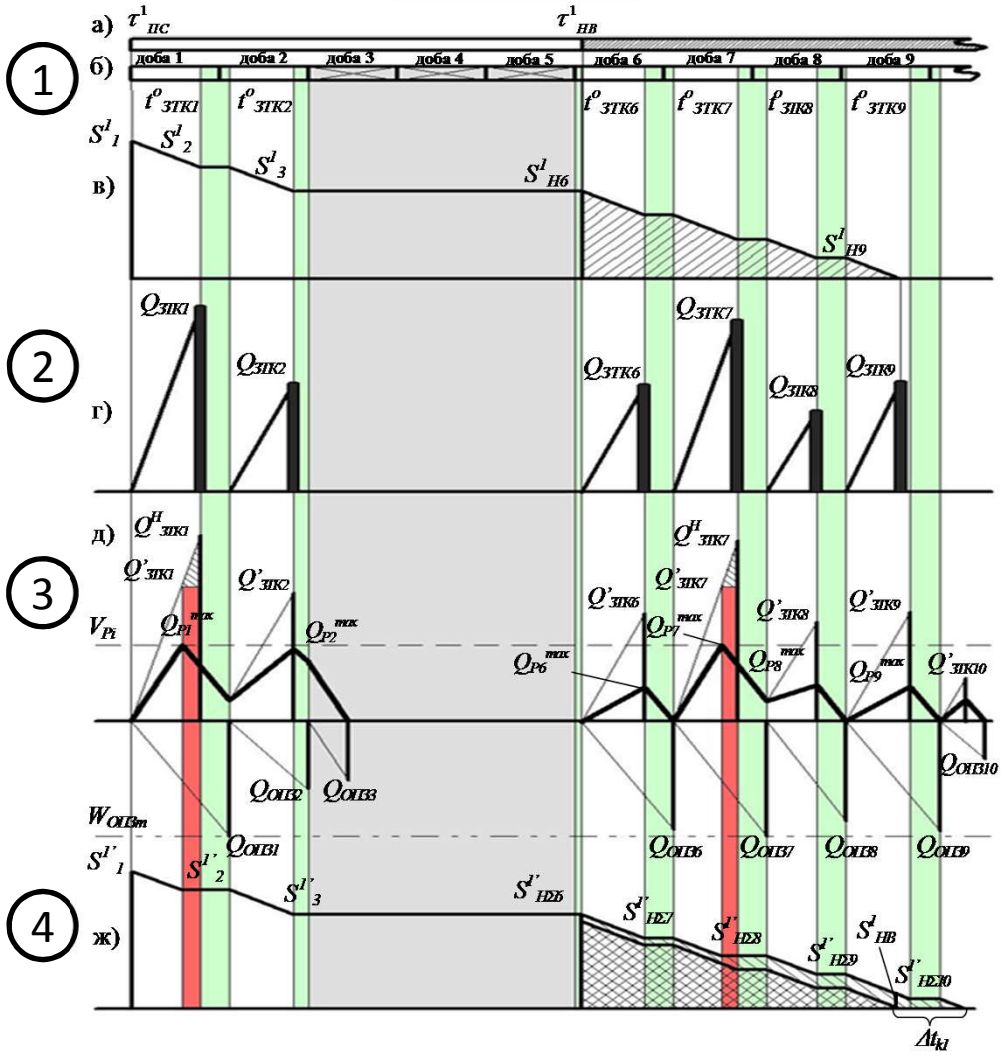
Оптимальні параметри ТС ПОЗ обґрунтовуються за **інтегральними функціональними показниками** $Y_{ПОЗ}$ - обсягом $S_{НВ}$ та ймовірністю виникнення $P[S_{НВ}]$ несвоєчасно зібраних площ **через вплив ТС ПОЗ** ($Y'_{ПОЗ}$) на функціонування ТС ЗРЗК (задача синтезу):

$$Z_{ПОЗ} = Z^{opt}_{ПОЗ} \text{ за умови } (S_{НВ} \times P[S_{НВ}]) \rightarrow \min.$$

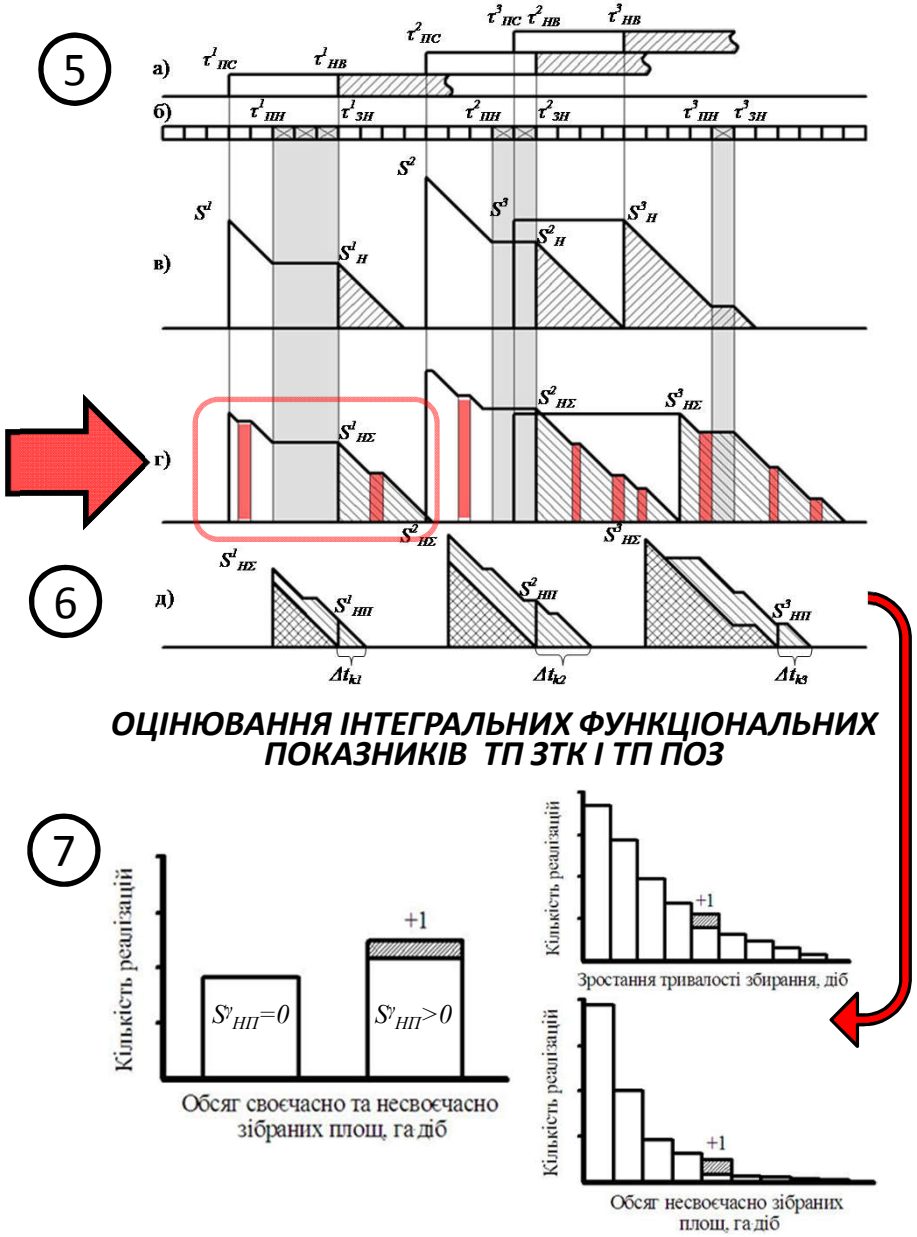
Графічна інтерпретація моделювання технологічних процесів збирання та післязбиральної обробки зерна

ГРАФІЧНІ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ТП ПОЗ НА РОБОТУ ЗТК

на окремому полі



впродовж окремого сезону для виробничого плану (3 поля)



ОЦІНЮВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ ТП ЗТК І ТП ПОЗ

□ - тривалість непогожих (дощових) проміжків часу; □ - тривалість росянистих проміжків часу; ■ - тривалість простоїв ЗТК внаслідок несвоєчасності обслуговування потоку зерна на П ПОЗ;

Метод обгрунтування раціональних параметрів пунктів післязбиральної обробки зерна

Раціональні параметри технічного оснащення П ПОЗ відображаються складовими: 1) числом машин попереднього очищення зерна $n_{ОПЗ}$; 2) їх продуктивністю $W_{ОПЗ}$; 3) потужністю $N_{ОПЗ}$; 4) місткістю $V_{рОПЗ}$ РО П ОПЗ пункту; 5) споживаною потужністю $N_{рОПЗ}$ РО П ОПЗ пункту; 6) числом зернових сушарок $n_{СЗ}$; 7) їх продуктивністю $W_{ЗС}$; 8) питомою витратою пального $Q_{СЗ}$; 9) споживаною потужністю $N_{СЗ}$; 10) місткістю $V_{рСЗ}$ РО П СЗ пункту; 11) споживаною потужністю $N_{рСЗ}$ РО П СЗ пункту; 12) кількістю робітників П ПОЗ $n_{ПОЗ}$:

$$Z_{ПОЗ}^{opt} = \begin{Bmatrix} n_{ОПЗ}; W_{ОПЗ}; N_{ОПЗ}; V_{рОПЗ}; N_{рОПЗ}; \\ n_{ЗС}; W_{ЗС}; Q_{ЗС}; N_{ЗС}; V_{рЗС}; N_{рЗС}; n_{р} \end{Bmatrix}.$$

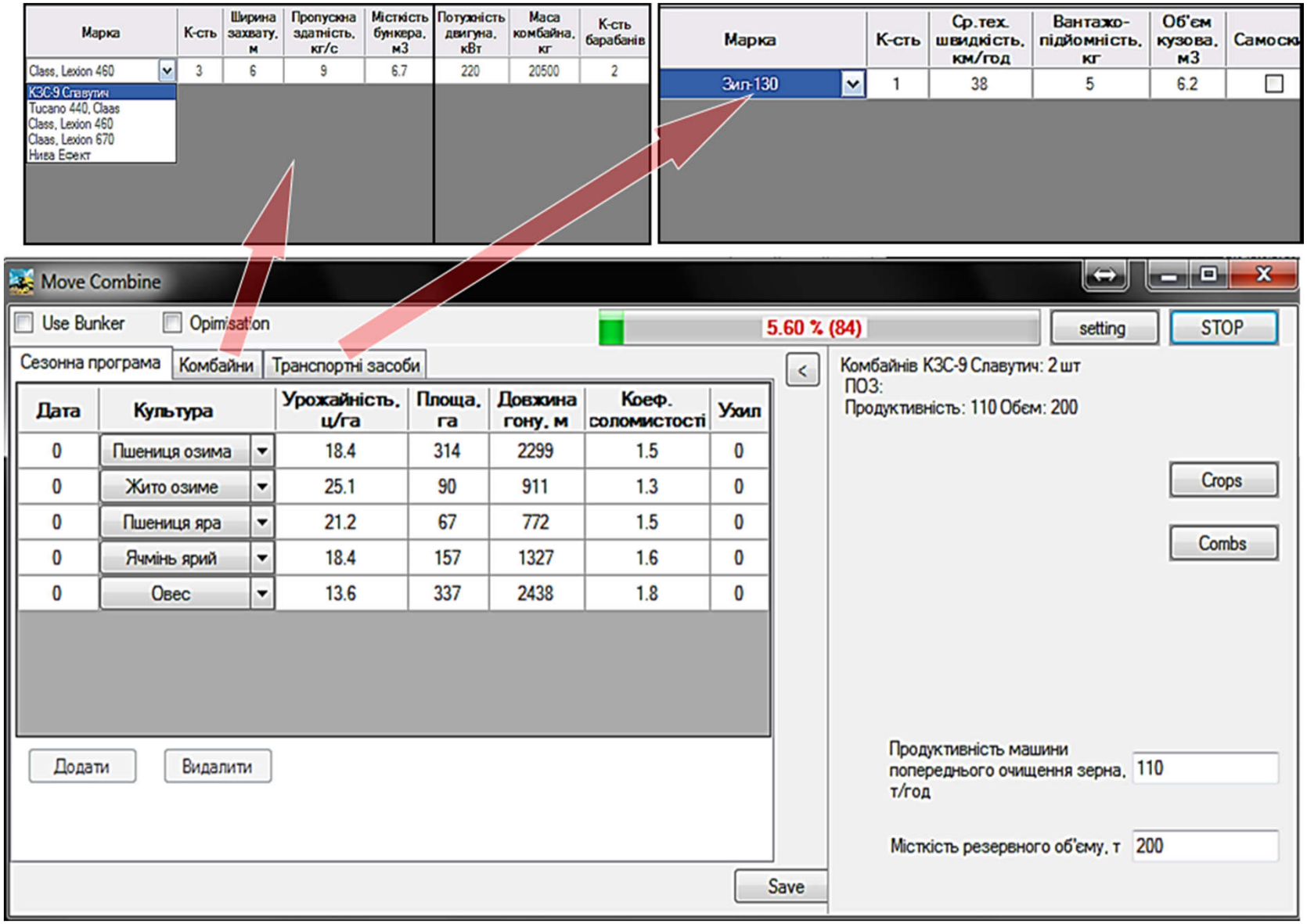
На основі результатів статистичного імітаційного моделювання ТП ЗРЗК і ТП ПОЗ для заданих характеристик виробничого плану збирання ($\{П_з\}$) ранніх зернових культур та параметрів ЗТК ($Z_{ЗТК}$) за стохастичних агрометеорологічних умов ($\{A\}$) визначаються параметри П ПОЗ ($Z^{р}_{ЗТК}$), за яких сума питомої вартісної оцінки втрат вирощеного врожаю через несвоєчасність його збирання, зумовлену впливом ТП ПОЗ на роботу ЗТК ($B_{н.ПОЗ}$) та питомих експлуатаційних витрат коштів на ПОЗ ($И_{ПОЗ}$) сягатимуть мінімуму:

$$\Phi\left[Z_{ПОЗ}^{р} \leftrightarrow (\{П_з\},\{A\},Z_{ЗТК})\right] = B_{н.ПОЗ} + И_{ПОЗ} \to \min.$$

ЕТАПИ МЕТОДУ ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ П ПОЗ

1. Аналіз виробничих планів вирощування ранніх зернових культур СГП і визначення домінуючого
2. Визначення можливого напруженого періоду в технологічному процесі післязбиральної обробки зерна за домінуючого плану збирання та означення початкових параметрів технічного оснащення підсистеми попереднього очищення зерна на пункті для максимального годинного обсягу надходження зерна в напружений період
3. Формування варіантів технічного оснащення підсистеми попереднього очищення зерна на пункті з наявних на ринку зерноочисних машин і місткостей для тимчасового зберігання зерна
4. Виконання статистичного імітаційного моделювання технологічних процесів збирання і післязбиральної обробки зерна ранніх зернових культур з використанням сформованих варіантів технічного оснащення підсистеми попереднього очищення зерна на пункті та визначення інтегральних функціональних показників
5. Обгрунтування раціонального варіанту технічного оснащення підсистеми попереднього очищення зерна на пункті за мінімальними сукупними витратами коштів на виконання відповідного технологічного процесу
6. Визначення надходження на пункт погодинних обсягів і вологості зерна, яке потребує сушіння з урахуванням впливу функціонування пункту з обгрунтованим варіантом технічного оснащення його підсистеми попереднього очищення зерна на роботу ЗТК та формування варіантів технічного оснащення його підсистеми сушіння зерна
7. Визначення прямих експлуатаційних витрат для кожного варіанту технічного оснащення підсистеми сушіння зерна на пункті та вибір раціонального за їх мінімальним значенням

Основні компоненти інтерфейсу прикладної комп'ютерної програми статистичного імітаційного моделювання функціонування технологічних систем збирання та післязбиральної обробки зернових культур



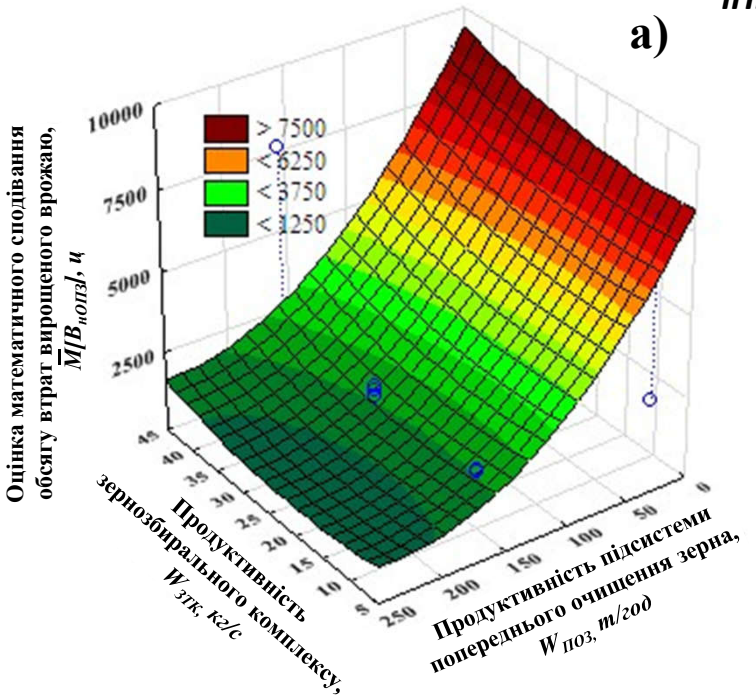
Результати статистичного імітаційного моделювання взаємодії технологічних систем збирання та післязбиральної обробки зерна

ЗАЛЕЖНІСТЬ ОЦІНКИ МАТЕМАТИЧНОГО СПОДІВАННЯ ОБСЯГУ ВТРАТ ВИРОЩЕНОГО ВРОЖАЮ РАННІХ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ВІД ЗМІНИ ПРОДУКТИВНОСТІ ПІДСИСТЕМ ПОПЕРЕДНЬОГО ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА НА ПУНКТАХ

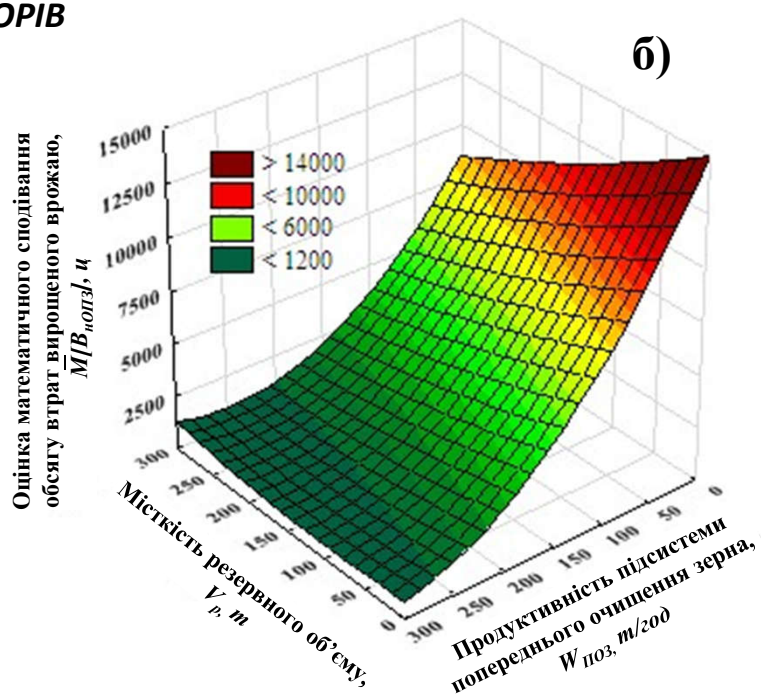
$$\bar{M}[B_{нОПЗ}] = -1093{,}07 + 116{,}6W_{ЗТК} + 1{,}19W_{ЗТК}^2 - 53{,}36W_{ОПЗ} + 0{,}13W_{ОПЗ}^2 - 10{,}93V_P + 0{,}016V_P^2 + 4{,}49S_\gamma + 335{,}16U_\gamma +$$
$$+0{,}43U_\gamma^2 + 812{,}5\delta_\gamma - 2712{,}61\delta_\gamma^2 - 0{,}08W_{ЗТК}\cdot W_{ОПЗ} - 0{,}11W_{ЗТК}\cdot V_P + 0{,}018W_{ЗТК}\cdot S_\gamma - 0{,}83W_{ЗТК}\cdot U_\gamma - 70{,}41W_{ЗТК}\cdot\delta_\gamma +$$
$$+0{,}078W_{ОПЗ}\cdot V_P - 0{,}026W_{ОПЗ}\cdot S_\gamma - 0{,}63W_{ОПЗ}\cdot U_\gamma + 21{,}97W_{ОПЗ}\cdot\delta_\gamma - 0{,}29V_P\cdot U_\gamma + 1{,}63V_P\cdot\delta_\gamma + 0{,}017S_\gamma\cdot U_\gamma +$$
$$+0{,}11S_\gamma\cdot\delta_\gamma - 91{,}27U_\gamma\cdot\delta_\gamma, \qquad R^2 = 0{,}76.$$

ПОВЕРХНІ ВІДГУКУ ОЦІНКИ МАТЕМАТИЧНОГО СПОДІВАННЯ ОБСЯГУ ВТРАТ ВИРОЩЕНОГО ВРОЖАЮ РАННІХ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ЗАЛЕЖНО ВІД ЗМІНИ ПРОДУКТИВНОСТІ ПІДСИСТЕМ ПОПЕРЕДНЬОГО ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА НА ПУНКТАХ а) ПРОДУКТИВНОСТІ ЗТК; б) МІСТКОСТІ РЕЗЕРВНОГО ОБ'ЄМУ, ЗА ФІКСОВАНИХ СЕРЕДНІХ ЗНАЧЕНЬ ІНШИХ ФАКТОРІВ

а)



б)



Основні початкові дані для виконання статистичного імітаційного моделювання та економічного оцінювання ефективності технологічних процесів збирання і післязбиральної обробки врожаю ранніх зернових культур (початок)

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИРОБНИЧОГО ПЛАНУ ЗБИРАННЯ РАННІХ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ГОСПОДАРСТВА

Культура	Площа, га	Урожайність, ц/га	Соломистість	Довжина гону, м	Вартість культури, грн/т	Відсоток втрат урожаю, %/добу	Середня віддаль перевезень, км
Пшениця озима	450	87,8	1:1,0	950	3800	1,90	3
Ячмінь озимий	100	57,5	1:1,6	770	3500	1,78	
Ячмінь ярий	450	77,1	1:1,4	800	3500	1,78	
Овес	50	44,6	1:1,6	650	3100	1,69	
Всього	1050						

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ГОСПОДАРСТВА

Марка	Кількість, од	Пропускна здатність, кг/с	Ширина захвату жниварки, м	Місткість бункера, м^3	Потужність двигуна, кВт	Маса комбайна (експлуатаційна), кг
CLAAS LEXION 460	1	9,5	6,6	9,6	220	15300
CLAAS LEXION 560	1	9,5	6,6	10,5	265	16710
John Deere 2066	1	9,0	6,1	7,5	199	14270
New Holland CX 8080	1	8,6	5,2	10,5	260	17400
New Holland CS 6090	1	7,6	5,2	9,0	220	13800

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРНОВИХ СУШАРОК

№ п.п.	Марка сушарки (виробник)	Продуктивність, т/год	Споживана потужність, кВт	Питома витрата пального (ДП), кг/т%	Вартість, тис грн	Нормативний коефіцієнт відрахування на ПР і ТО, 1/100 год	Термін експлуатації, років	Частка використання на сушінні ранніх зернових культур
1	ЗСШ-10 (ТЗОВ«Астра»)	10	20	1,3	950	0,12	8	2/3
2	СЗШ-10 (ТЗОВ «СОКОЛ»)	10	25,5	1,0	1560			
3	СЗМ-10 (KMZ)	9,5	18	1,0	1480			
4	СЗМ-10 (ПП «Завод агропромислових технологій»)	10	50	1,1	800			
5	СЗБ-10 (ПП «Agro-polus»)	10	28	1,2	3500			
6	ЗСШ-3 (ПП «Shust-Agro»)	10	24	1,22	1400			
7	KW ADS 30R (Kepler Weber)	22	22,25	1,0	1433			

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРНОТРАНСПОРТУВАЛЬНИХ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ

№ п. п.	Марка машини	Продуктивність , т/год	Сумарна потужність електродвигунів, кВт	Вартість, тис грн	Нормативний коефіцієнт відрахування на ПР і ТО, 1/100год	Термін експлуатації, років	Частка використання на обробці ранніх зернових культур
1	Зернокидач ЗМ-60У	60	10,6	85	0,03	8	2/3
2	Норія НЦ 50	50	5,5	70			

ДАНІ ПРО БУДІВНИЦТВО АСФАЛЬТОВАНОГО МАЙДАНЧИКУ

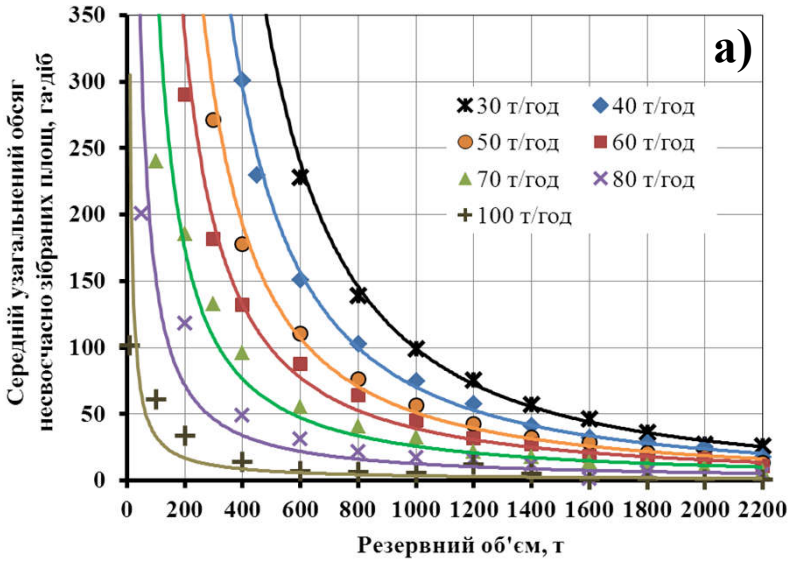
№ п. п.	Назва роботи	Вартість, грн/м^2	Нормативний коефіцієнт відрахування на ПР і ТО	Термін експлуатації, років	Частка використання на обробці ранніх зернових культур
1	Асфальтування майданчику	128	0,07	15	2/3
2	Облаштування каркаса та накриття металопрофілем	900	0,07	15	2/3

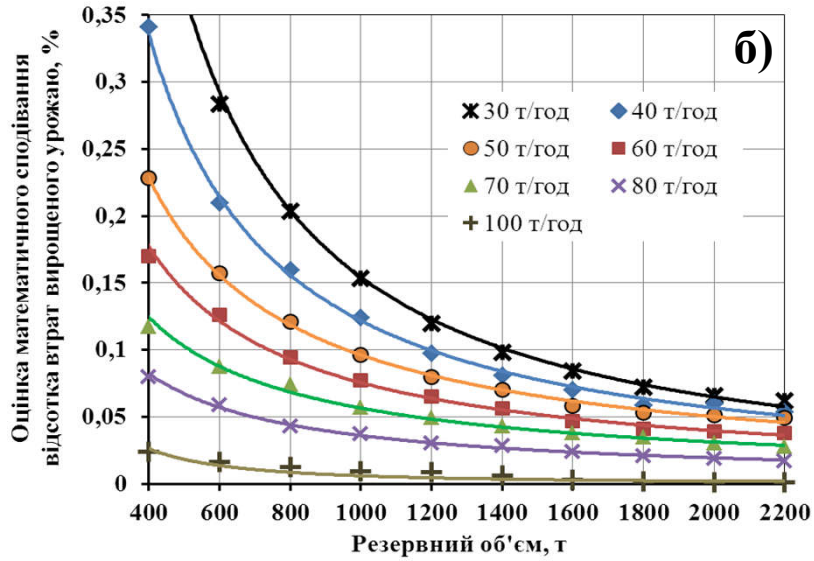
Оцінювання інтегральних функціональних показників технологічних систем збирання та післязбиральної обробки врожаю ранніх зернових культур в умовах дослідного господарства

ЗАЛЕЖНОСТІ СЕРЕДНЬОГО УЗАГАЛЬНЕНОГО ОБСЯГУ НЕСВОЄЧАСНО ЗІБРАНИХ ПЛОЩ РАННІХ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР (а) ОЦІНОК МАТЕМАТИЧНОГО СПОДІВАННЯ ВІДСОТКА ВТРАТ УРОЖАЮ (б) ЧЕРЕЗ НЕСВОЄЧАСНІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОТОКІВ ЗЕРНА НА ПУНКТІ З РІЗНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПІДСИСТЕМИ ПОПЕРЕДНЬОГО ОЧИЩЕННЯ

$$\bar{M}[Z_{нОПЗ}] = a \cdot (V_P)^b;$$

$$\bar{M}[B_{нОПЗ}] = a \cdot (V_P)^b.$$



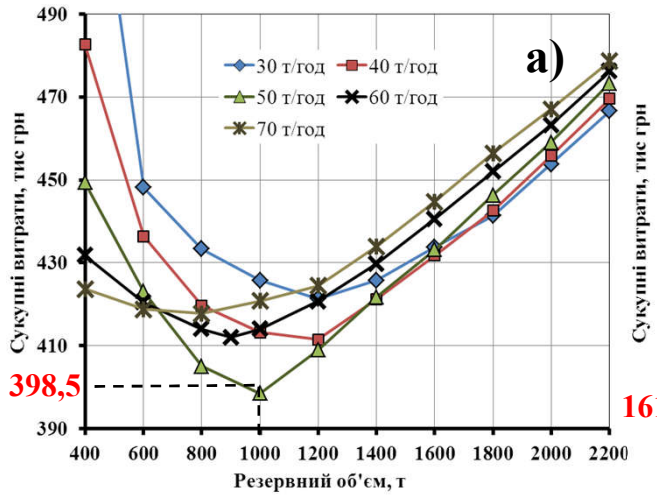


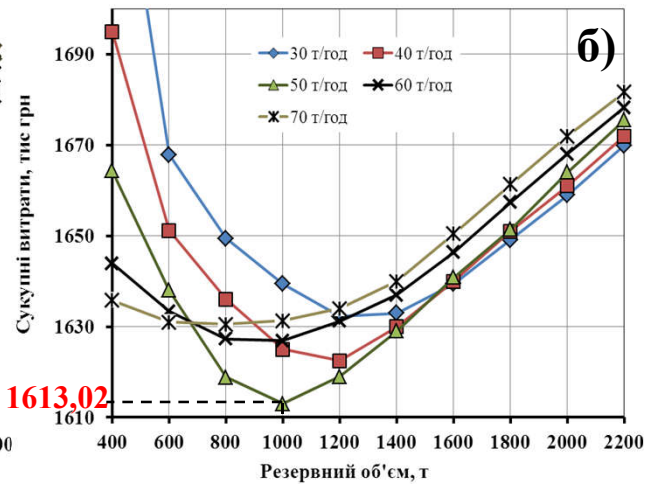
ЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ РІВНЯНЬ РЕГРЕСІЇ ТА КОЕФІЦІЄНТІВ ДЕТЕРМІНАЦІЇ

Продуктивність машини попереднього очищення зерна, т/год	Значення коефіцієнтів рівнянь регресії зміни $\bar{M}[Z_{нОПЗ}]$		Значення коефіцієнта детермінації $\bar{M}[Z_{нОПЗ}]$, R^2	Значення коефіцієнтів рівнянь регресії зміни $\bar{M}[B_{нОПЗ}]$		Значення коефіцієнта детермінації $\bar{M}[B_{нОПЗ}]$, R^2
	a	*b*		*a*	*b*	
30	1E+07	-1,723	0,997	872,43	-1,251	0,997
40	4E+06	-1,567	0,995	251,43	-1,105	0,995
50	1E+06	-1,446	0,991	64,734	-0,943	0,995
60	384217	-1,33	0,986	47,099	-0,932	0,995
70	92310	-1,184	0,960	21,579	-0,861	0,994
80	21653	-1,078	0,888	18,175	-0,901	0,996
100	2798,9	-0,963	0,743	437,14	-1,623	0,859

Вартісне оцінення ефективності технологічних процесів післязбиральної обробки врожаю ранніх зернових культур

Обгрунтування раціональних параметрів підсистеми попереднього очищення зерна





ЗАЛЕЖНІСТЬ СУКУПНИХ ВИТРАТ НА ПОПЕРЕДНЄ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА ЗА ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ВАРІАНТІВ ТЕХНІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ПІДСИСТЕМИ ПОПЕРЕДНЬОГО ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА НА ПУНКТІ: 30 т/год – Alma-30+С11К1390; 40 т/год – БСХ-12+С11К1620; 50 т/год – БСХ-16+ С11К1390; 60 т/год – БЦСМ-50+ С11К1170; 70 т/год – БСХМ-16+ С11К1060 та різних типів резервних об'ємів:

а) *з резервним об'ємом у вигляді* ***БАВ;***

б) *з резервним об'ємом у вигляді* ***майданчику***

Обгрунтування раціональних параметрів підсистеми сушіння зерна на пункті післязбиральної його обробки для дослідного господарства

Необхідна продуктивність зернової сушарки для обслуговування потоків вологого зерна з визначеними кількісними і якісними характеристиками:

$$W_{сз} = \frac{\sum \bar{Q}^{сш}_{ЗТКг} \cdot k_{п.т.}}{t_{сш}} = \frac{212 \cdot 0,95}{21} \approx 10 \text{ т/ год},$$

де $k_{п.т.}$ – середній коефіцієнт переведення маси просушеного зерна з фізичних у планові тонни ; $t_{сш}$ – тривалість роботи зернової сушарки в добу.

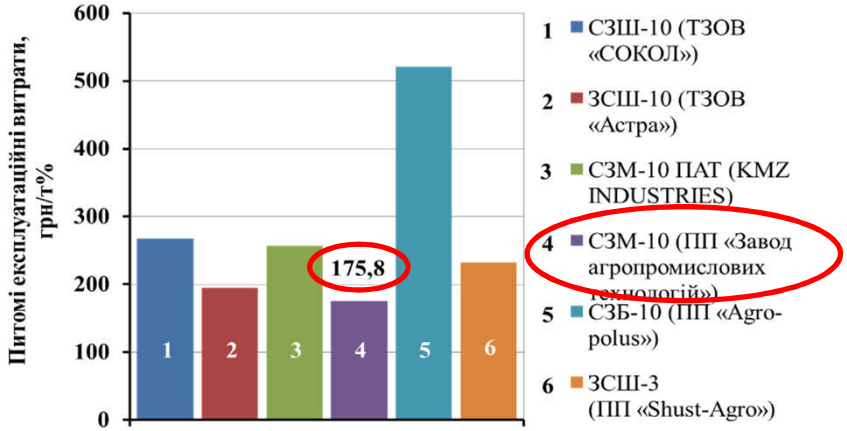
Необхідна місткість РО підсистеми сушіння зерна на пункті:

$$V_{РСЗ} = \sum \bar{Q}^{сш}_{ЗТКг} \approx 200 m.$$

Встановлено, що використання БАВів ТЗОВ «Завод елеваторного обладнання «СОКОЛ» є дешевшим у порівнянні з використанням БАВів інших виробників.

Таким чином для резервного об'єму П СЗ обрано **С8К240 місткістю 200 т.**

ПИТОМІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИТРАТИ НА СУШІННЯ ТА ТИМЧАСОВЕ ЗБЕРІГАННЯ ВОЛОГОГО ЗЕРНА за використання різних зернових сушарок продуктивністю 10 т/год та БАВ С8К240 (200 т)



Економічна ефективність

1. Використання розробленого методу та ком'ютерної програми для визначення раціональних параметрів ЗТК на основі статистичного імітаційного моделювання дає змогу знизити сумарні питомі витрати коштів на **18,8 % (з 41,12 у.о/га до 33,37 у.о./га)** для заданого виробничого плану збирання в порівнянні з використанням чинним детермінованим методом визначення потреби у зернозбиральних комбайнах , що базується на на використанні норм продуктивності .

2. Використання розробленогометоду та програмного забезпечення для розрахунку технологічних комплексів машин післязбиральної обробки зерна дає змогу збільшити прибуток середнього господарства по вирощуванні зерна у 2,5 рази та зменшує втрати при несвоєчасній обробці зерна у 1,79 рази за рахунок точного розрахунку взаємодії між ланками системи, оптимізації витрат на їх функціонування за допомогою вибору раціональних параметрів, врахування стохастичного характеру протікання технологічного процесу.

3. Розроблені методи та моделі узгодження параметрів технологічних комплексів машин для збирання та післязбиральної обробки зернових культур дають змогу підвищити ефективність виконання технологічних процесів збирання та післязбиральної обробки зерна завдяки системному узгодженню характеристик виробничих планів його збирання, параметрів збирально-транспортних комплексів і параметрів технічного оснащення відповідних пунктів за стохастичного впливу агрометеорологічних умов, що уможливлює виконання цих процесів із мінімальними сукупними витратами коштів. Зокрема, **використання обґрунтованого технологічного комплексу машин післязбиральної обробки зерна в порівнянні з наявним у дослідному господарстві дасть змогу скоротити питомі сукупні витрати на післязбиральну обробку зерна на 51,1 % (з 470,45 грн/т до 229,78 грн/т).**

4. Використання раціональних комплексів машин для збирання і післязбиральної обробки урожаю ранніх зернових культур, обґрунтованих з використанням розробленої методики та програмного забезпечення дає змогу **знизити сукупні затрати коштів** на виконання відповідних технологічних процесів **до 20%**. В цілому **для України**, з урахуванням середньої величини затрат на збирання урожаю ранніх зернових культур, площ їх посіву та середньої урожайності, **величина очікуваного економічного ефекту складе близько 1,8 млрд грн/рік**.

Впровадження наукової праці

Результати дослідження з обґрунтування раціональних параметрів зернозбирально-транспортних комплексів і технічного оснащення пунктів післязбиральної обробки врожаю з урахуванням нерівномірності строків достигання окремих зернових культур, стохастичного впливу агрометеорологічних умов на роботу зернозбирально-транспортних комплексів і формування потоків зерна на пункти післязбиральної обробки урожаю, різниці добових фондів робочого часу для виконання технологічних процесів збирання та післязбиральної обробки зерна, а також впливу технологічних процесів післязбиральної обробки зерна на роботу збирально-транспортних комплексів **впроваджено у практику ДП «Реком-С» ПП «Реком» Львівської області, агрофірми «Камаз-Агро» Рівненської області, ФГ «Агро-Інвест» Хмельницької області, ФГ «Промінь-К» Чернігівської області**.

Метод обґрунтування параметрів технічного оснащення пунктів післязбиральної обробки зерна на основі статистичного імітаційного моделювання технологічних процесів збирання та післязбиральної обробки урожаю ранніх зернових культур **використано у навчальному процесі кафедри управління проектами та безпеки виробництва Львівського НАУ** для лекцій із дисциплін «Інженерний менеджмент» (ОКР «Спеціаліст»), «Управління проектами» (ОКР «Магістр») та «Моделювання технологічних процесів та систем» (ОКР «Магістр»).

Висновки

Розроблені в результаті виконання досліджень методика і прикладне програмне забезпечення для визначення раціональних параметрів зернозбирально-транспортних комплексів і технічного оснащення пунктів післязбиральної обробки урожаю має наукове та практичне значення. Результати досліджень достатньо популяризовані в Україні та закордоном. Їх широке впровадження у сільськогосподарське виробництво сприятиме одержанню економічного ефекту за рахунок зменшення затрат на збирання та післязбиральну обробку урожаю ранніх зернових культур.