

УДК 658.51:631.3

© С.А. Березовецький  
Львівський національний аграрний університет

## **УЗГОДЖЕННЯ СКЛАДОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ЗБИРАННЯ ОЗИМОГО РІПАКУ**

*У статті розкрито особливості впливу складових технологічної системи збирання ріпаку на показники її ефективності. Представлено результати комп'ютерних експериментів із статистичною імітаційною моделлю процесів обприскування стеблостою (для внесення склеювачів) та комбайнового збирання насіння ріпаку.*

### **РІПАК, ОБПРИСКУВАННЯ СТЕБЛОСТОЮ, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, КОРЕЛЯЦІЙНІ ВІДНОШЕННЯ, СКЛЕЮВАЧІ.**

**Постановка проблеми.** Технологічні процеси збирання озимого ріпаку безпосередньо впливають на кінцеву ефективність вирощування культури [5]. Для зменшення втрат врожаю, які через біологічні процеси розтріскування стручків та самоосипання насіння можуть сягати 60% [3], діючі сільськогосподарські підприємства (СПП) використовують технології збирання із попереднім застосуванням склеювачів. Внесення цих препаратів на поверхню стеблостою відбувається на етапі пожовтіння стручків та дає змогу уникнути втрат насіння як до початку комбайнового збирання так і під час його виконання [5]. Для ефективного виконання цих двох технологічних процесів (обприскування стеблостою та комбайнового збирання насіння) необхідно узгодити технічне оснащення відповідних технологічних систем, що функціонують в обмежених "часових рамках" зумовлених біологічними процесами досягання озимого ріпаку та некерованими агрометеорологічними умовами відповідного календарного періоду.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** дав змогу встановити, що терміни початку і тривалості виконання технологічних операцій механізованих рілних процесів відображають на підставі детермінованих [2,6] та стохастичних [4,8] показників. Як відомо [8], час початку та перебіг технологічного процесу збирання врожаю сільськогосподарських культур залежить від календарних термінів їх досягання та стохастичної дії агрометеорологічних умов. Врахування цих особливостей під час оцінення ефективності відповідних технологічних систем та, зокрема, їх технічного оснащення дає змогу

отримати об'єктивні результати, а відтак достовірні аргументи щодо етапів розвитку цих систем.

**Мета дослідження.** Завданням роботи було представити результати комп'ютерних експериментів щодо виконання технологічно поєднаних процесів обприскування стеблостою (для внесення склеювачів) (ТПОС) та комбайнового збирання насіння озимого ріпаку (ТПЗР) із заданим технічним оснащенням і врахуванням впливу біологічно-предметної та агрометеорологічної складових на часові обмеження функціонування відповідної техніки.

**Результати дослідження.** Для врахування особливостей взаємодії складових технологічної системи збирання озимого ріпаку (ТСЗР) у відповідній статистичній імітаційній моделі, а відтак об'єктивного відображення сезонних умов функціонування технічного оснащення двох підсистем – ТПОС та ТПЗР розроблено комп'ютерну програму, що враховує особливості сукупного впливу предметно-біологічних процесів та агрометеорологічних умов на часові обмеження їх функціонування, а також перебіг технологічних операцій у розрізі календарного періоду.

Загальновідомо, що біологічні процеси досягання озимого ріпаку є особливими та формують специфічні передумови для виконання механізованих процесів їх збирання. Застосування технології прямолінійного (однофазного) збирання із попереднім внесенням склеювачів дає змогу призупинити процеси розтріскування стручків та знизити обсяги технологічних втрат врожаю. Для узгодження технічного оснащення цих двох підсистем необхідно володіти закономірностями зміни функціональних показників ефективності згаданих процесів, що виконуються в мінливих природних умовах.

Застосування розробленого коду комп'ютерної програми статистичної імітаційної моделі відповідних механізованих процесів ТСЗР, виконано комп'ютерні експерименти. Програма цих експериментів включала декілька етапів: 1) сформулювати мету моделювання та базу початкових даних; 2) обґрунтувати скінченну множину ітерацій (реалізацій) моделі; 3) виконати комп'ютерні експерименти; 4) систематизувати результати та здійснити їх математичне опрацювання, а відтак формалізувати закономірності зміни функціональних показників ТПОС та ТПЗР.

Для встановлення статистичних закономірностей зміни функціональних показників ТПОС та ТПЗР виконано скінчену кількість ітерацій ( $N_p$ ) відповідної статистичної імітаційної моделі за яких "прояв" дії кожного ймовірного чинника відображали з

умовою –  $Np=25$  [1]. У результаті цього отримано репрезентативні вибірки даних щодо своєчасності виконання технологічних операцій обприскування стеблостою з метою внесення склеювачів стручків.

Зазначимо, що імітаційне моделювання технологічних процесів у ТСЗР виконували для окремого варіанту технічного оснащення ТПОС (висококліренсний обприскувач Мекосан Теснома Laser4240-30) та ТПЗР (комбайн CLAAS Mega 360), що функціонують в агрометеорологічних умовах Яворівського району Львівської області. Зокрема, моделювання виконували для заданих меж виробничої площі ( $S_r$ ) культури – 10-500 га із покрововим її приростом у 10 га. Це дало змогу встановити закономірності зміни головних функціональних показників щодо виконання робіт відповідним технічним оснащенням ТСЗР.

Виокремлення із отриманих результатів моделювання кількісних значень обсягів ( $Z_n$ ) несвоєчасно обприсканих площ дало змогу встановити залежність ймовірності виникнення технологічних втрат та, власне,  $Z_n$  від виробничої площі озимого ріпаку у ТСЗР (рис. 1 та рис. 2). Використання методів кореляційно-регресійного аналізу [7] для опрацювання відповідних рядів емпіричних даних дало змогу довести наявність залежності  $Z_n$  від  $S_r$  та отримати рівняння, що описується поліномом третього ступеня:

$$Z_n = 7 \cdot 10^{-6} \cdot S_r^3 - 2,8 \cdot 10^{-3} \cdot S_r^2 + 0,5781 \cdot S_r - 25,337.$$

Кореляційне відношення становить –  $n = 0,736$ .

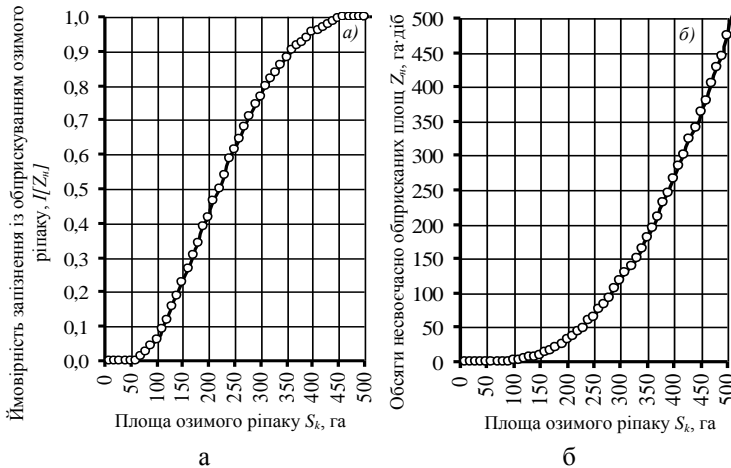


Рис. 1 - Залежність ймовірності запізнення (а) із обприскуванням стеблостою та обсягів несвоєчасно обприсканих площ (б) (для склеювання стручків) та від площі озимого ріпаку

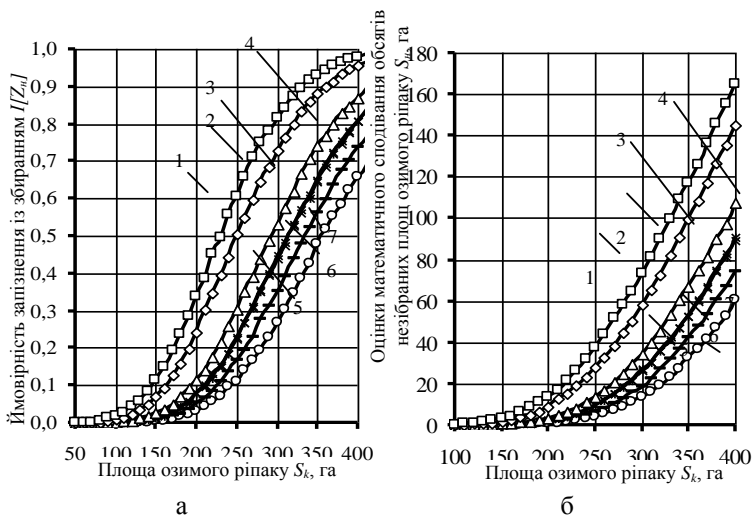


Рис. 2. Залежність ймовірності запізнення із комбайновим збиранням (а) та оцінок математичного сподівання обсягів незібраних площ озимого ріпаку (б) від його виробничої площі за різних планових термінів початку робіт: 1 -  $\tau_{np}^{\varepsilon 1.0}$ ; 2 -  $\tau_{np}^{\varepsilon 0.95}$ ; 3 -  $\tau_{np}^{\varepsilon 0.9}$ ; 4 -  $\tau_{np}^{\varepsilon 0.85}$ ; 5 -  $\tau_{np}^{\varepsilon 0.8}$ ; 6 -  $\tau_{np}^{\varepsilon 0.75}$ ; 7 -  $\tau_{np}^{\varepsilon 0.7}$

Оскільки досягання стручків ріпаку є нерівномірним в часі нами розглянуто декілька варіантів часу початку збиральних робіт ( $\tau_{np}$ ), що вибирались за критерієм частки ( $\varepsilon$ ) підсохлих (сухих) стручків на площі поля. Зокрема, у першу чергу  $\tau_{np}$  приймався за наявності 70 % сухих стручків ( $\tau_{np}^{\varepsilon 0.7}$ ) на полі із збільшенням цього показника до 100% ( $\tau_{np}^{\varepsilon 1.0}$ ) (на основних стеблах рослини) із приростом кроку у 25%.

Значні обсяги сезонного завантаження комбайнів призводять до того, що за пізніх термінів  $\tau_{np}$  збирання насіння озимого ріпаку може тривати до початку досягання суміжної культури, а саме озимі пшениці [8]. У цьому разі зростає ймовірність ( $I/Z_n$ ) запізнення із відповідними технологічними процесами (рис. 3) та виникнення обсягів ( $S_n$ ) незібраних площ. Отримані множини значень  $S_n$  для різних  $S_r$  опрацьовано за методами кореляційно-регресійного аналізу, що дало змогу встановити відповідні значення кореляційних відношень і рівняння цих залежностей (табл.).

Таблиця – Рівняння та кореляційні відношення залежностей оцінок математичного сподівання обсягів незібраних площ озимого ріпаку від часу початку збиральних робіт

Час початку збиральних робіт	Рівняння залежності	Кореляційне відношення
1	2	3
$\tau_{np}^{\varepsilon 0.7}$	$S_i^{\varepsilon 0.7} = -9,5 \cdot 10^{-9} \cdot S_r^4 + 1,21 \cdot 10^{-5} \cdot S_r^3 - 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot S_r^2 + 0,5657 \cdot S_r - 26,178$	0,992
$\tau_{np}^{\varepsilon 0.75}$	$S_i^{\varepsilon 0.75} = -8,7 \cdot 10^{-9} \cdot S_r^4 + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot S_r^3 - 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot S_r^2 + 0,5657 \cdot S_r - 26,178$	0,991
$\tau_{np}^{\varepsilon 0.8}$	$S_i^{\varepsilon 0.8} = -8 \cdot 10^{-9} \cdot S_r^4 + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot S_r^3 - 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot S_r^2 + 0,5657 \cdot S_r - 26,178$	0,992
$\tau_{np}^{\varepsilon 0.85}$	$S_i^{\varepsilon 0.85} = -8 \cdot 10^{-9} \cdot S_r^4 + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot S_r^3 - 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot S_r^2 + 0,5657 \cdot S_r - 26,178$	0,992
$\tau_{np}^{\varepsilon 0.9}$	$S_i^{\varepsilon 0.9} = -1,95 \cdot 10^{-8} \cdot S_r^4 + 2,14 \cdot 10^{-5} \cdot S_r^3 - 6,6 \cdot 10^{-3} \cdot S_r^2 + 0,8173 \cdot S_r - 35,428$	0,993
$\tau_{np}^{\varepsilon 0.95}$	$S_i^{\varepsilon 0.95} = -2,1 \cdot 10^{-8} \cdot S_r^4 + 2,16 \cdot 10^{-5} \cdot S_r^3 - 5,7 \cdot 10^{-3} \cdot S_r^2 + 0,5939 \cdot S_r - 21,896$	0,992
$\tau_{np}^{\varepsilon 1.0}$	$S_i^{\varepsilon 1.0} = -2,3 \cdot 10^{-8} \cdot S_r^4 + 1,97 \cdot 10^{-5} \cdot S_r^3 - 3,8 \cdot 10^{-3} \cdot S_r^2 + 0,2604 \cdot S_r - 4,5541$	0,991

Кількісне оцінення ймовірності запізнення ( $I[Z_n]$ ) із процесами збирання насіння озимого ріпаку здійснено із співвідношення кількості ( $n_n$ ) таких випадків до загальної кількості ітерацій ( $Np$ ) статистичної імітаційної моделі –  $I[Z_n] = \sum_1^{Np} n_n / Np$ .

Виникнення  $S_n$  зумовлює зниження ефективності ТПЗР оскільки роботи виконані невчасно. За таких умов, втрачатиметься врожай на незібраній площі озимого ріпаку, або виникатиме необхідність корегування ходу робіт із збирання врожаю суміжної культури.

Таким чином, застосування розроблених методів та моделей відображення впливу предметно-біологічної й агрометеорологічної складових ТСЗР, а також обсягів вирощування культури і параметрів відповідного технічного оснащення на функціональні показники технологічних процесів у відповідних підсистемах дає змогу здійснити

оцінення технологічних втрат у фізичних показниках. Зокрема, таких як валові та питомі обсяги фактично зібраного врожаю, а відтак здійснити обґрунтування параметрів ТСЗР на підставі узгодження обсягів виробничих площ культури із параметрами технічного оснащення відповідних технологічних систем.

**Висновки.** Запізнення із виконанням механізованих процесів обприскування стеблостою для внесення склеювачів зумовлює втрати насіння озимого ріпаку через їх розтріскування як до початку механізованих процесів збирання врожаю так і під час їх виконання. Вірогідність такого послідовного впливу ТПОС на функціональні показники ТПЗР оцінено на підставі встановленої залежності ймовірності запізнення із обприскуванням стеблостою від площі озимого ріпаку. Відповідно до цієї залежності, а також залежності обсягів несвоєчасно обприсканих площ озимого ріпаку від площі культури встановлено, що використання висококліренсного обприскувача Мекосан Теснома Laser 4240-30 на площі більше 250 га призводить до високої ймовірності запізнення із роботами ( $I[Z_n] = 0,616$ ) та різкого зростання обсягів технологічних втрат врожаю культури. Використання у ТСЗР комбайна типу CLAAS Mega 360 за різних термінів часу початку збиральних робіт ( $\tau_{np}^{0.7} \dots \tau_{np}^{1.0}$ ) дає підстави констатувати, що більшого системного ефекту можна домогтися за умови порівняно швидшого виходу техніки в поле (за наявності 70% сухих стручків озимого ріпаку).

#### Література

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М. : Наука, 1978. – 351 с.
2. Завалишин Ф.С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве / Ф.С. Завалишин. – М.: Колос, 1973. – 319 с.
3. Власенков А.Н. Повышение эффективности уборки семян рапса в условиях повышенного увлажнения путём обоснования сроков уборки и режимов работы зерноуборочных комбайнов : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / А. Н. Власенков. – Санкт – Петербург, 2013. – 20 с.
4. Пасечная Л.Д. Методические основы определения технического оснащения уборочных работ : автореф. дис. на соиск. научн. степ. канд. техн. наук : спец. 05.20.01 „Технологии и средства механизации сельского хозяйства” / Л.Д. Пасечная. – Кубан. СХИ. Краснодар, 1988. – 19 с.

5. Пилюк Я.Э. Пиктор – проверенный помощник озимого рапса / Я. Э. Пилюк // Белорусская нива, 2010. – № 86. – С.3.

6. Табашников А.Т. Оптимизация уборки зерновых и кормовых культур / А.Т. Табашников. – М.: Агропромиздат, 1985. – 159 с.

7. Уланова Е.С. Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии / Е. С. Уланова, В. Н. Забелин. – Л. : Гидрометеоиздат, 1990. – 146 с.

8. Ціп Є.І. Сезонна програма комбайна і ризик у процесі централізованого збирання ранніх зернових : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.22 „Управління проектами та програмами” / Є. І. Ціп. – Львів., 2002. – 18 с.

*Рецензент д.т.н., проф. В.Ф. Дідух*