

УДК 631.171:631.55:633.9+004.942

**РЕЗУЛЬТАТИ СТАТИСТИЧНОГО ІМІТАЦІЙНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ ЗБИРАННЯ ОЗИМОГО РІПАКУ**

О. Сидорчук, д. т. н.

ННЦ «Інститут механізації

та електрифікації сільського господарства»

П. Луб, к. т. н., А. Шарибура, к. т. н., С. Березовецький, здобувач

Львівський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Збирання озимого ріпаку є завершальним етапом вирощування культури та безпосередньо впливає на ефективність усього виробничого процесу [5]. Забезпечення максимальної ефективності технологічних процесів збирання озимого ріпаку тісно пов'язане із завданням зменшення втрат врожаю, які через неконтрольовані процеси розтріскування стручків та, відповідно, самоосипання насіння, можуть сягати 60 і більше відсотків [2]. Тому сільськогосподарські підприємства використовують технології збирання з попереднім внесенням склеювачів стручків [5]. Однак для ефективного виконання цих двох технологічних процесів (обприскування стеблостою склеювачами та комбайнового збирання насіння) необхідно узгодити параметри їх технічного оснащення з обсягами виробничої площі культури, а також "часовими обмеженнями", що об'єктивно виникають через дію агрометеорологічних умов упродовж календарного періоду досягання озимого ріпаку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій переконує в тому, що терміни початку й тривалості виконання відповідних технологічних операцій вирощування сільськогосподарських культур відображають на підставі детермінованих [3; 8] та стохастичних [4; 10] показників. Як відомо [10], час початку та перебіг технологічних процесів збирання врожаю культури значною мірою залежать від календарних термінів її досягання, а також імовірного впливу агрометеорологічних умов. Врахування таких особливостей технологічних систем під час оцінювання ефективності відповідних комплексів машин дає змогу отримати вагомні аргументи щодо параметрів технічного оснащення, а відтак розвитку цих технологічних систем.

Постановка завдання. Наше завдання – репрезентувати результати статистичного імітаційного моделювання механізованих технологічних процесів обприскування стеблостою склеювачами (ТПОС) та комбайнового збирання насіння озимого ріпаку (ТПЗР) із врахуванням впливу біологічно-предметної та агрометеорологічної складових на часові обмеження функціонування відповідного технічного оснащення.

Виклад основного матеріалу. Загальновідомо, що досягання озимого ріпаку формує специфічні умови для виконання механізованих технологічних процесів його збирання. Застосування технології прямолінійного комбайнування з попереднім внесенням склеювачів стручків у стеблостої дає змогу призупинити процеси їх розтріскування та знизити обсяги втрат врожаю як до початку, так і під час виконання процесів збирання. Для узгодження параметрів технічного оснащення цих двох технологічних процесів з обсягами площі культури необхідно володіти статистичними закономірностями зміни функціональних показників ефективності згаданих процесів, що враховують мінливий вплив агрометеорологічних умов.

Для врахування особливостей технологічної взаємодії ТПОС та ТПЗР у їх статистичній імітаційній моделі використано метод системно-подієвого відображення технологічних процесів, а відтак розроблено комп'ютерну програму. Її застосування дає змогу врахувати сукупний вплив предметно-біологічної та агрометеорологічної складових на часові обмеження відповідних технологічних операцій у розрізі календарного періоду досягання врожаю озимого ріпаку. На підставі розробленого коду комп'ютерної програми статистичної імітаційної моделі двох часткових механізованих технологічних процесів (ТПОС та ТПЗР) виконано комп'ютерні експерименти та опрацьовано їх результати.

Для встановлення статистичних закономірностей зміни функціональних показників ТПОС та ТПЗР виконано скінченну кількість ітерацій (Np) відповідної статистичної імітаційної моделі, за яких дію кожного ймовірнісного чинника відображали з кратністю $Np = 25$ [1]. У результаті отримано репрезентативні вибірки даних щодо своєчасності виконання технологічних операцій обприскування стеблостою склеювачами та комбайнового збирання насіння.

Імітаційне моделювання відповідних механізованих технологічних процесів виконували для заданого технічного оснащення (висококліренсний обприскувач Мекосан Теснома Laser 4240-30 та комбайн CLAAS Mega 360), що функціонує в

агrometeorологічних умовах Яворівського району Львівської області (статистичні закономірності взято із [6; 11]). Моделювання виконували для виробничої площі (S_r) культури в межах 10-500 га.

Опрацювання результатів моделювання щодо обсягів (Ω_n) несвоєчасно обприсканих площ дало змогу встановити залежність імовірності виникнення технологічних втрат та, власне, залежності Ω_n від S_r (рис. 1). Використання методів кореляційно-регресійного аналізу [9] та визначення кореляційного відношення (яке становить $n = 0,736$) дало змогу довести наявність залежності, яка описується поліномом третього ступеня:

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

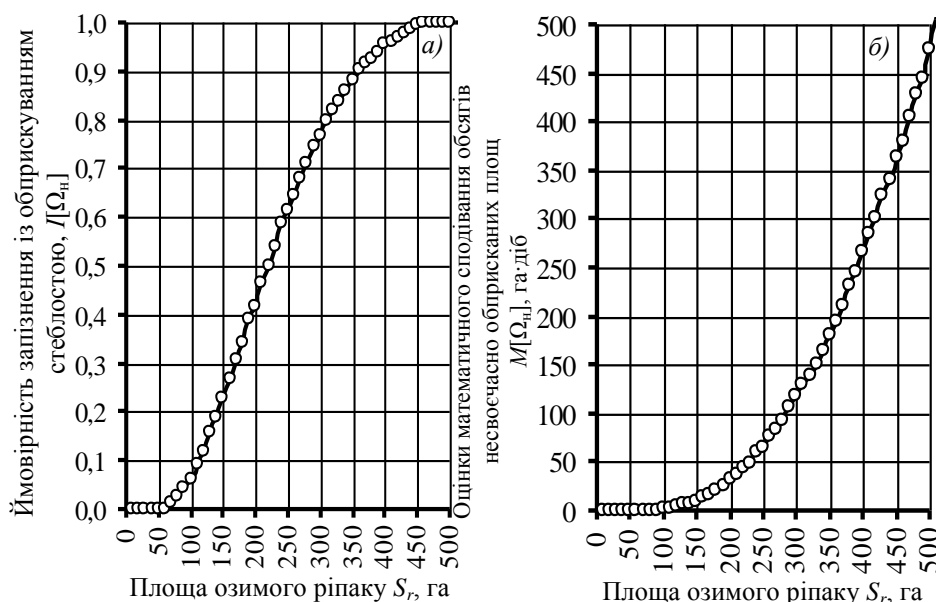


Рис. 1. Залежність ймовірності запізнення (а) з обприскуванням стеблостою склеювачами та оцінок математичного сподівання обсягів несвоєчасно обприсканих площ (б) від площі озимого ріпаку.

Оскільки досягання стручків ріпаку є нерівномірним у часі, ми розглянули декілька варіантів часу початку збиральних робіт (τ_{np}), які вибирали за критерієм частки (ϵ) підсохлих (сухих) стручків у стеблості поля. Зокрема, насамперед τ_{np} приймали за наявності 70 % сухих стручків ($\tau_{np}^{\epsilon 0,7}$) у стеблості зі збільшенням цього показника до 100 % ($\tau_{np}^{\epsilon 1,0}$).

Значне сезонне завантаження комбайнів призводить до того, що за пізніх термінів $\tau_{\text{пр}}$ збирання насіння озимого ріпаку може тривати до початку досягання суміжної (наступної) культури, у нашому випадку озимої пшениці [10]. У цьому разі зростає ймовірність ($L[S_n]$) запізнення з відповідними технологічними процесами (рис. 2, а) та виникнення обсягів (S_n) незібраних площ (рис. 2, б):

- за $\tau_{\text{пр}}^{\varepsilon 0,7}$ залежність S_n від S_r описується таким рівнянням:

$$S_n^{\varepsilon 0,7} = -9,5 \cdot 10^{-9} \cdot S_r^4 + 1,21 \cdot 10^{-5} \cdot S_r^3 - 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot S_r^2 + 0,5657 \cdot S_r - 26,178, \\ n = 0,992;$$

$$- \tau_{\text{пр}}^{\varepsilon 0,75} : S_n^{\varepsilon 0,75} = -8,7 \cdot 10^{-9} \cdot S_r^4 + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot S_r^3 - 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot S_r^2 + 0,5657 \cdot S_r - \\ - 26,178, n = 0,991;$$

$$- \tau_{\text{пр}}^{\varepsilon 0,8} : S_n^{\varepsilon 0,8} = -8 \cdot 10^{-9} \cdot S_r^4 + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot S_r^3 - 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot S_r^2 + 0,5657 \cdot S_r - \\ - 26,178, n = 0,992;$$

$$- \tau_{\text{пр}}^{\varepsilon 0,85} : S_n^{\varepsilon 0,85} = -8 \cdot 10^{-9} \cdot S_r^4 + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot S_r^3 - 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot S_r^2 + 0,5657 \cdot S_r - \\ - 26,178, n = 0,992;$$

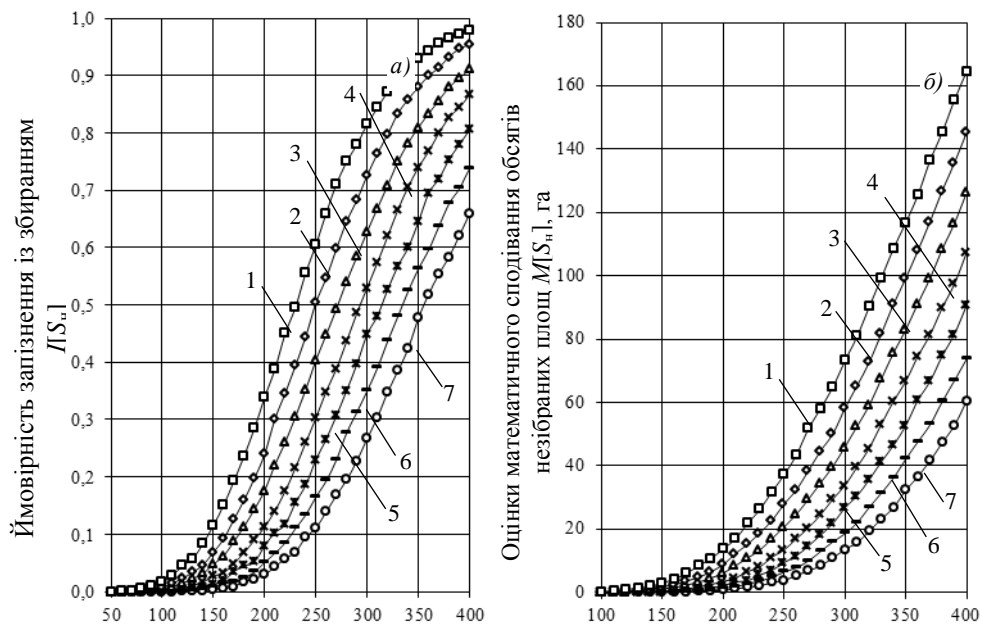
$$- \tau_{\text{пр}}^{\varepsilon 0,9} : S_n^{\varepsilon 0,9} = -1,95 \cdot 10^{-8} \cdot S_r^4 + 2,14 \cdot 10^{-5} \cdot S_r^3 - 6,6 \cdot 10^{-3} \cdot S_r^2 + 0,8173 \cdot S_r - \\ - 35,428, n = 0,993;$$

$$- \tau_{\text{пр}}^{\varepsilon 0,95} : S_n^{\varepsilon 0,95} = -2,1 \cdot 10^{-8} \cdot S_r^4 + 2,16 \cdot 10^{-5} \cdot S_r^3 - 5,7 \cdot 10^{-3} \cdot S_r^2 + 0,5939 \cdot S_r - \\ - 21,896, n = 0,992;$$

$$- \tau_{\text{пр}}^{\varepsilon 1,0} : S_n^{\varepsilon 1,0} = -2,3 \cdot 10^{-8} \cdot S_r^4 + 1,97 \cdot 10^{-5} \cdot S_r^3 - 3,8 \cdot 10^{-3} \cdot S_r^2 + 0,2604 \cdot S_r - \\ - 4,554, n = 0,991.$$

Виникнення S_n зумовлює зниження ефективності ТПЗР, оскільки роботи виконані несвоєчасно. За таких умов втрачатиметься врожай на незібраній площі озимого ріпаку.

Таким чином, застосування розробленої статистичної імітаційної моделі ТПОС та ТПЗР дає змогу отримати статистичні закономірності зміни основних функціональних показників відповідних механізованих технологічних процесів за різної площі культури. Тоді виникає можливість встановити екстремум функції критерію ефективності – обсягів зібраного врожаю, а відтак обґрунтувати параметри технічного оснащення відповідних технологічних систем.



Площа озимого ріпаку S_r , га

Площа озимого ріпаку S_r , га

Рис. 2. Залежність ймовірності запізнення із збиранням (а) та оцінок математичного сподівання обсягів незібраних площ озимого ріпаку (б) від його виробничої площі за різного початку робіт: 1 – $\tau_{\text{пр}}^{\varepsilon 1,0}$; 2 – $\tau_{\text{пр}}^{\varepsilon 0,95}$;

3 – $\tau_{\text{пр}}^{\varepsilon 0,9}$; 4 – $\tau_{\text{пр}}^{\varepsilon 0,85}$; 5 – $\tau_{\text{пр}}^{\varepsilon 0,8}$; 6 – $\tau_{\text{пр}}^{\varepsilon 0,75}$; 7 – $\tau_{\text{пр}}^{\varepsilon 0,7}$.

Висновки. Несвоечасність механізованих технологічних процесів обприскування стеблостою склеювачами зумовлює самоосипання насіння озимого ріпаку з частини поля як до початку збирання врожаю, так і під час виконання цих робіт. Вірогідність такого впливу ТПОС на умови виконання ТПЗР оцінено на підставі встановленої залежності ймовірності запізнення з обприскуванням стеблостою склеювачами від площі озимого ріпаку. Відповідно до цієї залежності, а також залежності обсягів несвоечасно обприсканих площ озимого ріпаку від площі культури встановлено, що використання висококліренсного обприскувача Мекосан Теспота Laser 4240-30 на площі понад 250 га призводить до високої ймовірності запізнення з роботами ($I[\Omega_n] = 0,616$) та різкого зростання обсягів технологічних втрат. Результати комп'ютерних експериментів щодо використання комбайна CLAAS Mega 360 за різних термінів часу початку збиральних робіт

($\tau_{\text{пр}}^{\varepsilon 0,7} \dots \tau_{\text{пр}}^{\varepsilon 1,0}$) переконують у тому, що більшого системного ефекту можна домогтися за умови порівняно швидшого виходу техніки в поле (за наявності 70 % сухих стручків озимого ріпаку).

Бібліографічний список

1. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М. : Наука, 1978. – 351 с.
2. 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 ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / А. Н. Власенков. – СПб., 2013. – 20 с.
3. Завалишин Ф. С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве / Ф. С. Завалишин. – М. : Колос, 1973. – 319 с.
4. Пасечная Л. Д. Методические основы определения технического оснащения уборочных работ : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 „Технологии и средства механизации сельского хозяйства” / Л. Д. Пасечная. – Краснодар : Кубан. СХИ, 1988. – 19 с.
5. Пилюк Я. Э. Пиктор – проверенный помощник озимого рапса / Я. Э. Пилюк // Белорусская нива. – 2010. – № 86. – С. 3.
6. Сидорчук Л. Л. Ідентифікація конфігурації парку комбайнів у проектах систем централізованого збирання ранніх зернових культур : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.22 «Управління проектами та програмами» / Л. Л. Сидорчук. – Львів, 2008. – 18 с.
7. Сидорчук О. В. Інженерний менеджмент: системотехніка виробництва : навч. посіб. / О. В. Сидорчук, С. Р. Сенчук. – Львів : Львів. ДАУ, 2006. – 127 с.
8. Табашников А. Т. Оптимизация уборки зерновых и кормовых культур / А.Т. Табашников. – М. : Агропромиздат, 1985. – 159 с.
9. Уланова Е. С. Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии / Е. С. Уланова, В. Н. Забелин. – Л. : Гидрометеоиздат, 1990. – 146 с.
10. 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.

11. Шолудько П. В. Системно-подієві засади планування проектів захисту рослин обприскуванням : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.22 «Управління проектами та програмами» / П. В. Шолудько. – Львів, 2011. – 20 с.

Сидорчук О., Луб П., Шарибура А., Березовецький С. Результати статистичного імітаційного моделювання механізованих технологічних процесів збирання озимого ріпаку

Акцентовано на важливості завдань своєчасного збору врожаю озимого ріпаку. Розкрито особливості впливу складових технологічної системи збирання озимого ріпаку на показники її ефективності. Констатовано вагомість узгодження параметрів технічного оснащення з обсягами збирання відповідної культури для забезпечення ефективності технологічних систем збирання. Виокремлено біологічно-предметну та агрометеорологічну складові, що об'єктивно формують часові обмеження на виконання механізованих технологічних процесів відповідної технологічної системи. Представлено результати комп'ютерних експериментів із статистичною імітаційною моделлю процесів обприскування стеблостою склеювачами та комбайнового збирання насіння ріпаку.

Ключові слова: моделювання, озимий ріпак, досягання, самоосипання насіння, обприскування склеювачами, збирання, технічне оснащення, технологічні втрати, функціональні показники.

Sydorchuk O., Lub P., Sarybura A., Berezoveckii S. The results of statistical simulation modeling of technological mechanized process of winter rape harvesting

The importance of timely tasks of winter rape harvesting is accented. The features of the impact of technological system on the components of winter rape harvesting indexes of its efficiency are outlined. It notes the significance of harmonization of technical equipment of the culture harvest volumes for the efficiency of technological systems of harvesting. The biological-subject and agrometeorological elements that objectively form the time limit to implement mechanized processes for relevant technological systems are determined. The results of computer simulation experiments for statistical modeling processes of stem-in-stand glue spraying and combine harvesting of rapeseeds are represented.

Key words: modeling, winter rape, ripening, seeds self-abscission, glue spraying, harvest, equipment, process loss, functional indexes.

**Сидорчук А., Луб П., Шарибура А., Березовецкий С.
Результаты статистического имитационного моделирования
механизированных технологических процессов уборки озимого
рапса**

Акцентируется внимание на важности задачи своевременной уборки урожая озимого рапса. Раскрыты особенности влияния составляющих технологической системы уборки озимого рапса на показатели ее эффективности. Констатируется весомость задачи согласования параметров технической оснастки с объемами уборки соответствующей культуры для обеспечения эффективности данных технологических систем. Выделены биологически-предметная и агрометеорологическая составляющие, которые объективно формируют ограничения времени для выполнения механизированных технологических процессов соответствующей технологической системы. Представлены результаты компьютерных экспериментов со статистической имитационной моделью процессов опрыскивания растений склеивателями и комбайновой уборки семян рапса.

Ключевые слова: моделирование, озимый рапс, созревание, осыпание семян, опрыскивание склеивателями, уборка, техническая оснастка, технологические потери, функциональные показатели.