

УДК 658.631.3

**О.В. Сидорчук, проф., д-р техн. наук**  
ННЦ „ІМЕСГ”

**А.О. Шарибура, наук. співроб.**

*Західний науково-дослідний центр інженерії агротехнологічних систем ННЦ „ІМЕСГ”*

## Результати моделювання проекту збирання льону-довгунця

Обґрунтовано етапи та методику побудови статистичної імітаційної моделі проекту збирання льону-довгунця. Наведені результати експериментування з моделлю. Оптимізовано сезонну площу збирання для заданих параметрів технічного оснащення проекту.

**модель, проект, процес, етап, збирання, льон-довгунець**

**Постановка проблеми.** Реалізуючи щороку проекти збирання льону-довгунця, сільськогосподарські підприємства намагаються домогтися безвартного збирання. Однак, наявність технологічного ризику в цих проектах не завжди дає змогу отримати бажаний результат. Нерідко через агрометеорологічні умови та недоліки в управлінні проектами з технологічним ризиком терміни збирання цієї культури видовжуються, через що виникають втрати вирощеного врожаю (як насіння, так і волокна). Мінімізувати ці витрати можна завдяки ефективному управлінні змістом та часом виконання збиральних робіт, яке досягається за умови узгодження параметрів технічного оснащення проектів з характеристиками їх виробничих програм (обсягом площі посіву). Обґрунтування ефективних (узгоджених) параметрів технічного оснащення проектів із згаданими характеристиками є важливим етапом вирішення проблем мінімізації втрат вирощеного врожаю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі наукові дискусії щодо доцільних обсягів збирання льону-довгунця роздільним та комбайновим способами [2,3,4,5,7], на наш погляд, є безпідставними без узгодження параметрів технологічного оснащення проектів з характеристиками їх виробничих програм. Чинні методи такого узгодження для проектів збирання ранніх зернових [8,11] хоча і враховують наявність технологічного ризику, однак не відображають того, що в даних проектах відбувається управління збиральними роботами та часом їх виконання. А тому скористатися розробленими комп'ютерними програмами для загаданого узгодження не має змоги.

**Метою дослідження** є розроблення методики узгодження параметрів технічного оснащення з характеристиками виробничої програми проектів збирання льону-довгунця та встановлення закономірностей зміни їх функціональних показників на основі статистичного імітаційного моделювання.

**Результати дослідження.** Розв'язання означеної інженерної задачі можна здійснити лише шляхом статистичного імітаційного моделювання реалізації проектів збирання льону-довгунця [8,9,11]. Воно дає змогу визначити закономірності зміни їх функціональних показників, пришвидшити та здешевити дослідження. Статистичне імітаційне моделювання уможливорює врахування наявності технологічного ризику, поточного управління збиральними роботами та часом їх виконання [8,9,11].

Узагальнюючи можна сказати, що моделювання дає змогу об'єктивно визначити ефективність проектів збирання льону-довгунця без використання складних та дорогих виробничих експериментів.

Побудова статистичної імітаційної моделі та моделювання відбувається послідовно, за певними етапами, а саме: створенням концептуальної моделі; підготовка початкових даних; розроблення математичної моделі; вибір методу та засобів моделювання; розроблення програмної моделі (комп'ютерної програми); перевірка моделі на адекватність; планування експериментів з моделлю; моделювання; аналіз результатів моделювання [9].

Створення концептуальної моделі – дало змогу у словесній формі здійснити опис проекту та означити його зміст (рис.1). В результаті чого встановлено, що зміст проекту збирання льону-довгунця залежить від стану предмета праці та агрометеорологічних умов. Отже, якість та кількість зібраного врожаю залежить від гнучкості збирального комплексу, своєчасності виконання операцій технологічного процесу.

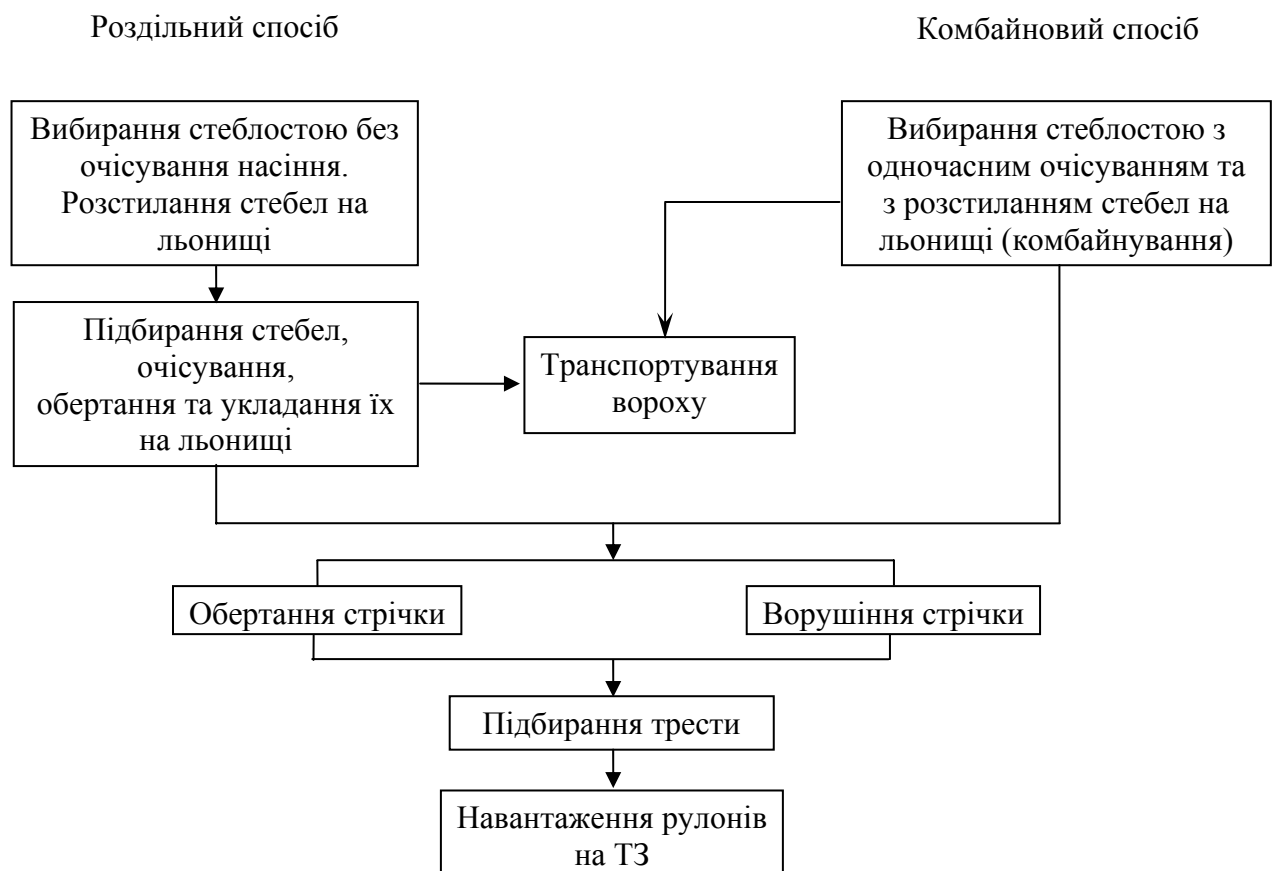


Рисунок 1 - Схема реалізації проекту механізованого збирання льону-довгунця

Підготовка початкових даних. Для цього на підставі пасивних експериментів було передбачено збір та аналіз статистичних даних, а саме часу настання подій, часу їх припинення та кількісного оцінення їх тривалостей.

На підставі системного аналізу проекту збирання льону-довгунця встановлено, що зміст та час виконання робіт визначається такими подіями: 1) часом настання (в добах від початку календарного року) та тривалістю ранньої-жовтої фази стиглості в  $n$ -й рік відповідно  $(\tau_{p.ж}^n)$ ,  $(t_{p.ж}^n)$ , діб; 2) часом настання та тривалістю жовтої фази

стиглості в  $n$ -й рік відповідно  $(\tau_{ж}^n)$ ,  $(t_{ж}^n)$ , діб; 3) часом настання та тривалістю повної фази стиглості в  $n$ -й рік відповідно  $(\tau_n^n)$ ,  $(t_n^n)$ , діб; 4) часом появи та припинення опадів на календарній вісі часу  $n$ -о року, відповідно  $(\tau_{нд})$ ,  $(\tau_{кд})$ , год; 5) часом появи та припинення роси у  $j$  – у добу  $n$ -о року, відповідно  $(\tau_{np}^{jn})$ ,  $(\tau_{зр}^{jn}, \tau_{зр})$ , год; 6) дефіцитом вологості повітря в розрізі доби  $j$  –  $i$  ( $D_{jn}$ ), за якої виконання окремих збиральних операцій недопустиме, гПа.

Для збору необхідної статистичної інформації щодо зазначених подій, були опрацьовані архівні матеріали Яворівської агрометеорологічної станції (Львівська область). Опрацювання статистичних даних виконували за допомогою методів математичної статистики. Для того щоб модель реально відображала проекти збирання льону-довгунця в її роботу закладено певні фізичні параметри технічного оснащення робіт.

До цих параметрів відносимо у першу чергу трактори та с.-г. машини, їх кількість, а також продуктивність та витрату палива машинно-тракторними агрегатами, які формуються для виконання операцій з роздільного та комбайнового способів збирання. Кількісні значення перелічених показників були одержані з „Типових норм продуктивності і витрат палива на збиранні сільськогосподарських культур” [6,10] (для машин які серійно виготовляються) та протоколів попередніх випробувань (для машин які тільки-но впроваджуються у виробництво) табл. 1.

Таблиця 1 - Фізичні показники технічного оснащення робіт у проекті

№ п/п	Марка трактора / с.г. машини	Кількість, од	Агрегаткування	Ширина захвату	Змінна норма продуктивності, га	Витрата палива, л/га
1	T-25A	2	–	–	–	–
2	MT3-82	2	–	–	–	–
3	ТЛН-1,5	1	T-25A	1,52 м	3,3	6,8
4	ПМЛ-1	1	MT3-82	1 стрічка	5,11	11,7
5	ЛК-4А	1	MT3-82	1,52 м	3,8	15,6
6	ОСН-1А	2	T-25A	1 стрічка	4,69	2,9
7	ПРП-1,6	1	MT3-82	1 стрічка	2,9	14,5

До важливих показників, що відображають на функціональні характеристики проекту відносять втрати урожаю. Оскільки в процесі збирання льону-довгунця отримуємо два види продукції (насіння та тресту) виникає необхідність визначати втрати для кожного з них.

Враховуючи біологічні особливості предмета праці, а також користуючись методами аналізу та експертного оцінення було встановлено, що втрати насіння та трести слід розділити на часткові та повні. Визначити ці показники необхідно окремо як для роздільного, так і для комбайнового способів збирання. Критерії, за якими визначали кількісні показники часткових та повних втрат насіння наведені табл. 2.

Таблиця 2 - Критерії оцінення кількісних показників часткових та повних втрат насіння

Технології збирання	Часткові втрати насіння	Повні втрати насіння
Роздільна	- Тривалість вилежування не очесаної стрічки перевищує 4 доби, при цьому щоденні втрати складають 0,5% від біологічного врожаю насіння.	- Під час вилежування неочесаної стрічки тривалість опадів становить понад 2 доби. - Тривалість вилежування не обчесаної стрічки перевищує 8 діб.
Комбайнова	- Збирання у повній фазі стиглості, при цьому щоденні втрати складають 0,5% від біологічного врожаю насіння з гектара.	- На площі, що залишилась незібраною після завершення повної фази стиглості.

Часткові втрати трести визначалися як різниця між максимальним прибутком (якщо б уся зібрана треста мала найвищий номер), що міг бути отриманий, і реальним, який було одержано з даної площі.

Площу, на якій виникли повні втрати трести знаходимо як різницю між загальною площею збирання льону-довгунця (сезонним навантаженням) та сумою фактично виконаних площ роздільним та комбайновим способами.

Розробка математичної моделі проекту збирання льону-довгунця, полягала у формалізованому його записі та складанні алгоритму реалізації, що в подальшому уможливило побудову комп'ютерної моделі

Вибір методу та засобів моделювання. На даний час відомо безліч методів моделювання, проте найбільш універсальним з них, що дає змогу здійснювати дослідження систем та кількісно оцінювати їх функціонування є метод статистичного імітаційного моделювання. В ньому динамічні процеси проекту-оригіналу замінюються процесами, що імітуються в абстрактній моделі, але з дотриманням таких же співвідношень тривалостей і часових послідовностей окремих подій [9]. Для здійснення статистичного імітаційного моделювання в середовищі Turbo Pascal 7.0 було розроблено комп'ютерну програму реалізації проекту збирання льону-довгунця.

Перевірка моделі на адекватність здійснювалась за допомогою критерія Манна-Уїтні. Її результати свідчать про те, що модель адекватно відображає реалізацію проекту збирання льону-довгунця із необхідною довірчою ймовірністю.

Аналіз результатів моделювання. Отримані результати дали змогу побудувати залежності фактично зібраних площ роздільним та комбайновим способами збирання від площі вирощування культури (рис. 2).

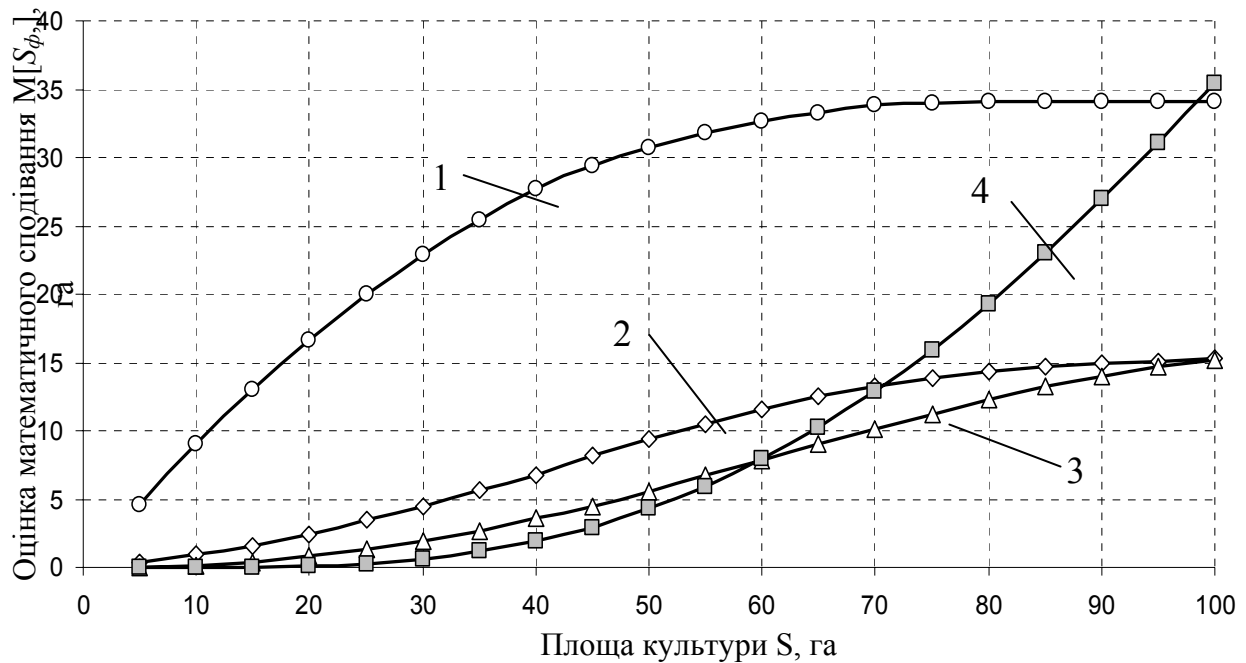


Рисунок 2 - Залежність оцінки математичного сподівання фактично виконаних площ  $S_{\phi}$  за роздільним у ранній жовтій фазі стиглості (1) та комбайновим способом у жовтій (2) та повній фазах стиглості (3) від площі збирання льону-довгунця, а також площі на яких виникли повні втрати (4), га.

На підставі досліджень моделі встановлено, що для умов даного регіону оцінки математичного сподівання фактично зібраних площ описуються такими рівняннями:

- для роздільного

$$M[S_{\phi}^p] = 3 \cdot 10^{-7} \cdot S^4 - 2 \cdot 10^{-5} \cdot S^3 - 0,0076 \cdot S^2 + 1,0134 \cdot S - 0,3861; \quad (1)$$

- для комбайнового у жовтій фазі стиглості

$$M[S_{\phi}^k] = 3 \cdot 10^{-7} \cdot S^4 - 9 \cdot 10^{-5} \cdot S^3 + 0,0081 \cdot S^2 - 0,0329 \cdot S + 0,4769; \quad (2)$$

- для комбайнового у повній фазі стиглості

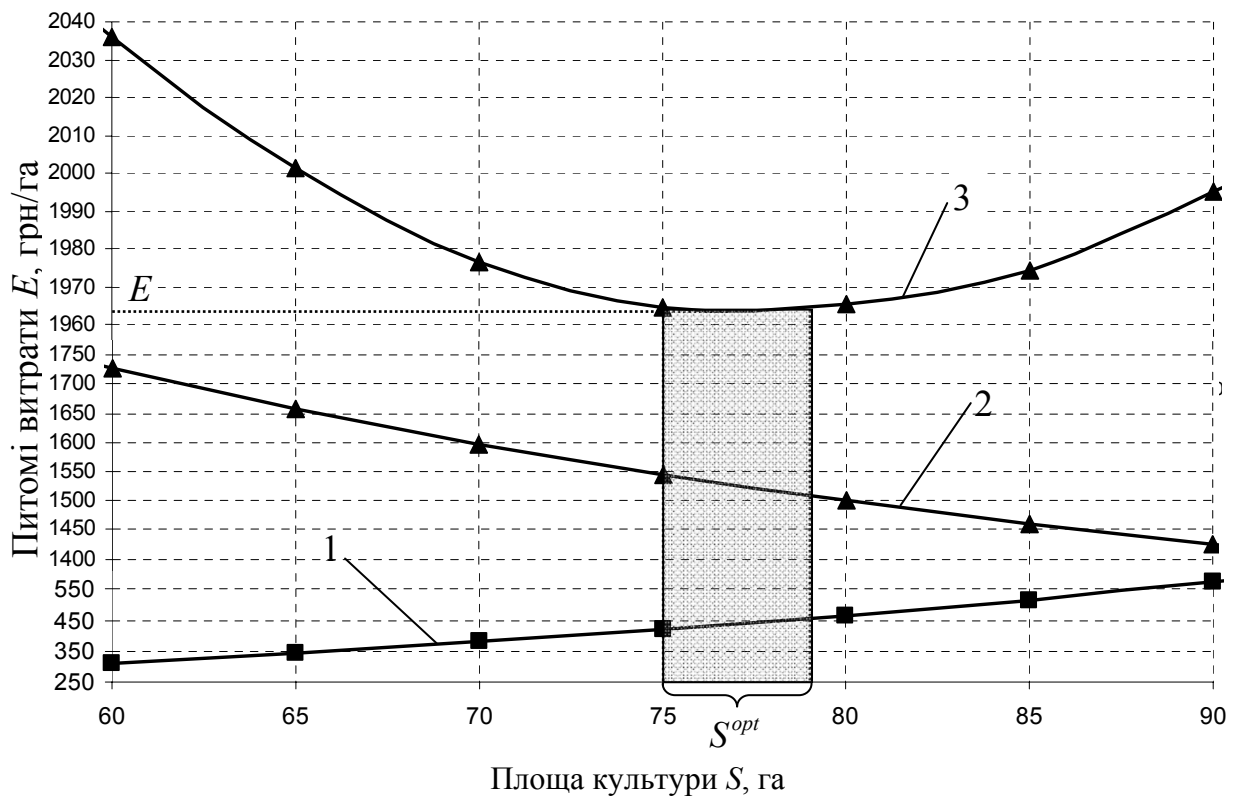
$$M[S_{\phi}^k] = -1 \cdot 10^{-7} \cdot S^4 - 3 \cdot 10^{-6} \cdot S^3 + 0,0033 \cdot S^2 - 0,0336 \cdot S + 0,1384; \quad (3)$$

Площі, на яких виникли повні втрати, описуються рівнянням:

$$M[S_{II}] = -4 \cdot 10^{-7} \cdot S^4 + 0,0001 \cdot S^3 - 0,0038 \cdot S^2 + 0,0534 \cdot S - 0,2324. \quad (4)$$

Функціональні показники проекту – (фактично зібрані площі) за заданої характеристики виробничої програми проекту (планової площі збирання) зумовлюються предметними характеристиками проектного середовища (які визначають тривалість фенологічних фаз стиглості льону-довгунця), показниками агрометеорологічних умов, які щороку є непостійні, та параметрами технічного забезпечення робіт у проекті.

На основі результатів моделювання перебігу проекту збирання льону-довгунця, використовуючи чисельний метод, були здійснені розрахунки узгодження виробничих характеристик з параметрами технічного оснащення проекту. Вартісне оцінення функціональних показників здійснюється шляхом визначення за встановленою методикою питомих експлуатаційних витрат сільськогосподарського підприємства (СП) на функціонування технічного оснащення проекту [12,13]. На підставі цього, уможливується встановлення закономірності зміни показників ефективності процесу збирання льону-довгунця за відповідних параметрів технічного оснащення від приросту площі ріллі СП (рис. 3).



1 – сумарні питомі втрати по волокну та насінню; 2 – питомі експлуатаційні витрати; 3 – сумарні витрати

Рисунок 3 - Оптимізація площі для проекту збирання

Обґрунтування оптимальної площі передбачало для кожного значення аргументу (площі збирання льону-довгунця) розрахунок сумарних питомих втрат трести та насіння (грн/га), а також питомих експлуатаційних витрат (грн/га) з наступним їх додаванням. Оптимальне значення площі для комбайнового способу збирання визначалося графоаналітичним методом. Встановлено, що мінімальні сумарні витрати становлять – 1964 грн/га, а оптимальна площа знаходиться в межах –  $S^{opt} = 75 - 79$  га.

**Висновки:**

1. Дослідження проекту збирання льону-довгунця за допомогою статистичного імітаційного моделювання уможливило отримання вірогідних результатів, оскільки в його основі лежать статистичні характеристики притаманні даному проекту. Під час реалізації імітаційної моделі генеруються ймовірні характеристики подій, комбінація яких створює випадкові сценарії реалізації проекту. Кількісні показники ефективності відповідно для кожного із них є різними, що дає змогу приймати ефективні управлінські рішення.

2. Узгодження робіт у проекті збирання льону-довгунця із сезонною площею за вартісними критерієм дало змогу графоаналітичним методом встановити оптимальне значення сезонної площі для заданого технічного оснащення, яке знаходиться в межах  $S^{opt} = 75 - 79$  га, мінімальні сумарні витрати при цьому складають – 1964 грн/га.

3. Опрацювання результатів комп'ютерних експериментів із статистичною імітаційною моделлю проекту збирання льону-довгунця методом кореляційно-регресійного аналізу дало змогу встановити, що математичне сподівання при оптимальному сезонному навантаженні за заданого технічного оснащення для роздільного способу збирання в агрометеорологічних умовах Малого полісся

Львівщини знаходиться в межах  $M[S_{\phi}^p] = 33,95 - 34,04$  га., а для комбайнового у жовтій та повній фазах стиглості відповідно  $M[S_{\phi}^k] = 13,89 - 14,29$  га та  $M[S_{\phi n}^k] = 11,23 - 12,09$  га. Повні втрати при цьому знаходяться в межах  $M[S_{II}] = 15,93 - 18,58$  га.

## Список літератури

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Вентцель Е.С. – М. : Наука, 1976. – 576 с.
2. Интенсификация машинных технологий производства и переработки льнопродукции : работы конф., 15–16 июля 2004 г., Тверь. Ч. 1 / отв. ред. М.М.Ковалев. – Тверь. : Российская АСН, Государ. науч. учережд. ВНИПТИМЛ, 2004. – 200 с.
3. К вопросу о раздельной технологии уборки льна : [Электронный ресурс] / Д.М. Труш // Русский лен – 2005. – Режим доступа к журн.: <http://www.rustrana.ru/>.
4. Корсак С.Й. Передумови енерго- і ресурсозбереження на збиранні льону-довгунцю / С.Й. Корсак, А.О. Ковальчук // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2001. – №85. – С. 135–138.
5. Макаєв В.І. Роздільна ресурсозберігаюча технологія збирання льону-довгунцю / В.І. Макаєв // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2003. – №87. – С. 149–153.
6. Механізовані польові роботи/Методика розрахунку і норми виробітку та витрати пального на збирання сільськогосподарських культур і стаціонарні роботи. Під редак. В.В. Вітвіцького – книга 4.–К. : „Комплекс Віта” 1996.–669с.
7. Поздняков Б.А. Организационно-экономические аспекты технологизации льняного комплекса / Б.А. Поздняков, М.М.Ковалев. – Тверь : ГУПТО Тверская областная типография, 2006. – 208 с.
8. Сидорчук Л.Л. Ідентифікація конфігурації парку комбайнів у проектах систем централізованого збирання ранніх зернових культур : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.22 / Сидорчук Леонід Леонідович. – Львів, 2008. – 180 с.
9. Сидорчук О.В. Інженерний менеджмент: системотехніка виробництва : навчальний посібник / О.В. Сидорчук, С.Р. Сенчук. –Львів : Львів. ДАУ, 2006.– 127 с.
10. Типові норми продуктивності і витрат палива на збиранні сільськогосподарських культур / В.В.Вітвіцький, І.М.Демчак, В.С.Пивовар та ін. – К. : НДІ „Украгропромпродуктивність”, 2005. – 544с.
11. Ціп Є.І. Сезонна програма комбайна і ризик у процесі централізованого збирання ранніх зернових : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.22 / Ціп Євген Іванович. – Львів, 2002. – 182 с.
12. ГОСТ 23728-88- ГОСТ 23730-88 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – М. : Изд-во стандартов, 1988 – 26 с.
13. Марченко В. Методика визначення показників економічної ефективності використання комплексів машин та машинно-тракторного парку//Зб. наук.пр. НАУ. Механізац. с.г. ви-ва. – Т.ХІV. – 2003. – С.189-194.

*О. Сидорчук, А. Шарибура*

### **Результаты моделирования проекта сбора льна-долгунца**

Обоснованы этапы и методика построения статистической имитационной модели проекта сбора льна-долгунца. Приведены результаты экспериментирования с моделью. Оптимизирована сезонная площадь сбора для заданных параметров технической оснастки проекта.

*О. Sidorchuk, A. Sharibura*

### **Results design of project collection of flax-long-stalk flax**

Grounded the stages and method of construction statistical simulation model project of collection flax-long-stalk flax. The results of experimentation are resulted with a model. The seasonal area of collection is optimized for preset the parameter of the technical rigging project.

Одержано 24.11.09