

УДК 631.153:633.1+004.94

Передумови моделювання виникнення предметно-агrometeorологічних подій в технологічних процесах вирощування зернових культур

Днесь В. І., к.т.н., Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

Скібчик В. І., к.т.н., Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

Кудринський Р. Б., к.т.н., Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

Сіваковська О. М., к.т.н., Луцький національний технічний університет

Анотація

Мета. Розкрити методичні засади моделювання предметно-агrometeorологічних подій в технологічних процесах під час вирощування зернових культур, що дасть змогу підвищити їх ефективність завдяки врахуванню впливу цих подій на етапі планування.

Методи. У дослідженні було використано методи аналізу та синтезу, системно-чинникового та системно-подієвого підходів до дослідження технологічних процесів під час вирощування зернових культур. Для розроблення алгоритмів моделювання цих технологічних процесів було використано дискретно-подієвий підхід.

Результати. Означено та класифіковано предметно-агrometeorологічні події в технологічних процесах під час вирощування зернових культур, встановлено статистичні характеристики розподілів часу виникнення та тривалості цих подій; розкрито методичні засади та розроблено алгоритми їх моделювання.

Висновки

1. Аналіз предметно-агrometeorологічних подій в технологічних процесах під час вирощування зернових культур дав змогу класифікувати їх за часом і періодичністю появи, а також означити зміст впливу кожної з них на перебіг цих

процесів, що уможливило розроблення алгоритмів моделювання виникнення зазначених подій.

2. Встановлені статистичні характеристики розподілів часу відновлення весняної вегетації, завершення тривалості осінньої вегетації озимих зернових культур, часу досягання їхніх характерних попередників, а також закономірності зміни тривалості прогрівання ґрунту в різних регіонах України дають змогу прогнозувати (генерувати) настання фаз розвитку рослин та часові обмеження на виконання механізованих операцій в заданих природно-виробничих умовах окремих сільгосптоваровиробників.

3. Розроблені науково-методичні засади моделювання предметно-агrometeorологічних подій в технологічних процесах вирощування зернових культур лежать в основі створення їхніх комп'ютерних моделей, практичне використання яких дасть змогу прогнозувати часові обмеження виконання механізованих операцій та характеристики потоків замовлень на їхнє виконання.

Ключові слова: предметно-агrometeorологічні події, технологічні процеси, вирощування зернових культур, механізовані операції, моделювання.

UDC 631.153:633.1+004.94

Prerequisites for simulation the occurrence of subject-agrometeorological events in the technological processes of cultivating grain crops

Dnes V. I., Cand. Eng. Sc. (Ph. D.), Head Department, National scientific centre "Institute of agricultural engineering and electrification"

Skibchik V. I., Cand. Eng. Sc. (Ph. D.), Head Department, National scientific centre "Institute of agricultural engineering and electrification"

Kudrynetskyi R. B., Cand. Eng. Sc. (Ph. D.), Head Department, National scientific centre "Institute of agricultural engineering and electrification"

Sivakovska O. M., Cand. Eng. Sc. (Ph. D.), Head Department, Associate Professor, Lutsk National Technical University

Annotation

Purpose. To reveal the methodological principles of modeling of subject-agrometeorological events in technological processes during the cultivation of grain crops, which will allow to increase their efficiency by taking into account the influence of these events at the planning stage.

Methods. The study used methods of analysis and synthesis, system-factor and system-event approaches to the study of technological processes during the cultivation of grain crops. To develop algorithms for modeling these technological processes, a discrete-event approach was used.

Results. Meteorological and agrometeorological events in technological processes during growing of grain crops are classified and classified, statistical characteristics of the distributions by time of occurrence and duration of these events are established; Methodical principles are revealed and algorithms of their modeling are developed.

Conclusions

1. The analysis of subject-agrometeorological events in the technological processes during the cultivation of grain crops made it possible to classify them in terms by time and periodicity, as well as to indicate the content of the influence of each of them

on the course of these processes, which made it possible to develop algorithms for simulating the occurrence of these events.

2. The statistical characteristics of the distribution by the time restoration of spring vegetation, the completion of the autumn winter vegetation period of winter crops, the time of reaching their characteristic predecessors, as well as the law The changes in the duration of soil warming in different regions of Ukraine make it possible to predict (generate) the onset of phases of plant development and time constraints for the implementation of mechanized operations in the given natural and production conditions of individual agricultural producers.

3. The developed scientific and methodological principles of modeling subject-agrometeorological events in the technological processes in cultivating grain crops underlie the creation of their computer models, the practical use of which will enable to predict the time constraints for the implementation of mechanized operations and the characteristics of the flow of orders for their implementation.

Keywords: subject-agrometeorological events, technological processes, cultivation of grain crops, mechanized operations, modeling.

УДК 631.153: 633.1 + 004.94

Предпосылки моделирования возникновения предметно-агрометеорологических событий в технологических процессах выращивания зерновых культур

Днесь В. И., к.т.н., Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

Скибчик В. И., к.т.н., Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

Кудринский Р. Б., к.т.н., Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

Сиваковская А. Н., к.т.н., Луцкий национальный технический университет

Аннотация

Цель. Раскрыть методические основы моделирования предметно-агрометеорологических событий в технологических процессах при выращивании зерновых культур, что позволит повысить их эффективность за счет учета влияния этих событий на этапе планирования.

Методы. В исследовании были использованы методы анализа и синтеза, системно-факторного и системно-событийного подходов к исследованию технологических процессов при выращивании зерновых культур. Для разработки алгоритмов моделирования этих технологических

процессов был использован дискретно-событийный подход.

Результаты. Отмечены и классифицированы предметно-агрометеорологические события в технологических процессах при выращивании зерновых культур, установлены статистические характеристики распределений времени возникновения и продолжительности этих событий; раскрыты методические основы и разработаны алгоритмы их моделирования.

Выводы

1. Анализ предметно-агрометеорологических событий в технологических процессах при выращивании зерновых культур позволил клас-

сифицировать их по времени и периодичности появления, а также обозначить содержание влияния каждой из них на ход этих процессов, что позволило разработку алгоритмов моделирования возникновения указанных событий.

2. Установлены статистические характеристики распределений времени возобновления весенней вегетации, завершение продолжительности осенней вегетации озимых зерновых культур, времени созревания их характерных предшественников, а также закономерности изменения продолжительности прогрева почвы в различных регионах Украины позволяют прогнозировать (генерировать) наступления фаз развития растений и временные ограничения на выполнение механизированных операций в заданных природно-производственных условиях отдельных сельхозтоваропроизводителей.

3. Разработанные научно-методические основы моделирования предметно-агрометеорологических событий в технологических процессах выращивания зерновых культур лежат в основе создания их компьютерных моделей, практическое использование которых позволит прогнозировать временные ограничения выполнения механизированных операций и характеристики потоков заказов на их выполнение.

Ключевые слова: предметно-агрометеорологические события, технологические процессы, выращивание зерновых культур, механизированные операции, моделирование.

Постановка проблеми. Високий рівень технологій виробництва сільськогосподарської продукції, технічна складність і висока вартість техніки потребують високого рівня управління технічною базою сільськогосподарських товаровиробників, пошуку способів зменшення матеріальних та енергетичних витрат. Пошук раціональних рішень під час комплектування та використання машинно-тракторного парку сільськогосподарських товаровиробників – одна з найскладніших задач механізації сільськогосподарського виробництва. Для її вирішення необхідно враховувати велику кількість чинників, частина з яких є некерованими та мають імовірнісний характер. Сьогодні відсутній загальний системний підхід до моделювання предметно-агрометеорологічних подій в технологічних процесах вирощування зернових культур, який лежить в основі створення імітаційних моделей цих процесів та прогнозування часових обмежень виконання технологічних операцій в них.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню тенденцій виникнення та впливу предметно-агрометеорологічних подій

на потоки вимог до виконання механізованих операцій в технологічних процесах вирощування зернових культур присвячено чимало науково-методичних праць [1–11]. Зокрема, вченими означено та розкрито причинно-наслідкові зв'язки між подіями та механізованими операціями часткових процесів обробітку ґрунту у весняний та літньо-осінній періоди [1, 2], інтегрованих процесів обробітку ґрунту та сівби озимих культур у літньо-осінній період [3, 4], захисту рослин обприскуванням [5], процесів збирання та післязбиральної обробки врожаю сільськогосподарських культур [6, 7, 8, 9, 10, 11]. Проте відсутній загальний системний підхід до моделювання предметно-агрометеорологічних подій в технологічних процесах вирощування зернових культур, який лежить в основі створення імітаційних моделей цих процесів та прогнозування часових обмежень виконання операцій в них.

Мета досліджень – розкрити методичні засади моделювання предметно-агрометеорологічних подій в технологічних процесах під час вирощування зернових культур, що дасть змогу підвищити їх ефективність завдяки врахуванню впливу цих подій на етапі планування.

Методи досліджень. У дослідженні було використано методи аналізу та синтезу, системно-чинникового та системно-подієвого підходів до дослідження технологічних процесів під час вирощування зернових культур. Для розроблення алгоритмів моделювання цих технологічних процесів було використано дискретно-подієвий підхід.

Результати досліджень. Аналіз агро-технологічних вимог до вирощування зернових культур дав змогу означити два основні періоди виконання технологічних процесів – весняно-літній та літньо-осінній [12]. У весняно-літній період виконуються технологічні процеси обробітку ґрунту, сівби ярих зернових культур, догляду за посівами (хімічний захист рослин). У літньо-осінній період виконують операції: збирання попередника, передпосівний обробіток ґрунту, сівба озимих зернових культур.

Особливістю технологічних процесів під час вирощування зернових культур є те, що ймовірнісний характер появи предметно-агрометеорологічних подій в період їх перебігу зумовлює можливість та доцільність виконання окремих механізованих операцій. Без глибокого аналізу цих подій неможливо

забезпечити узгодження механізованих операцій та ефективно виконання технологічних процесів. Створення й використання комп'ютерних моделей предметно-агрометеорологічних подій дасть змогу прогнозувати часові обмеження виконання механізованих операцій та характеристики потоків замовлень на їх виконання.

Предметно-агрометеорологічні події, що впливають на перебіг технологічних процесів під час вирощування зернових культур, можна розділити на дві групи: перша – події, що визначають терміни їх виконання; друга – події, що зумовлюють призупинення та відновлення їх виконання. Під впливом цих подій формуються фонди часу на виконання як окремих механізованих операцій, так і множини операцій. Імовірнісний характер виникнення агрометеорологічних подій зумовлює мінливість тривалості виконання технологічних процесів вирощування зернових культур як упродовж одного року для різних регіонів, так і в межах певного регіону в різні роки.

Аналіз предметно-агрометеорологічних подій в технологічних процесах вирощування зернових культур (табл. 1) свідчить, що для весняно-літнього періоду вирощування зернових культур притаманними є вісім основних подій, а для літньо-осіннього – шість. Кожна з предметно-агрометеорологічних подій відображає дію обмеженої множини чинників, що впливають на виконання механізованих операцій. Окрім цього, зміст впливу на перебіг технологічних процесів кожної з означених подій є різним. Слід зауважити, що за періодичністю появи подій в технологічних процесах вирощування зернових культур їх можна розділити на сезонні, які характеризуються разовою появою в окремий сезон, і добові – виникають (можуть виникати) щодоби сезону (табл. 1).

Для врахування ймовірнісного характеру предметно-агрометеорологічних подій весняно-літнього та літньо-осіннього періодів, а також їх впливу на перебіг технологічних процесів у вирощуванні зернових культур доцільно використати статистичне імітаційне моделювання цих процесів. Зокрема, в даному випадку можна викорис-

тати дискретно-подієвий підхід до моделювання [11].

Для цього розроблено узагальнені алгоритми моделювання предметно-агрометеорологічних подій в технологічних процесах вирощування зернових культур у весняно-літній та літньо-осінній періоди.

Алгоритм моделювання виникнення предметно-агрометеорологічних подій в механізованих процесах вирощування зернових культур весняно-літнього періоду (рис. 1) передбачає реалізацію чотирнадцяти основних етапів. Їх виконання дає змогу визначити фактичні фонди часу на виконання операцій передпосівного обробітку ґрунту та сівби ярих зернових, догляду за посівами (хімічного захисту рослин).

На першому етапі (рис. 1) моделювання часу виникнення предметно-агрометеорологічних подій обґрунтовується кількість реалізацій комп'ютерної моделі для забезпечення необхідної її точності та задаються характеристики природно-виробничих умов (географічне розташування та характеристики виробничого плану) сільськогосподарських товаровиробників (СГТ).

На другому етапі (рис. 1) генерується час настання фізичної стиглості ґрунту ($\tau_{ФСГ}$). Зокрема для умов Львівської області розподіл часу настання фізичної стиглості ґрунту узгоджується з нормальним законом розподілу скорегованим многочленом, головні статистичні характеристики якого: $\bar{M}[\tau_{ФСГ}] = 85,6$ діб; $\bar{\sigma}[\tau_{ФСГ}] = 13,4$ діб [1].

На третьому етапі (рис. 1) генерується час відновлення весняної вегетації ($\tau_{ВВВ}$) озимих зернових культур.

На основі статистичного опрацювання ретроспективних даних щодо часу відновлення весняної вегетації ($\tau_{ВВВ}$) озимих культур по Україні нами встановлено, що їхні розподіли узгоджуються з нормальним законом та описуються різними рівняннями густини розподілу (рис. 2). Для прикладу, оцінка математичного сподівання часу відновлення весняної вегетації озимих зернових культур для умов Львівської області $\bar{M}[\tau_{ВВВ}] = 90,32$ діб, а середньоквадратичного відхилення $\bar{\sigma}[\tau_{ВВВ}] = 14,23$ діб (рис. 2, а). Для умов Херсонської області: $\bar{M}[\tau_{ВВВ}] = 91,37$ діб, $\bar{\sigma}[\tau_{зов}] = 6,99$ діб (рис. 2, б).

Таблиця 1. Аналіз предметно-агрометеорологічних подій в технологічних процесах вирощування зернових культур
 Table 1. Analysis of subject-agrometeorological events in the technological processes by cultivating grain crops

№ п/п	Період виконання механізованих операцій технологічних процесів	Назва події	Відображає дію чинників*	Зміст впливу на перебіг технологічних процесів	Класифікаційна ознака за періодичністю появи в технологічних процесах	
1	Весняно-літній період	Настання фізичної стиглості ґрунту	Ам, Пр, Тл	Визначає початок виконання механізованих операцій обробітку ґрунту	Сезонна	
2		Прогрів ґрунту до температури сівби	Ам, Пр, Тл	Визначає початок виконання сівби ярих зернових культур	Сезонна	
3		Настання фенологічних фаз розвитку рослин	Ам, Пр, Тл	Визначають початки робіт з хімічного захисту рослин	Сезонна	
4		Випадання опадів	Ам, Пр, Тн	Визначає можливість виконання механізованих операцій	Добова	
5		Настання та завершення світлового проміжку доби	Ам, Тн		Добова	
6		Перевищення температури повітря 25 °С	Ам, Пр, Тл	Визначають можливість виконання механізованих операцій хімічного захисту рослин	Добова	
7		Зникнення роси	Ам, Пр, Тл		Добова	
8		Перевищення швидкості вітру 5 м/с	Ам, Пр, Тл		Добова	
9		Достигання попередника	Ам, Пр		Сезонна	
10		Завершення збирання попередника	Пр, Тн		Сезонна	
11		Випадання опадів	Ам, Пр, Тн		Добова	
12		Літньо-осінній період	Завершення передпосівного обробітку ґрунту	Пр, Тн	Визначає можливість виконання ґрунтообробно-посівних операцій	Сезонна
13			Завершення (прогнозоване) набору культурами необхідної суми активних середньо-добових температур	Ам, Пр, Тл	Визначає момент виникнення потреби сівби озимих зернових культур	Сезонна
14			Завершення фонду часу куціння озимих зернових культур	Ам, Пр	Визначає крайні терміни сівби озимих зернових культур, за яких продовження робіт є економічно недоцільне	Сезонна

* Примітка: Ам, Пр, Тл, Тн – агрометеорологічна, предметна, технологічна і технічна групи чинників, відповідно [13].

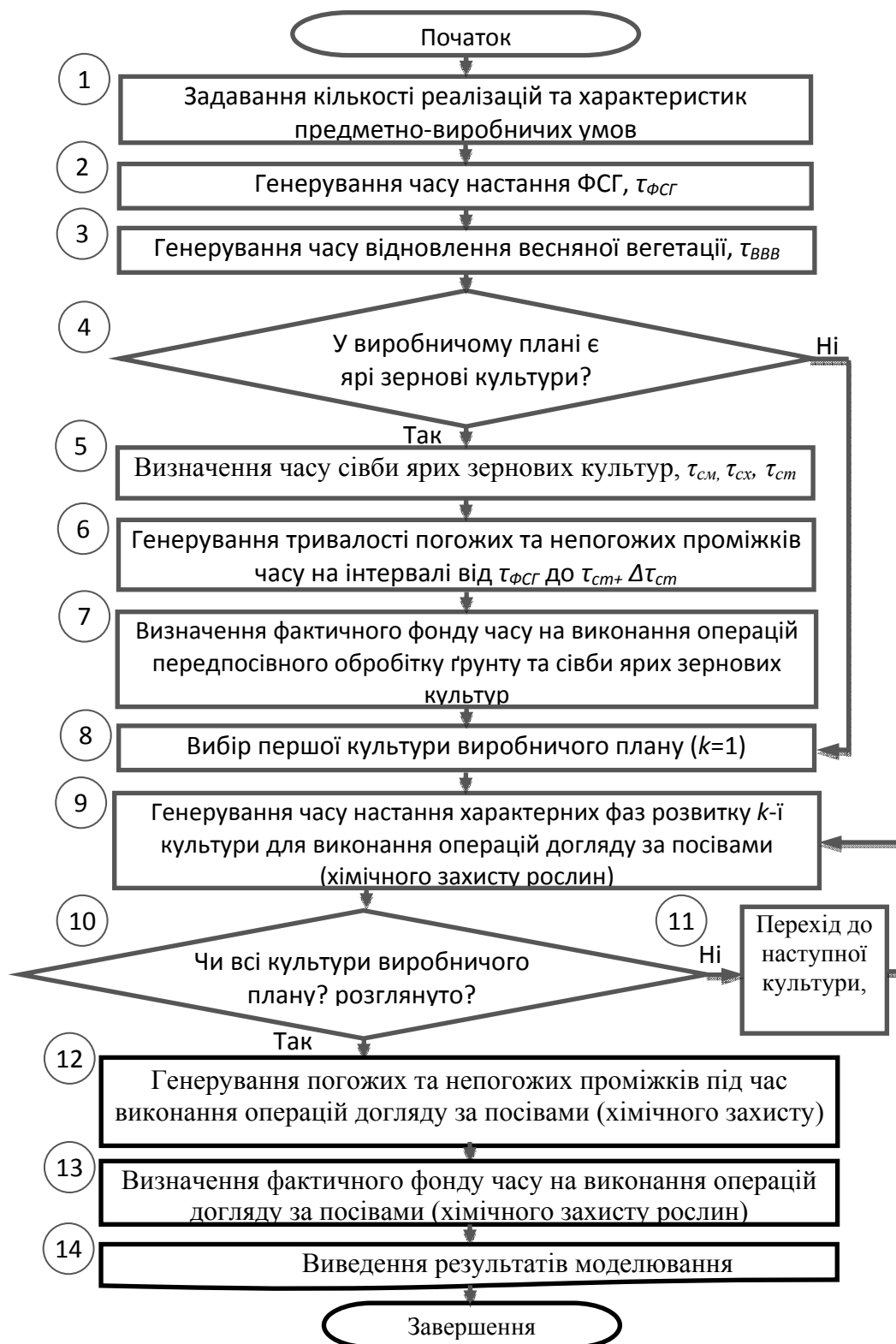


Рис. 1. Узагальнений алгоритм моделювання виникнення предметно-агrometeorологічних подій у механізованих процесах вирощування зернових культур весняно-літнього періоду
Fig. 1. Generalized algorithm for modeling the occurrence of subject-agrometeorological events in mechanized processes of growing cereal crops of the spring-summer period

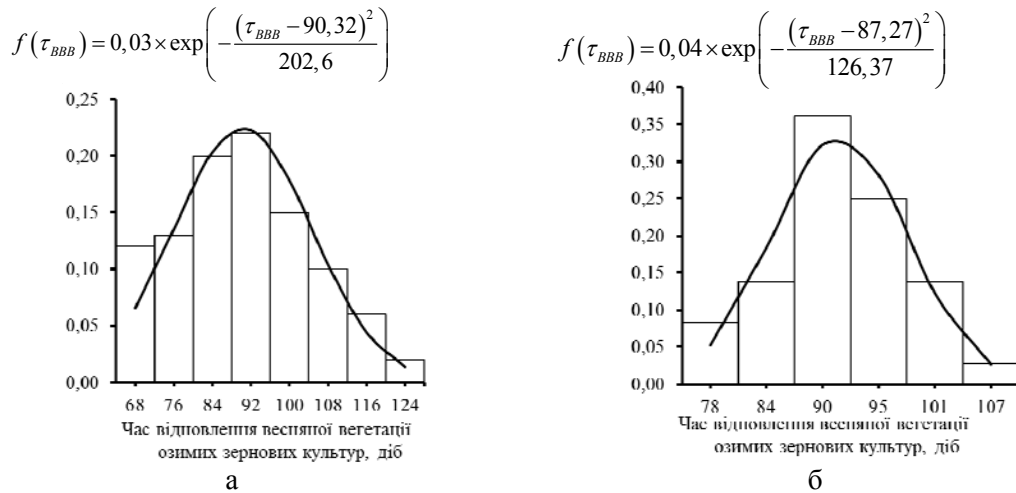


Рис. 2. Розподіли часу відновлення весняної вегетації озимих зернових культур в агрометеорологічних умовах Львівської (а) та Херсонської (б) областей
Fig. 2. Distribution time of restoration of spring vegetation of winter crops in agro-meteorological conditions of Lviv (a) and Kherson (b) regions

На четвертому етапі (рис. 1) виконується перевірка наявності у виробничому плані СГТ ярих зернових культур. Якщо ярі зернові культури наявні, то переходимо до етапу 5, якщо ні – до етапу 8.

П'ятим етапом (рис. 1) передбачається розрахунок часу сівби ярих зернових культур, який залежить від часу прогріву ґрунту на глибині 10 см до необхідної температури сівби культур. Для його прогнозування було встановлено закономірності зміни тривалості

прогрівання ґрунту на глибині 10 см від часу настання його фізичної стиглості та часу переходу середньодобової температури повітря вище 0 °С у весняний період до температур: 4 °С (можливість сівби морозостійких культур), 6 °С (можливість сівби холодостійких культур) та 8 °С (можливість сівби теплолюбних культур) для різних регіонів держави. Зокрема для агрометеорологічних умов Львівської області зазначені залежності представлені на рисунку 3.

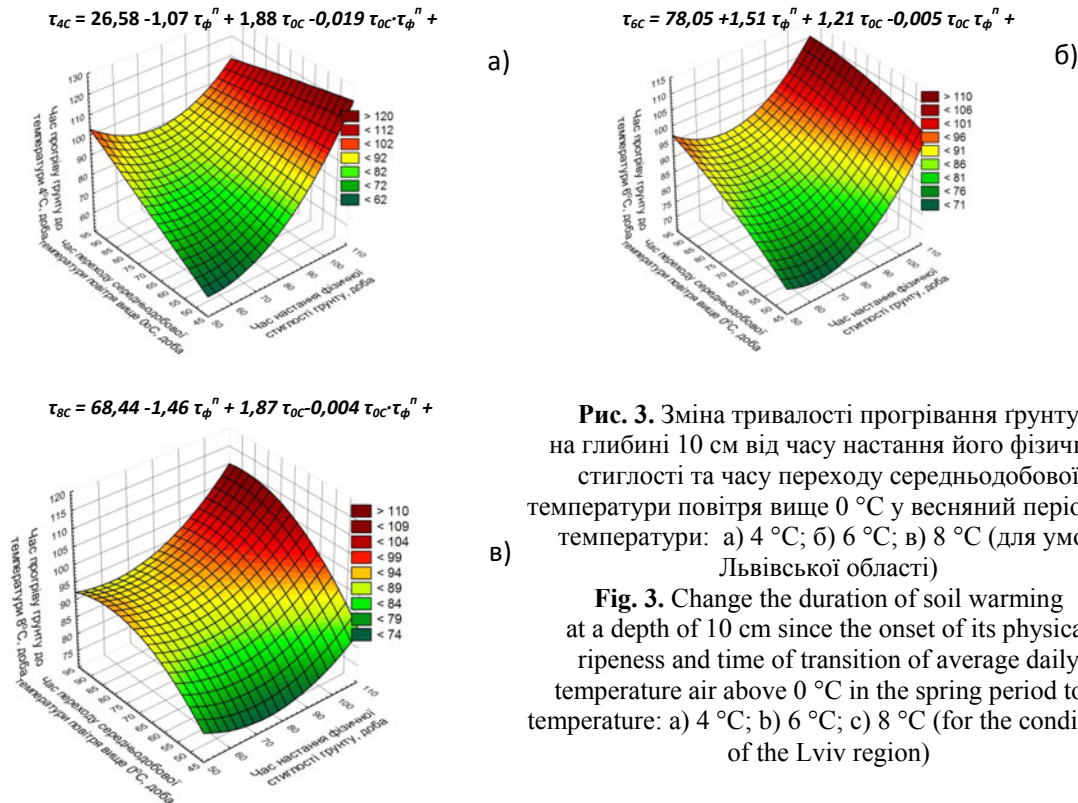


Рис. 3. Зміна тривалості прогрівання ґрунту на глибині 10 см від часу настання його фізичної стиглості та часу переходу середньодобової температури повітря вище 0 °С у весняний період до температури: а) 4 °С; б) 6 °С; в) 8 °С (для умов Львівської області)

Fig. 3. Change the duration of soil warming at a depth of 10 cm since the onset of its physical ripeness and time of transition of average daily temperature air above 0 °C in the spring period to a temperature: a) 4 °C; b) 6 °C; c) 8 °C (for the conditions of the Lviv region)

На етапі 6 (рис. 1) генеруються тривалості погожих і непогожих проміжків часу на інтервалі від моменту фізичної стиглості ґрунту до моменту завершення сівби теплолюбних зернових культур.

На сьомому кроці (рис. 1) визначається фактичний фонд часу на виконання операцій передпосівного обробітку ґрунту та сівби ярих зернових культур.

Далі (етап 8) вибирається перша яра зернова культура із заданого виробничого плану СГТ, для якої генерується час настання фенологічних фаз розвитку рослин (етап 9). Залежності настання фенологічних фаз розвитку ярих і озимих зернових, відповідно часу їх сівби та відновлення весняної вегетації (для умов Львівської області) розкрито в праці [5].

На десятому етапі (рис. 1) перевіряється умова, чи всі культури виробничого плану розглянуті. Якщо не для всіх культур згенеровано час настання фенологічних фаз розвитку рослин, здійснюється перехід до наступної культури (етап 11) та повернення до етапу 9. Якщо ж для всіх – переходимо до етапу 12, на якому (рис. 1) генеруються поява та тривалість погожих і непогожих проміжків часу на основі статистичних закономірностей їх появи та тривалості в процесі виконання операцій догляду за посівами (хімічного захисту рослин) для агрометеорологічних умов заданого регіону СГТ [2, 10, 12].

Завершальними етапами моделювання виникнення предметно-агрометеорологічних подій в технологічних процесах весняно-літнього періоду (рис. 1) є визначення фактичного фонду часу на виконання операцій догляду за посівами (хімічного захисту рослин) (етап 13) та виведення результатів моделювання (етап 14).

Аналіз технологічних процесів вирощування зернових культур літньо-осіннього періоду дає змогу стверджувати про те, що часові обмеження на їх виконання залежать від своєчасності реалізації механізованих процесів весняно-літнього періоду. Зокрема ймовірнісний характер термінів досягання попередників озимих зернових культур та своєчасність механізованого збирання їхнього врожаю (весняно-літній період) визначають потребу у виконанні передпосівного обробітку ґрунту (літньо-осінній період). Час завершення передпосівного обробітку ґрунту зумовлюється потребою сівби озимих зернових культур. Так само потреба в сівбі

озимих зернових культур визначається з огляду на умови їхньої осінньої вегетації. Озимі зернові рекомендують сіяти так, щоб до початку зимового періоду забезпечити набір рослинами необхідної суми ефективних середньодобових температур. За таких умов культура встигає розвинути до фази кущіння та пройти гартування дією низьких температур, що є важливою передумовою її зимівлі та продуктивного розвитку в наступній весняній вегетації [1, 4, 13].

Проміжок часу між завершенням збирання попередника та моментом виникнення потреби сівби озимих зернових культур характеризує фонд часу на виконання передпосівного обробітку ґрунту в літньо-осінній період.

Вплив предметно-агрометеорологічних подій на технологічні процеси вирощування зернових культур літньо-осіннього періоду, на формування фондів часу виконання окремих операцій цих процесів враховано та відображено в алгоритмі моделювання виникнення зазначених подій в окрему добу та впродовж сезону (рис. 4).

На першому етапі (рис. 4) моделювання виникнення предметно-агрометеорологічних подій у технологічних процесах літньо-осіннього періоду обґрунтовується кількість реалізацій комп'ютерної моделі для забезпечення необхідної точності вихідних даних, а також задаються характеристики природно-виробничих умов (географічне розташування та характеристики виробничого плану СГТ).

Наступним кроком (етап 2 рис. 4) є генерування часу завершення тривалості осінньої вегетації озимих зернових культур. Для цього було побудовано розподіли часу завершення тривалості осінньої вегетації озимих зернових культур в агрометеорологічних умовах усіх регіонів України та визначено їхні статистичні характеристики. Встановлено, що розподіл часу завершення тривалості осінньої вегетації озимих зернових культур узгоджується з теоретичним законом розподілу Вейбула (рис. 5). Для прикладу, оцінка математичного сподівання часу завершення тривалості осінньої вегетації для умов Львівської області $\bar{M}[\tau_{\text{зов}}] = 307,3$ діб, а середньоквадратичного відхилення $\bar{\sigma}[\tau_{\text{зов}}] = 12,2$ діб (рис. 4, а). Для умов Херсонської області: $\bar{M}[\tau_{\text{зов}}] = 315,6$ діб, $\bar{\sigma}[\tau_{\text{зов}}] = 14,1$ діб (рис. 4, б).

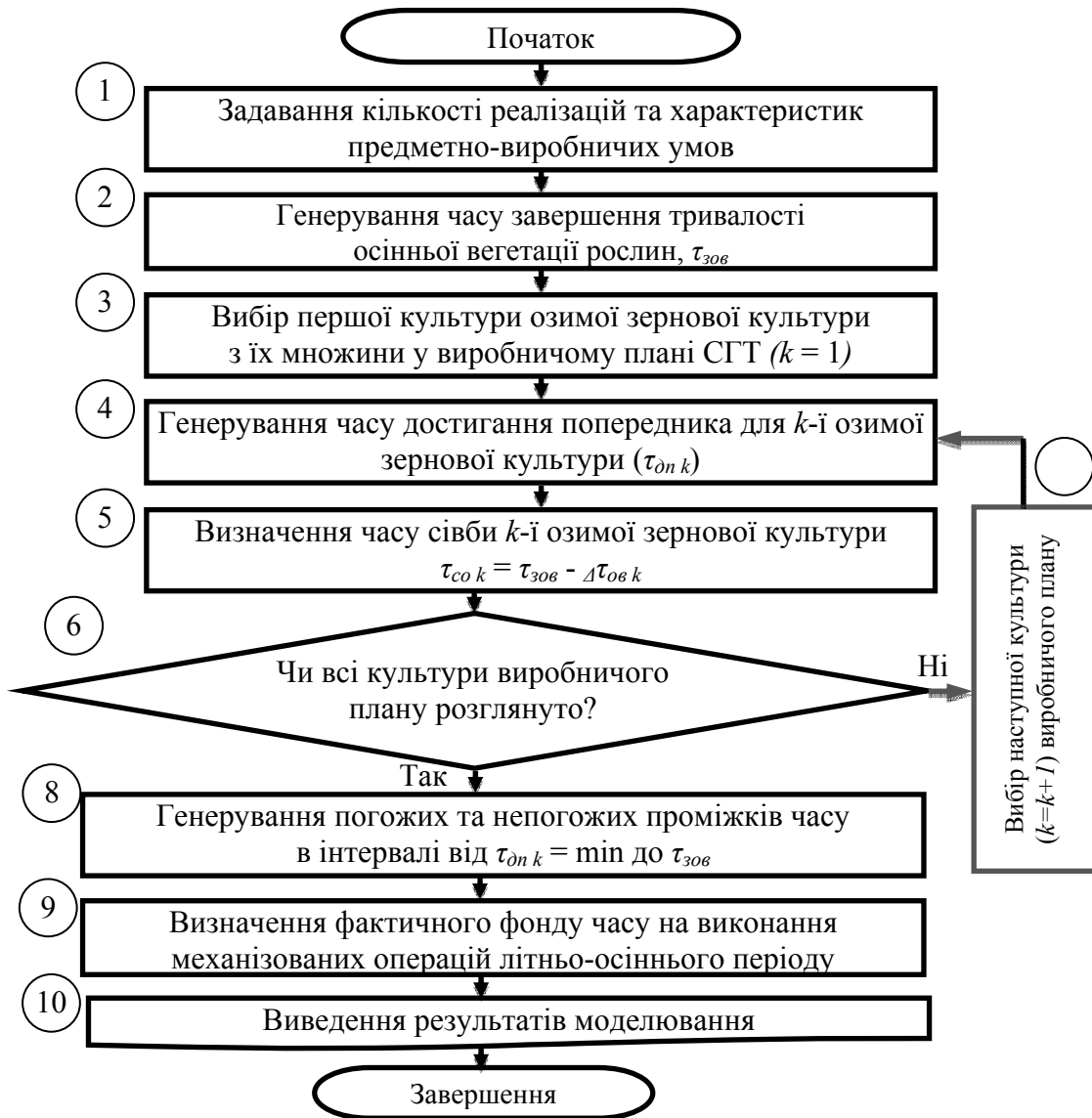


Рис. 4. Узагальнений алгоритм моделювання виникнення предметно-агриметеорологічних подій в механізованих процесах літньо-осіннього періоду
Fig. 4. Generalized algorithm by modeling the occurrence of subject-agrometeorological events in mechanized processes of the summer-autumn period

Третім етапом (рис. 4) передбачається вибір першої озимої зернової культури ($k = 1$) із заданого виробничого плану сільгоспвиробника, а на наступному (етап 4) генерується час досягання попередника ($\tau_{дн k}$) для k -ї озимої зернової культури. Для цього було визначено статистичні характеристики розподілів часу досягання характерних попередників озимих зернових культур в агрометеорологічних умовах усіх регіонів України. Для порівняння, статистичні характеристики розподілів часу досягання характерних попередників озимих зернових культур в агрометеорологічних умовах

Львівської та Херсонської областей наведені в таблиці 2.

На етапі 5 (рис. 4) визначається час сівби k -ї озимої зернової культури ($\tau_{co k}$) з урахуванням умови набору нею необхідної суми активних температур до завершення осінньої вегетації:

$$\tau_{co k} = \tau_{зov} - \Delta\tau_{ov k}, \quad (1)$$

де $\Delta\tau_{ov k}$ – термін, за якого озима культура набере необхідну суму активних температур.

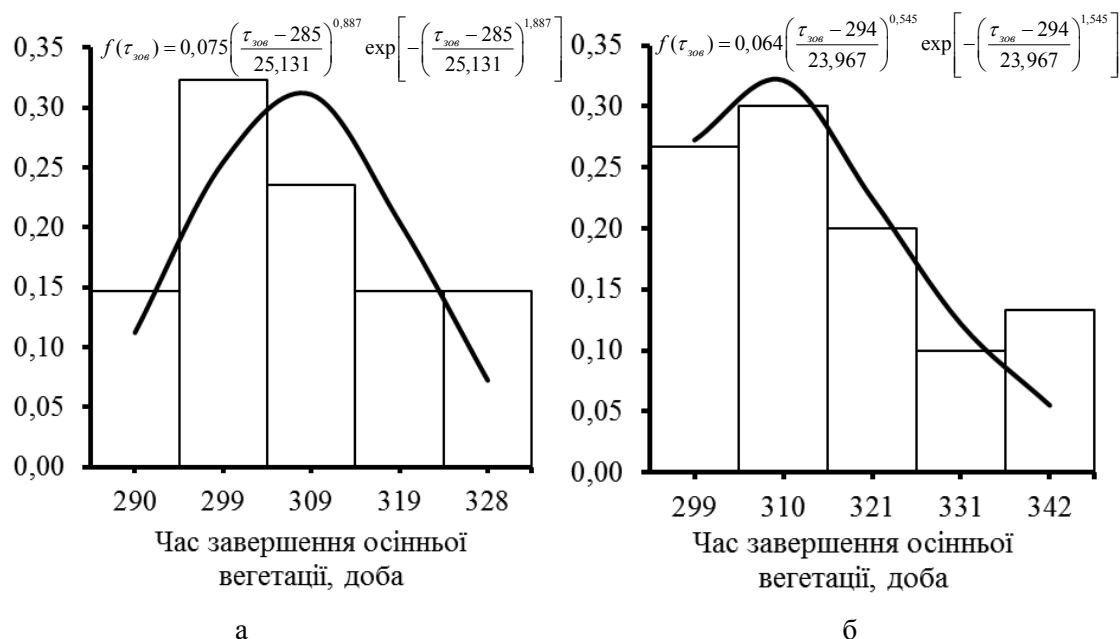


Рис. 5. Розподіл часу завершення тривалості осінньої вегетації озимих зернових культур в агрометеорологічних умовах Львівської (а) та Херсонської (б) областей
Fig. 5. Distribution time of completion in autumn vegetation of winter grains in the agrometeorological conditions of the Lviv (a) and Kherson (b) regions

Таблиця 2. Статистичні характеристики розподілів часу досягання характерних попередників озимих зернових культур
Table 2. Statistical characteristics time distribution of the achievement on characteristic predecessors in winter cereal crops

Показники	Функція густини розподілу	M[t], діб	σ[t], діб
Львівська область			
Дата набору 1200 °С активних температур (орієнтовно, досягання ячменю озимого, жита озимого)	$f(t_{1200}) = 0,05 \times \exp\left(-\frac{(t_{1200} - 180,7)^2}{109,52}\right)$	180,7	7,4
Дата набору 1500 °С активних температур (орієнтовно, досягання картоплі)	$f(t_{1500}) = 0,01 \times \exp\left(-\frac{(t_{1500} - 197,2)^2}{100,6}\right)$	197,2	7,1
Дата набору 1700 °С активних температур (орієнтовно, досягання вівса)	$f(t_{1700}) = 0,05 \times \exp\left(-\frac{(t_{1700} - 208,2)^2}{115,52}\right)$	208,2	7,6
Дата набору 2200 °С активних температур (орієнтовно, досягання кукурудзи на силос)	$f(t_{2200}) = 0,01 \times \exp\left(-\frac{(t_{2200} - 235,2)^2}{182}\right)$	235,3	9,0
Херсонська область			
Дата набору 1200 °С активних температур (орієнтовно, досягання ячменю озимого, жита озимого)	$f(t_{1200}) = 0,08 \times \exp\left(-\frac{(t_{1200} - 167,7)^2}{56,18}\right)$	167,7	5,3
Дата набору 1500 °С активних температур (орієнтовно, досягання картоплі)	$f(t_{1500}) = 0,08 \times \exp\left(-\frac{(t_{1500} - 182,3)^2}{54,8}\right)$	182,3	5,2
Дата набору 1700 °С активних температур (орієнтовно, досягання вівса)	$f(t_{1700}) = 0,07 \times \exp\left(-\frac{(t_{1700} - 191,2)^2}{58,32}\right)$	191,2	5,4
Дата набору 2200 °С активних температур (орієнтовно, досягання кукурудзи на силос)	$f(t_{2200}) = 0,06 \times \exp\left(-\frac{(t_{2200} - 212,2)^2}{83,1}\right)$	212,6	6,5

На етапі 6 (рис. 4) проводиться перевірка, чи розглянуто всі озимі зернові культури виробничого плану сільгосптоваровиробника. Якщо так – переходимо до наступного етапу 8, якщо ні – виконується вибір наступної культури (етап 7) та повернення до етапу 4.

Восьмим етапом (рис. 4) передбачається генерування погожих і непогожих проміжків часу впродовж періоду часу від досягання попередника заданої озимої зернової культури до моменту завершення тривалості осінньої вегетації даної озимої культури. Дані проміжки генеруються на основі статистичних закономірностей їхньої появи та тривалості в означений період для умов заданого регіону [2, 10, 12].

На етапі 9 (рис. 4), на підставі отриманої раніше інформації, визначаються фактичний фонд часу на виконання механізованих операцій для кожної з культур, а також напружені періоди їх виконання. Насамкінець виконується вивід отриманих результатів моделювання (етап 10, рис. 4).

Отже, розроблені науково-методичні засади моделювання предметно-агrometeorологічних подій в технологічних процесах вирощування зернових культур повною мірою враховують особливості перебігу цих процесів у весняно-літній та літньо-осінній періоди, закономірності появи предметно-агrometeorологічних подій та їх вплив на формування фондів часу виконання механізованих операцій.

Висновки

1. Аналіз предметно-агrometeorологічних подій в технологічних процесах під час вирощування зернових культур дав змогу класифікувати їх за часом і періодичністю появи, а також означити зміст впливу кожної з них на перебіг цих процесів, що уможливило розроблення алгоритмів моделювання виникнення зазначених подій.

2. Встановлені статистичні характеристики розподілів часу відновлення весняної вегетації, завершення тривалості осінньої вегетації озимих зернових культур, часу досягання їхніх характерних попередників, а також закономірності зміни тривалості прогрівання ґрунту в різних регіонах України дають змогу прогнозувати (генерувати) настання фаз розвитку рослин та часові обмеження на виконання механізованих

операцій в заданих природно-виробничих умовах окремих сільгосптоваровиробників.

3. Розроблені науково-методичні засади моделювання предметно-агrometeorологічних подій в технологічних процесах вирощування зернових культур лежать в основі створення їхніх комп'ютерних моделей, практичне використання яких дасть змогу прогнозувати часові обмеження виконання механізованих операцій та характеристики потоків замовлень на їхнє виконання.

Бібліографія

1. Сидорчук О., Луб П. Природно дозволений час для весняної підготовки ґрунту до сівби. *Агроінженерні дослідження: вісник Львів. держ. аграр. ун-ту*. 2004. № 8. С. 9–16.

2. Стохастичні явища в моделях механізованого вирощування та збирання зернових / О. В. Сидорчук, С. Р. Сенчук, П. М. Луб, В. М. Кабар. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваха, 2004. Вип. 85. С. 265–269.

3. Означення подій у проектах обробітку ґрунту та сівби сільськогосподарських культур / О. Сидорчук, П. Луб, І. Івасюк, В. Українець. *Агроінженерні дослідження: вісник Львів. НАУ*. Львів: Львів. НАУ, 2009. № 13. Т. 2. С. 13–21.

4. Особливості управління виробничо-технологічним ризиком у проектах обробітку ґрунту та сівби культур / П. М. Луб, В. І. Днець, В. А. Українець, І. П. Івасюк. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2010. № 1/2 (43). С. 58–60.

5. Особливості ситуаційного управління змістом та часом виконання робіт у інтегрованих проектах аграрного виробництва / О. В. Сидорчук, А. М. Тригуба, Я. Й. Панюра, П. В. Шолудько. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2010. № 1/2 (43). С. 46–48.

6. Сидорчук О. В., Луб П. М., Спічак В. С. Агrometeorологічна складова базових подій у проекті централізованого збирання цукрових буряків. *Агроінженерні дослідження: вісник Львів. НАУ*. 2009. № 13. Т. 1. С. 8–12.

7. Множина основних подій та особливості їх планування у проектах збирання ранніх зернових культур / О. В. Сидорчук, В. І. Днець, В. І. Скібчик [та ін.] *Механізація та електрифікація сільського господарства: міжвід. темат. наук. зб.* Глеваха, 2011. Вип. 95. С. 375–384.

8. Аналіз методів дослідження та моделей подій у проектах на різних етапах планування збирання ранніх зернових / О. В. Сидорчук, В. І. Днець, В. І. Скібчик [та ін.]. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво: наук. журнал*. Луцьк: ЛНТУ, 2011. № 7. С. 141–144.

9. Сидорчук О. В., Скібчик В. І. Прогнозування базових подій внутрішнього середовища

проектів збирання ранніх зернових, олійних та бобових культур. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво: наук. журнал*. Луцьк: ЛНТУ, 2012. № 10. С. 232–237.

10. Сидорчук О. В., Днесь В. І., Скібчик В. І. Аналіз процесу формування добового організаційно-відкоригованого фонду робочого часу на виконання післязбиральної обробки зерна. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь: тези доп. II Всеукраїнської наук.-практ. конф.* Житомир: ЖАТК, 2016. С. 61–64.

11. Сидорчук О. В., Днесь В. І., Скібчик В. І. Подієвий підхід до моделювання агрометеорологічних умов під час збирання ранніх зернових культур. *Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2016: тези доп. Одинадцятій Міжнародної наук.-практ. конф.* Чернігів: ЧДІТУ, 2016. С. 59–63.

12. Кудринський Р. Б., Грицишин М. І. Обґрунтування ефективних технологічних комплексів машин для виробництва продукції рослинництва в сільськогосподарських підприємствах. *Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодержавний збірник / ННЦ «ІМЕСГ»*. Глеваха, 2015. Вип. 1 (100). С. 250–259.

13. Планування проектів вирощування сільськогосподарських культур на основі статистичного імітаційного моделювання: монографія / В. В. Адамчук, О. В. Сидорчук, П. М. Луб [та ін.] / НААН України, ННЦ «ІМЕСГ». Ніжин: Видавець ПП Лисенко М. М., 2014. 223 с.

Bibliografii

1. Sydorчук O. V., Lub P. M. Pryrodno dozvolenyi chas dlia vesnianoi pidhotovky gruntu do sivby. *Ahroinzhenerni doslidzhennia: visnyk Lviv. derzh. ahrar. un-tu*. 2004. № 8. S. 9–16.

2. Stokhastychni yavlyshcha v modeliakh mekhanizovanoho vyroshchuvannya ta zbyrannia zernovykh / O. V. Sydorчук, S. R. Senchuk, P. M. Lub, V. M. Kabar. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva*. Hlevakha, 2004. Vyp. 85. S. 265–269.

3. Oznachennia podii u proektakh obrobitku gruntu ta sivby silskohospodarskykh kultur / O. Sydorчук, P. Lub, I. Ivasiuk, V. Ukrainets. *Ahroinzhenerni doslidzhennia: visnyk Lviv. NAU*. Lviv: Lviv NAU, 2009. № 13. T 2. S. 13–21.

4. Osoblyvosti upravlinnia vyrobnycho-tekhnolohichnym ryzykom u proektakh obrobitku gruntu ta sivby kultur / P. M. Lub, V. I. Dnes, V. A. Ukrainets, I. P. Ivasiuk. *Skhidno-yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*. 2010. № 1/2 (43). S. 58–60.

5. Osoblyvosti sytuatsiinoho upravlinnia zmistom ta chasom vykonannia robit u intehrovanykh proektakh ahrarnoho vyrobnytstva / O. V. Sydorчук,

A. M. Tryhuba, Ya. Y. Paniura, P. V. Sholudko. *Skhidno-yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*. 2010. № 1/2 (43). S. 46–48.

6. Sydorчук O. V., Lub P. M., Spichak V. S. Ahrometeorolohichna skladova bazovykh podii u proekti tsentralizovanoho zbyrannia tsukrovyykh buriakiv. *Ahroinzhenerni doslidzhennia: visnyk Lviv. NAU*. 2009. № 13. T. 1. S. 8–12.

7. Mnozhyna osnovnykh podii ta osoblyvosti yikh planuvannya u proektakh zbyrannia rannikh zernovykh kultur / O. V. Sydorчук, V. I. Dnes, V. I. Skibchuk [ta in.] *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva: mizhvid. temat. nauk. zb.* Hlevakha, 2011. Vyp. 95. S. 375–84.

8. Analiz metodiv doslidzhennia ta modelei podii u proektakh na riznykh etapakh planuvannya zbyrannia rannikh zernovykh / O. V. Sydorчук, V. I. Dnes, V. I. Skibchuk [ta in.] *Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii: osvita, nauka, vyrobnytstvo: nauk. Zhurnal*. Lutsk: LNTU, 2011. № 7. S. 141–144.

9. Sydorчук O. V., Skibchuk V. I. Prohnozuvannya bazovykh podii vnutrishnoho seredovyscha proektiv zbyrannia rannikh zernovykh, oliinykh ta bobovykh kultur. *Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii: osvita, nauka, vyrobnytstvo: nauk. zhurnal*. Lutsk: LNTU, 2012. № 10. S. 232–237.

10. Sydorчук O. V., Dnes V. I., Skibchuk V. I. Analiz protsesu formuvannya dobovoho orhanizatsiino-vidkoryhovanoho fondu robochoho chasu na vykonannia pisliazybralnoi obroby zerna. *Perspektyvy i tendentsii rozvytku konstruktsii ta tekhnichnoho servisu silskohospodarskykh mashyn i znariad: tezy dop. II Vseukrainska nauk.-prakt. konf.* Zhytomyr: ZhATK, 2016. S. 61–64.

11. Sydorчук O. V., Dnes V. I., Skibchuk V. I. Podiievyi pidkhid do modeliuвання ahrometeorolohichnykh umov pid chas zbyrannia rannikh zernovykh kultur. *Matematychno ta imitatsiine modeliuвання system. MODS 2016: tezy dop. Odynadtsiatoi Mizhnarodnoi nauk.-prakt. konf.* Chernihiv: ChDITU, 2016. S. 59–63.

12. Kudrynetskyi R. B., Hrytsyshyn M. I. Obgruntuvannya efektyvnykh tekhnolohichnykh kompleksiv mashyn dlia vyrobnytstva produktsii roslynnytstva v silskohospodarskykh pidpriemstvakh. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva: zahalnodержavnyi zbirnyk / NNTs «IMESH»*. Hlevakha, 2015. Vyp. 1 (100). S. 250–259.

13. Planuvannya proektiv vyroshchuvannya silskohospodarskykh kultur na osnovi statystychnoho imitatsiinoho modeliuвання: monohrafiia / V. V. Adamchuk, O. V. Sydorчук, P. M. Lub [ta in.] / NAAN Ukrainy, NNTs «IMESH». Nizhyn: Vydavecz PP Lysenko M. M., 2014. 223 s.

References

1. Sidorчук O., Lub P. Naturally allowed time for spring soil preparation to sowing. *Agro-*

engineering research: herald of Lviv. state agrar. University. 2004. No. 8. Pp. 9–16.

2. Stochastic phenomena in models of mechanized cultivation and harvesting of cereals / O. V. Sidorchuk, S. R. Sentchuk, P. M. Lub, V. M. Kabar. *Mechanization and electrification of agriculture*. Glevakha, 2004. Issue 85. Pp. 265–269.

3. Definition of events in soil and crop sowing projects / O. Sidorchuk, P. Lub, I. Ivasyuk, V. Ukrainets. *Agroengineering research: visnyk Lviv. NAU*. Lviv: Lviv NAU, 2009. No. 13. Vol. 2. Pp. 13–21.

4. Peculiarities of production and technological risk management in soil and crop cultivation projects / P. M. Lub, V. I. Dnes, V. A. Ukrainets, I. P. Ivasyuk. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2010. No. 1/2 (43). Pp. 58–60.

5. Peculiarities of situational management of the content and timing of works in integrated agricultural production projects / O. V. Sidorchuk, A. M. Triguba, Ya. Y. Panyura, P. V. Sholudko. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2010. No. 1/2 (43). Pp. 46–48.

6. Sidorchuk O. V., Lub P. M., Spichak V. S. Agrometeorological component of basic events in the project of centralized harvesting of sugar beets. *Agroengineering research: visnyk of Lviv NAU*. 2009. No. 13. V. 1. Pp. 8–12.

7. A set of main events and peculiarities of their planning in early grain harvest projects / O. V. Sidorchuk, V. I. Dnes, V. I. Skibchik [and others]. *Mechanization and electrification of agriculture: intersection. thematic sciences save*. Glevakha, 2011. Issue. 95. Pp. 375–384.

8. Analysis of research methods and case models in projects at different stages of harvesting early crops / O. V. Sidorchuk, V. I. Dnes, V. I.

Skibchik [and others]. *Computer-integrated technologies: education, science, production: sciences magazine*. Lutsk: LNTU, 2011. No. 7. Pp. 141–144.

9. Sidorchuk O. V., Skibchik V. I. Forecasting the basic events of the internal environment of harvesting early cereals, oilseeds and legumes. *Computer-integrated technologies: education, science, production: sciences magazine*. Lutsk: LNTU, 2012. No. 10. Pp. 232–237.

10. Sidorchuk O. V., Dnes V. I., Skibchik V. I. Analysis of the process of formation of a daily organizational-adjusted working time fund for the post-harvest grain processing. *Prospects and tendencies of the development of constructions and technical service of agricultural machines and implements: abstract dop. II All-Ukrainian sciences-practice. conf.* Zhytomyr: ZhATK, 2016. Pp. 61–64.

11. Sidorchuk O. V., Dnes V. I., Skibchik V. I. An event approach to modeling agrometeorological conditions in the collection of early grain crops. *Mathematical and Simulation Modeling of Systems. MODS 2016: thesis Add. Eleventh International Science. Pract. conf.* Chernihiv: CHDITU, 2016. Pp. 59–63.

12. Kudrinetsky R. B., Grytsyshyn M. I. Justification of efficient technological complexes of machines for production of crop production in agricultural enterprises. *Mechanization and electrification of agriculture: national collection.* / NSC “IEAA”. Glevakha, 2015. Issue 1 (100). Pp. 250–259.

13. Planning of agricultural crop projects on the basis of statistical simulation: monograph / V. V. Adamchuk, O. V. Sidorchuk, P. M. Lub [and others] / National Academy of Sciences of Ukraine, NSC “IEAA”. Nizhyn: Publisher Lysenko M. M., 2014. 223 p.