

## Управління режимами роботи збиральних машин в системі точного землеробства

Подано аналіз проблеми нерівномірного завантаження робочих органів збиральних машин технологічним матеріалом внаслідок зміни рівня місцевизначеної врожайності по напрямку ходу машини. Наведено методику уточнення інформації про місцевизначену врожайність шляхом розрахунку і використання імпульсних перехідних характеристик збиральних машин в функції часу. Описана методика прогностичного способу регулювання режимами функціонування робочих органів збиральної машини.

точне землеробство, місцевизначена врожайність, прогнозовані дані, регулювання, режим роботи

### Постановка проблеми

Збиральні машини, наприклад, зернозбиральні комбайни (на полях України їх зараз біля 50 тис.), мають складну схему побудови (зернозбиральний комбайн містить в собі біля 3500 вузлів) і досить розгалужену механічну, а також гідравлічну і електричну системи привода робочих органів, що обумовлено специфічними і комплексними задачами збирання польових культур. Відомо [1], що врожайність сільськогосподарської культури по площі поля варіює в широких межах. Навіть по напрямку одного проходу комбайна по полю, рівень врожайності може змінюватись в декілька разів. На рис. 1 показано один з проходів зернозбирального комбайна (освітлена смуга АВ) на фоні картограми врожайності озимої пшениці.

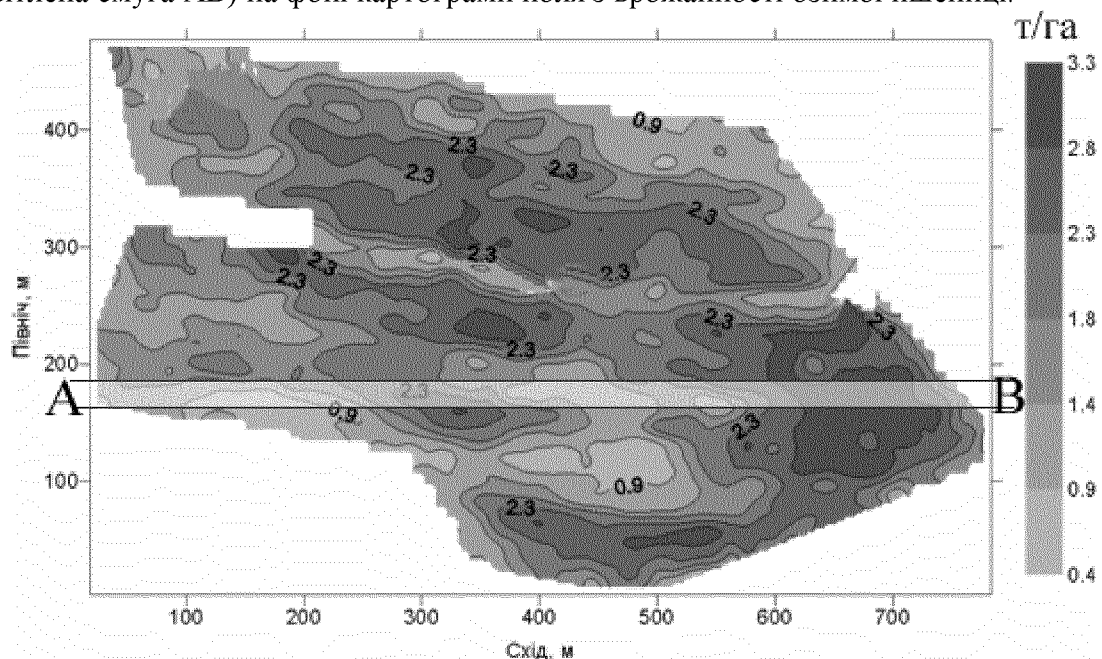


Рисунок 1 - Один з проходів (освітлена смуга АВ) комбайна, що накладений на картограму врожайності (т/га) поля

випадках важко забезпечити рівномірне (в діапазоні раціональних режимів роботи) завантаження робочих систем комбайна. Значні зміни інтенсивності потоку зернового вороху (особливо пікові навантаження) негативно позначаються на витратах палива, якісних показниках збирання урожаю, зношенні деталей і вузлів машини та надійності зернозбирального комбайна в цілому, а також систем приводу внаслідок істотних силових збурень на робочих органах.

Тобто, істотні коливання врожайності сільськогосподарських культур по напрямку руху збиральної машини негативно позначаються на роботі комбайна, якщо при цьому не змінювати відповідним чином кінематичні та технологічні режими функціонування. Враховувати подібні явища можливо шляхом застосування систем автоматичного регулювання інтенсивності потоку вороху, що подається на робочі органи. Ще в 60-х роках минулого сторіччя була запропонована система автоматичного регулювання завантаження молотарки зернозбирального комбайна хлібною масою [2] з метою підвищення якості отриманого врожаю і уникнення пікових завантажень робочих органів, що можуть призвести до забивання пристроїв і зупинки їх роботи. Така система складалась із датчика товщини шару хлібної маси ползкового типу, який встановлювався в похилій камері, а також ряду додаткових елементів. Якщо товщина хлібної маси в похилій камері змінювалась, це призводило до переміщення чутливого елемента датчика, сигнал з якого оброблявся, і в результаті, шляхом дії на гідроциліндр керування варіатором швидкості руху комбайна, змінювалась швидкість комбайнування і, одночасно з цим, інтенсивність подачі хлібної маси до комбайна.

Пізніше були запропоновані різноманітні інші системи автоматичного завантаження робочих органів збиральних машин. Наприклад в [3] було представлено спосіб регулювання режимами функціонування робочих органів і швидкості руху зернозбирального комбайна, який полягає у застосуванні ультразвуку для визначення рівня врожайності зернової культури. Отримана від датчика інформація обробляється в бортовому комп'ютері, в результаті чого видаються команди на зміну швидкості руху зернозбирального комбайна і відповідних регулювань робочих органів.

Недоліком наведених і інших існуючих способів регулювання режимами функціонування робочих органів та швидкості руху збиральної машини є великий час реакції системи регулювання і виконавчих механізмів на зміну інтенсивності завантаження молотарки комбайна (як показують дослідження, на це витрачається близько 4-6 секунд). Це пояснюється тим, що збиральна машина складається з технологічних вузлів (двигун, молотарка, система очистки тощо) з великими масо-габаритними характеристиками і моментами інерції. Тому, для переходу машини на інший режим роботи необхідний час, не врахування якого призводить до нерівномірної подачі вороху сільськогосподарської культури на молотильні, очисні та інші робочі органи комбайна. В деяких випадках подібні системи автоматичного регулювання режимами функціонування робочих органів і швидкості руху комбайна не покращують, а навіть погіршують рівномірність завантаження силових агрегатів комбайна, і саме тому такі системи управління не знайшли широкого застосування. Необхідно мати такі програмно-апаратні комплекси автоматичного завантаження робочих органів комбайна, які б дозволяли завчасно (за 4-6 і більше секунд) передавати на регулювальні системи комбайна необхідні значення параметрів і режимів функціонування, щоб забезпечити чітке відпрацьовування перехідних процесів, які відбуваються в механізмах комбайна.

### **Вирішення проблеми**

Одним з шляхів вирішення задачі відпрацьовування необхідних перехідних процесів при роботі збиральної машини є застосування прогностичних картограм врожайності поля, на якому відбувається процес збирання, в якості картограм-завдання на виконання процесу збирання сільськогосподарської культури. Підставою для такого підходу є широка гама проведених в світі досліджень з прогнозування рівня врожайності на окремих полях. Існують різні способи і методики виконання

прогнозних розрахунків рівня врожайності по площі поля із застосуванням повітряних і наземних систем збору і реєстрації польових даних.

На ділянці площею 8 гектарів експериментального поля навчально-дослідного господарства "Великоснітинський" НУБіП України проводились дослідження з реєстрації місцевизначеної врожайності пшениці на стадіях молочної, а пізніше – повної стиглості. Застосована методика дослідів дозволила розрахувати місцевизначену врожайність в залежності від координат відбору груп колосків на аналіз. Графіки зміни врожайності на стадії молочної та повної стиглості, а також кореляційна залежність між цими процесами представлені на рисунках 2 і 3.

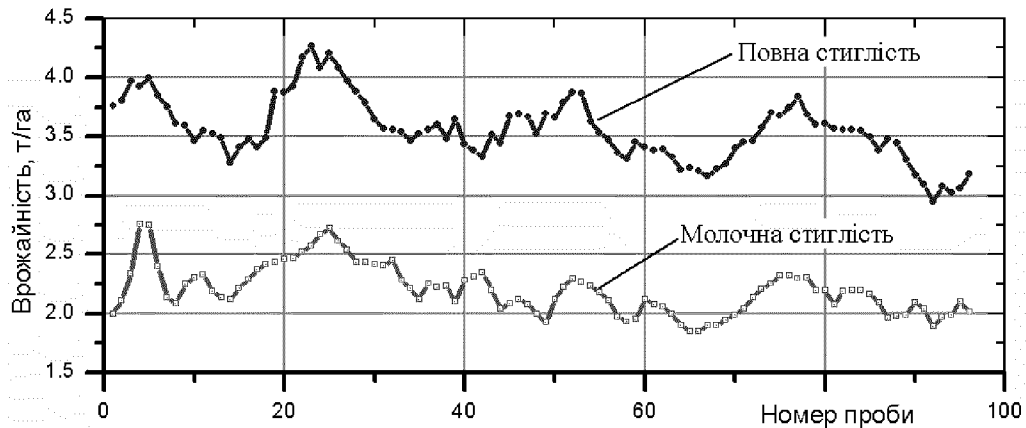


Рисунок 2 - Врожайність пшениці на стадії молочної та повної стиглості

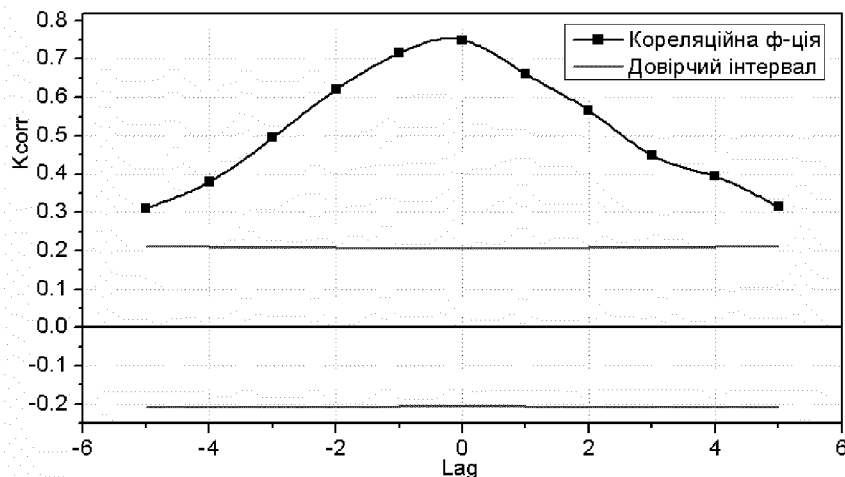


Рисунок 3 - Кореляційна функція процесів зміни врожайності на стадії молочної та повної стиглості

З рис. 3 видно, що при нульовому зсуві має місце високий рівень зв'язку (коефіцієнт кореляції складає 0.75) між місцевизначеною врожайністю на стадіях молочної та повної стиглості. Це означає, що картограма врожайності пшениці на стадії молочної стиглості (рис. 4) може служити прогностичним завданням для (у даному випадку) зернозбирального комбайна на виконання операції збирання зернових на даному конкретному полі.

При такому підході слід врахувати, що після аналізу польових даних і складання картограми-завдання на збирання, останні надалі будуть реалізовані комбайнами через певний час. Цей розрив в часі зумовлює "старіння" (природнокліматичні фактори, непередбачена діяльність людини тощо) інформації про стан фітоценозів на момент проведення операції збирання. В зв'язку з цим пропонується компенсаційний спосіб використання інформації з прогностичної картограми-завдання. Суть способу полягає в одночасному використанні даних, що надходять від картограми-завдання та датчиків

поток зерна системи картографування місцевизначеної врожайності, яка

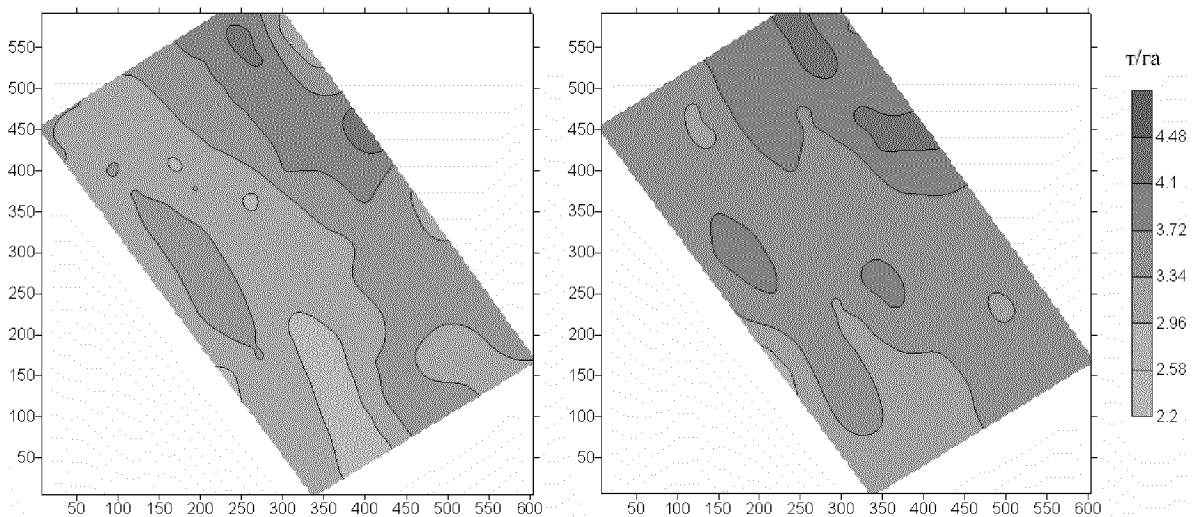


Рисунок 4 - Картограми врожайності зернових на стадії молочної (зліва) та повної стиглості

працює в реальному часі збирання. В такому випадку датчик маси зерна виступає в якості контрольного та корегуючого елемента при реалізації прогностичної картограми-завдання. До даних про поточну врожайність, що їх видає датчик маси зерна системи картографування врожайності, висувається умова, що якщо показання датчика маси зерна відрізняються від відповідних даних з картограми-завдання більш ніж на величину допуску  $\eta$  (наприклад на 20 %, тобто  $\eta=0.2$ ), то проводиться перерахунок рівня врожайності. Тоді інформація про врожайність фітоценозу  $Q_U(\tau)$ , яка необхідна для формування сигналу керування  $U(t)$  на управління режимами роботи комбайна буде складати:

$$Q_U(t_e) = \begin{cases} \frac{Q_K(t_e) + \delta(t_e)}{2}, \text{ при } \frac{|Q_K(t_e) - \delta(t_e)|}{Q_K(\tau)} \geq \eta; \\ Q_K(t_e), \text{ при } \frac{|Q_K(t_e) - Q_D(t_e)|}{Q_K(t_e)} < \eta, \end{cases} \quad (1)$$

де  $Q_K(t_e)$  - дані про врожайність з картограми-завдання;

$t_e = t + \Delta T$ ;

$\Delta T$  - відрізок часу, з яким з випередженням (наприклад 4-6 секунд) зчитуються дані з картограми-завдання;

$\delta(t_e)$  - екстрапольовані на відрізок  $\Delta T$  дані про поточну врожайність;

$\eta$  - допуск на відхилення показань датчика маси зерна від відповідних значень картограми-завдання;

Таким чином, випрацьовується віртуальна картограма-завдання на збирання сільськогосподарської культури, інформація з якої використовується для розрахунку сигналу управління технологічним процесом збирання в оптимальному режимі.

Реалізацію запропонованого прогностичного способу регулювання режимами функціонування робочих органів збиральної машини можливо провести за допомогою системи (рис. 5) контролю і регулювання технологічними режимами роботи. На борту комбайна є обладнання супутникової глобальної системи позиціонування (ГСП), бортовий комп'ютер, в який додатково перед збиранням завантажується електронна картограма-завдання на збирання, яка отримана на підставі обробітку даних з моніторингу процесів формування врожайності

сільськогосподарської культури на даному полі, і це дозволяє керувати параметрами і режимами функціонування робочих органів зернозбирального комбайна шляхом вироблення бортовим комп'ютером сигналу оптимальних керуючих дій з випередженням  $\Delta T$  і передачею цих сигналів на систему регулювання технологічними режимами роботи комбайна.

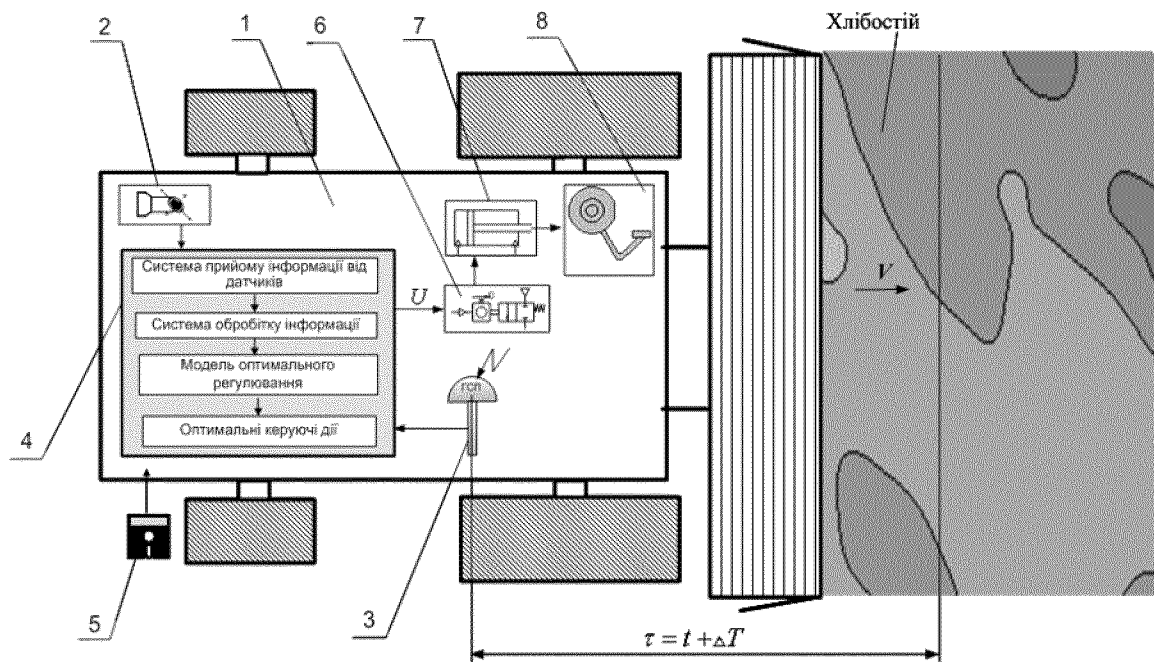


Рисунок 5 - Блок-схема системи прогностичного способу регулювання режимами функціонування робочих органів зернозбирального комбайна

В процесі роботи комбайна 1 за допомогою системи датчиків 2 визначаються в реальному часі такі параметри і режими роботи комбайна як частота обертання молотильного барабана, кінематичні параметри функціонування системи очищення тощо, а також швидкість  $V$  руху машини. За допомогою глобальної системи позиціонування 3 обчислюються координати, в яких знаходиться комбайн в даний момент часу, а бортовий комп'ютер 4 розраховує координати точки поля, в якій збиральна машина буде через проміжок часу, що дорівнює  $\Delta T$ . Для цих координат з електронної картограми-завдання 5 зчитуються дані про рівень і стан врожайності сільськогосподарської культури, далі проводиться (на підставі моделі оптимального регулювання) обробка комплексу навігаційної та телеметричної інформації про стан функціонування комбайну і випрацьовується сигнал оптимальної керуючої дії  $U$ , який передається на розподільник 6 (гідравлічного, пневматичного, електричного тощо типу). За допомогою виконавчого механізму 7 відбувається зміна режимів роботи об'єкту автоматичного керування 8 (наприклад, варіатора швидкості руху). Враховуючи те, що керування режимами роботи комбайна виконується з випередженням  $\Delta T$ , досягається рівномірне завантаження комбайна хлібною масою, а значить і підвищення надійності і якості виконання технологічного процесу.

Проте, аналіз особливостей функціонування конкретних типів зернозбиральних комбайнів в процесі виконання сепаруючих та транспортних операцій зернового потоку показує, що в усіх сучасних бортових системах картографування місцевизначеної врожайності закладено досить грубий алгоритм перетворення інтенсивності потоку хлібного вороху, що надходить на різальний апарат жатки, в інтенсивність потоку очищеного зерна, що надходить в бункер. Такий алгоритм характеризується лише показником часу транспортного запізнення  $T_3$ :

$$\hat{\mathcal{E}}_Q(t - T_3)k = \hat{\mathcal{E}}_D(t), \quad (2)$$

де  $\hat{\mathcal{E}}_Q(t - T_3)$  - оцінка інтенсивності потоку зернової частини хлібного вороху на жатці;

$\hat{\mathcal{E}}_D(t)$  - оцінка інтенсивності потоку зерна, що надходить в бункер;

$k$  - коефіцієнт підсилення;

$T_3$  - транспортне запізнення.

Структурна схема типової бортової системи картографування представлена на рис. 6. Вихідним сигналом датчика маси зерна є оцінка інтенсивності  $\hat{\mathcal{E}}_D(t)$  потоку зерна, що надходить в бункер. Після реалізації алгоритму (2) отримуємо інтенсивність  $\hat{\mathcal{E}}_Q(t - T_3)$ . За допомогою бортового навігаційного комплексу (наприклад, супутникової навігації) визначаються оцінки швидкості руху машини та її координат  $\hat{\mathcal{V}}(t)$ ,  $\hat{\mathcal{X}}(t)$  відповідно.

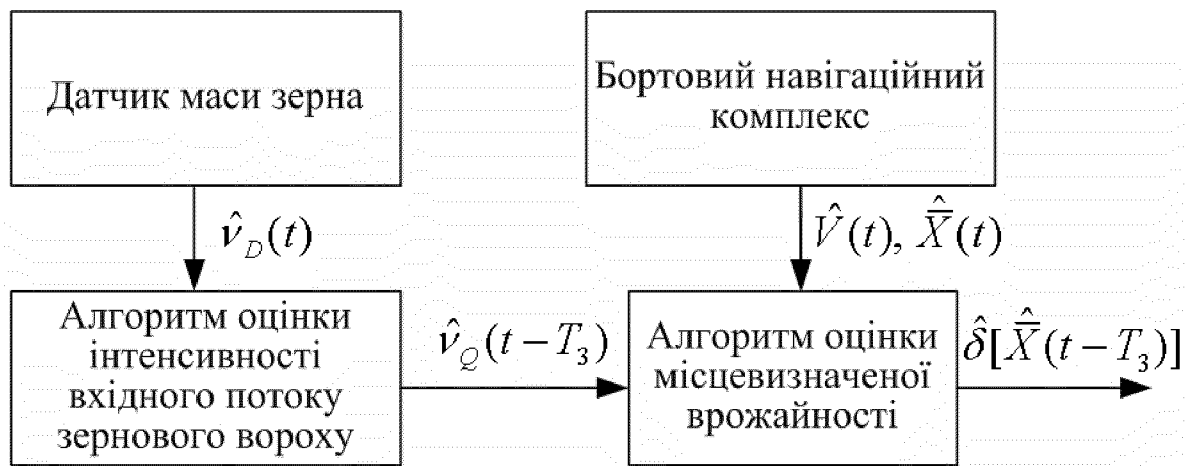


Рисунок 6 - Структурна схема типової бортової системи картографування врожайності

Оцінка рівня місцевизначеної врожайності  $\hat{\delta}[\hat{\mathcal{X}}(t - T_3)]$  в осередку елементарної ділянки поля з вектором координат  $\hat{\mathcal{X}}(t - T_3)$  по ширині захвату жатки  $B$  дорівнює:

$$\hat{\delta}[\hat{\mathcal{X}}(t - T_3)] = \frac{\hat{\mathcal{E}}_Q(t - T_3)}{B\hat{\mathcal{V}}(t - T_3)}, \quad (3)$$

де  $\hat{\mathcal{V}}(t - T_3)$  - оцінка швидкості руху комбайна на момент часу  $t - T_3$ .

Геометрична інтерпретація (рис. 7) наведеного алгоритму показує, що якщо по ходу руху комбайна, наприклад, з'явиться поперечна смуга хлібостою (у вигляді прямокутного імпульсу), то через певний час  $T_3$  в бункер піде очищене зерно з інтенсивністю потоку, що змінюється у вигляді сходинок. Час транспортного запізнення  $T_3$  при цьому приймається сталою величиною ( $T_3 \approx 10 \div 15$  с).

Слід зазначити, що таке припущення далеке від тих перетворень потоку, що мають місце в дійсності. В технічному ННІ НУБіП України проводились дослідження змін інтенсивності подачі очищеного зерна в бункер в залежності від інтенсивності надходження хлібної маси на жатку комбайна МФ 9690. Спеціально спланований лабораторно-польовий експеримент дозволив створити умови, коли комбайн входив жаткою шириною захвату 9 м в поперечно до напрямку руху комбайна розташовану

смугу хлібостою з шириною смуги 3, 6 та 9 метрів на різних робочих швидкостях. За допомогою датчика маси зерна оптичного типу проводилась реєстрація інтенсивності подачі очищеного зерна в бункер. Характер зміни інтенсивності потоку очищеного зерна для смуги хлібостою 9 м і швидкості руху машини 1.3 м/с показано на рис. 8.

З рисунку видно, що комбайн зрізує смугу хлібної маси близько за 7с. Подача очищеного зерна в бункер починається приблизно через 12 с, а закінчується – через 28

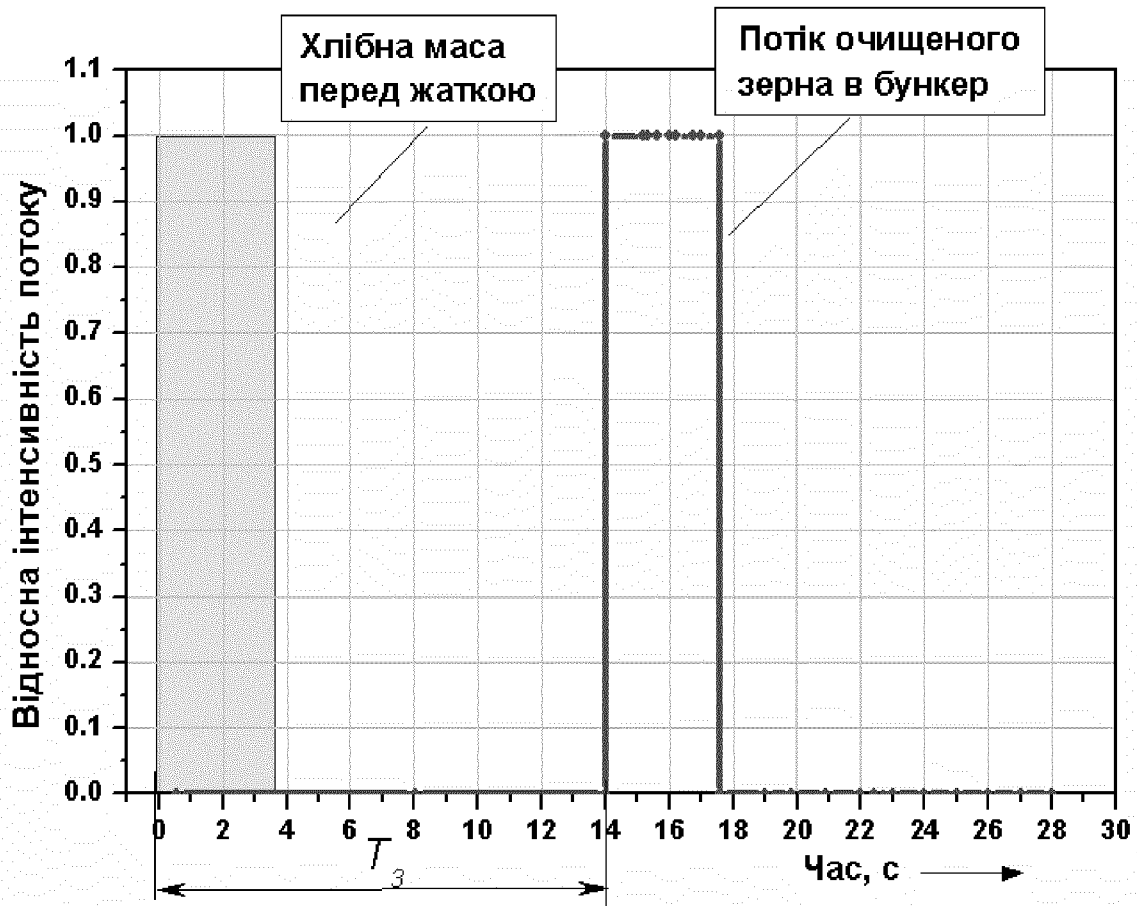


Рисунок 7 - Відносні інтенсивності потоку хлібного вороху та очищеного зерна

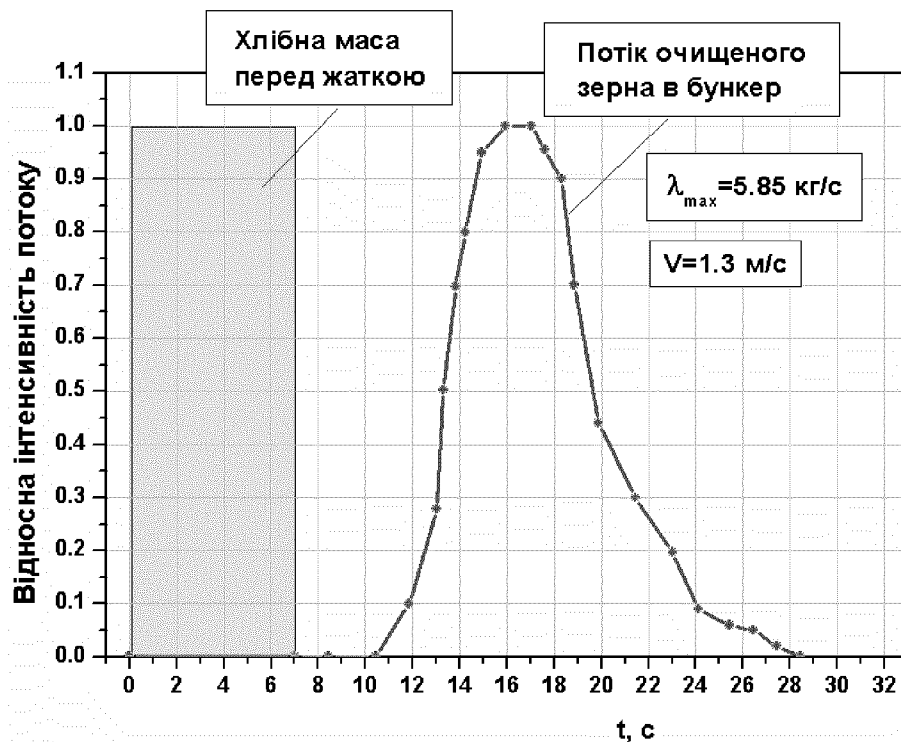


Рисунок 8 - Зміни інтенсивності потоку очищеного зерна

від початку зрізування. Тобто процес видачі зерна в бункер триває близько 16 с. Це означає, що застосування в існуючих системах картографування врожайності алгоритму перетворення інтенсивності потоку хлібного вороху (2), що характеризується тільки сталою величиною затримки  $T_3$ , призводить до значних викривлень в значеннях дійсної місцевизначеної врожайності.

Для більш точного визначення динаміки потоків зерна в комбайні (у підсумку - значень місцевизначеної врожайності) пропонується використовувати інтегральну модель Дюамеля [4]:

$$v_D(t) = \int_{t_0}^t \mu(t-\tau)v_Q(\tau)d\tau, \quad (4)$$

де  $\mu(t-\tau)$  - імпульсна перехідна функція збиральної машини;

$t_0$  - момент початку збирання врожаю.

Для отримання експериментальної оцінки імпульсної перехідної функції (ІПФ) збиральної машини були використані вищенаведені дані лабораторно-польових досліджень. Для цього оброблялися показання датчика інтенсивності потоку зерна в бункер на інтервалі часу  $[t, t^*](t^* > T_3 + \tau)$ .

Після визначення експериментальної оцінки ІПФ, остання використовується для розв'язку інтегрального рівняння (4) згортки двох функцій. Вирішується зворотна задача - відновлення інтенсивності потоку зернової частини хлібного вороху на жатці по відомим значенням показань датчика маси зерна та ІПФ. Завдяки цьому знаходиться оцінка (1) врожайності фітоценозу  $Q_U(\tau)$ , яка необхідна для формування сигналу керування  $U(t)$  на управління режимами роботи комбайна. Тим самим досягається реалізація ефективного функціонування системи (рис. 5) прогностично-компенсаційного способу регулювання режимами функціонування робочих органів збиральної машини.

## Висновки



1. Розроблено методику уточненої оцінки місцевизначеної врожайності для побудови відповідних картограм, що базується на використанні інтегральної моделі Дюамеля опису динаміки потоків зерна в комбайні.

2. Запропоновано прогностичний спосіб регулювання режимами функціонування робочих органів збиральної машини.

3. Визначені і описані шляхи зменшення похибки прогностичної картограми-завдання, а також розроблено спосіб формування компенсаційного сигналу управління режимами роботи збиральної машини.

## Список літератури

1. Войтюк Д.Г. Аспекти системи точного землеробства / Войтюк Д.Г., Анискевич Л.В., Гаврилюк Г.Р. // Аграрний вісник Причорномор'я: зб. наук. пр.– Вип. 3 (6) – Одеса, 1999.– С. 497-501.
2. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / Под ред. Е.С. Босого. – М.: Машиностроение, 1977. – 568 с.
3. Патент №288085DE ФРГ А 01 D41/12 Verfahren zur Regelung der Fahrgeschwindigkeit und der Arbeitsorgane im Maehdrescher nach der Zuflussdicht der Gutmasse / P.Feiffer, A.Feiffer, K.Aigenstaedt, A.Spendler, J.Voigt. – №3330678; опубл. 21.03.1991
4. Корн Г.Справочник по математике для научных работников / Корн Г., Корн Т.– М.: Наука, 1968.– 720 с.

*Л. Анискевич, Д. Войтюк*

### **Управление режимами работы уборочных машин в системе точного земледелия**

Подан анализ проблемы неравномерной загрузки рабочих органов уборочных машин технологическим материалом вследствие изменения уровня местоопределенной урожайности по направлению движения машины. Приведена методика уточнения информации о местоопределенной урожайности путем расчета и использования импульсных переходных характеристик уборочных машин в функции времени. Описана методика прогностического способа управления режимами функционирования рабочих органов уборочной машины.

*L. Aniskevych, D. Vojtuk*

### **Management by the harvester modes of operation in the system of precision agriculture**

The analysis of problem of uneven load of working parts of harvesters by technological material because of changing of site-specific yield to direction of harvester motion is given. The method of accurate definition of information about the site-specific yield by a estimation and use of impulsive transitional function of harvester in function of time is resulted. The prognostic method of management by the modes of operation of harvester is described.

Одержано 17.11.09