

ІНТЕГРОВАНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ У РОСЛИННИЦТВІ

***В.Г. Мироненко, доктор технічних наук
Національний науковий центр «Інститут механізації
та електрифікації сільського господарства»
О.О. Броварець, кандидат технічних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України***

Формалізовані основні положення та визначено техніко-економічні показники застосування інтегрованих систем автоматичного управління технологічними процесами для забезпечення належної якості виконання технологічних операцій у рослинництві.

Агротехнології, точне землеробство, засоби автоматизації, сенсор, система моніторингу, оперативне керування.

Постановка проблеми. В даний час досягти істотного підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва можливо за рахунок підвищення якості виконання технологічних операцій, шляхом оперативного та ціленаправленого керування якістю виконання технологічних операцій у рослинництві. Важливе значення має рівень інтеграції систем автоматичного управління з інформаційно-технічними системами, у тому числі засобами оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь для визначення ціленаправленої дії.

Нова техніка в передових країнах світу сьогодні практично не випускається без тих чи інших засобів оперативного (автоматизованого) контролю та управління технологічними операціями у рослинництві, а в деяких країнах інтенсивно закладаються основи екологічного та точного землеробства.

Аналіз останніх досліджень. На основі попередніх досліджень і проведеного огляду літературних джерел [1–5] визначено існуючі методи і технічні засоби, які впливають на якість виконання технологічних процесів у сучасних технологіях рослинництва; обґрунтовано доцільність застосування комплексів технічних засобів для ціленаправленої дії на ґрунтове середовище робочих органів сучасних сільськогосподарських машин; розроблено математичний апарат для реалізації запропонованих технологій.

Технічна суть реалізації новітніх технологій рослинництва пов'язана з принципово новим рівнем одержання інформації про

© В.Г. Мироненко, О.О. Броварець, 2015

параметри агробіологічного та фітосанітарного стану сільськогосподарських угідь та оперативним прийняттям оптимальних рішень по управлінню технологічними процесами у рослинництві [2, 3, 5].

Мета досліджень. Формалізувати основні положення та визначити техніко-економічні показники застосування інтегрованих систем автоматичного управління виконанням технологічних процесів для забезпечення належної якості виконання технологічних операцій у рослинництві.

Результати досліджень. Аналіз можливих шляхів подальшого підвищення ефективності рослинництва вказує на перспективність впровадження новітніх технологій на основі керованого розвитку рослин [1]. У даному випадку мова йде про необхідність керованого переведення умов одержання урожаю з одного дійсного багатofакторного фазового стану в інший визначений стан у процесі виконання будь-якої технологічної операції. Вирішення такої задачі потребує наступних дій: отримання інформації про стан об'єкта керованого впливу (ґрунт, рослина, шкідники, бур'яни) за основним і додатковими параметрами; визначення вектору зміни фазового стану контрольованої точки з врахуванням факторів зовнішнього впливу; формалізація параметрів бажаного стану об'єкта керування; розробка алгоритму оптимального керування процесом переходу об'єкта в заданий фазовий стан; реалізація заданого алгоритму виконання технологічного процесу.

Очевидно, що сучасні системи „людина – машина – поле” не можуть забезпечити виконання поставленої задачі і потребують створення техніки п'ятого технологічного рівня, який передбачає насичення техніки засобами інформатизації, комп'ютеризації та електротехніки, систем з керованою якістю виконання технологічних процесів.

Необхідна якість виконання основних технологічних процесів у рослинництві забезпечується за рахунок інтегрованих систем автоматичного управління виконанням технологічних процесів у рослинництві (моніторингу стану сільськогосподарських угідь та інформаційного забезпечення сільськогосподарського виробництва), а також підвищенням точності водіння і оперативного управління робочими органами машин.

Традиційно моніторинг угідь зводиться до аналізу проб ґрунту на хімічний склад та визначення властивостей ґрунту в лабораторних умовах [5], що забезпечує одержання лише часткових значень контрольованого процесу та ще й з істотною затримкою в часі.

Одним із шляхів підвищення ефективності моніторингу стану ґрунтів за традиційними технологіями є автоматизоване керування режимами відбору проб та аналізу їх хімічного складу, при цьому

поширення набуває використання сенсорних оптичних та електричних систем. Для дослідження електропровідних властивостей ґрунту використовують контактну-руйнівний та безконтактний спосіб моніторингу електропровідних властивостей ґрунту.

В табл. 1 приведені деякі системи моніторингу, що можуть бути використані для забезпечення належної якості виконання технологічних операцій.

1. Технології моніторингу в сучасних технологіях рослинництва.

Технологічний процес	Новітня технологія	Системи моніторингу
Внесення добрив	Локально-дозоване внесення добрив	Технічні системи моніторингу електропровідних властивостей ґрунту, спектрометричний моніторинг Моніторинг глибини обробітку, режими роботи робочих органів сільськогосподарської техніки, датчик вологості ґрунту, датчик щільності ґрунту
Обробіток ґрунту	Технологія Strip-Till	Технічні системи моніторингу електропровідних властивостей ґрунту, спектрометричний моніторинг
Посів	Диференційована сівба сільськогосподарських культур	Системи технічного огляду
Внесення хімічних препаратів	Локально-дозоване внесення хімічних препаратів	Об'ємні датчики зерна, датчик вологості
Збір урожаю	Моніторинг урожайності	

Суттєве покращення ефективності рослинництва може бути досягнуто при переході від суцільного до локально-дозованого або диференційованого обробітку ґрунту і рослин. При цьому кожна технологічна операція виконується згідно оперативної отриманої інформації (в режимі on-line, коли дані збираються одночасно з виконанням технологічної операції), або відповідної програми (в режимі off-line, яка розробляється попередньо на основі різнопланової інформації).

На сьогодні відпрацьовані та можуть бути використані як складові комплексних систем забезпечення належної якості виконання технологічних операцій у рослинництві цілий ряд систем і технічних засобів [1–5].

Системи точного позиціонування агрегату на полі. Система позиціонування включає антену-приймач глобальних позиційних систем GPS (США) і ГЛОНАСС (Росія), яка встановлюється на агрегат і

пеленгує сигнали з супутників, що знаходяться в зоні прийому. Точність визначення місцезнаходження об'єкта знаходиться в діапазоні від декількох метрів до одного сантиметра. Приклади приладів позиціонування агрегатів на полі, які найбільш часто використовуються на території України, приведені в табл. 2.

2. Прилади позиціонування агрегатів на полі.

№	Марка	Коротка характеристика
1.	Приймач GPS 252	Точність позиціонування 3-30 см, двохчастотний режим
2.	Приймач AG GPS 332	Використовується на будь-яких сільськогосподарських операціях. Вмонтовується в кабіні. Точність регулюється
3.	Agrovov «Grotec» Приймач StarFire	Точність позиціонування ± 10 см. Складається з GPS-приймача і терміналу
4.	iTC фірми «John Deere»	Сумісний з сигналами: SF1, SF2, EGNOS

Автоматичні ґрунтопробовідбирачі. Переваги використання автоматичних ґрунтопробовідбирачів показані в табл. 3, а характеристики в табл. 4. Для автоматизованого взяття ґрунтових зразків ґрунтопробовідбирачі монтуються на різних енергетичних засобах. За результатами аналізу відібраних проб розробляється карта розподілу речовин по полю. Такі карти використовуються для створення технологічних карт диференційованого внесення технологічних матеріалів і ухвалення управлінських рішень.

3. Порівняльна таблиця операцій взяття ґрунтових проб і внесення добрив в традиційній і новітній системах землеробства.

№	Операція	Традиційне землеробство	Точне землеробство
1.	Загальна ґрунтова проба на аналіз	Відбирається з 5-20 га	Відбирається з 1-5 га
2.	Відбір проб	Ручним буром	Автоматичним ґрунтопробовідбирачем
3.	Картографічна основа	Ґрунтова карта і план землекористування	Електронна ґрунтова карта, космічні знімки з географічною прив'язкою
4.	Місце відбору проб	Визначається вішками, теодолітом, місце відбору точно не фіксується	Визначається системою глобального позиціонування. Місце відбору фіксується з точністю 30 см
5.	Складання картограм	Вручну	За допомогою програмного забезпечення

Продовження табл. 3

№	Операція	Традиційне землеробство	Точне землеробство
6.	Розрахунок дози добрив	По середньому значенню для всіх полів, вручну	Диференційований для кожної ділянки поля, автоматично за програмою
7.	Внесення добрив	На полі створюються ділянки з надмірним і недостатнім змістом живильних речовин	Кожна ділянка поля удобрена по потребі, згідно картограмі

4. Автоматичні ґрунтопробовідбирачі.

№	Фірма-виробник найменування	Глибина узяття проб, см	Характеристика
1.	Нітфельд DuoHrob-60 універсальний	0–30 30–60	Встановлюється на трактор, автомобіль-пікап, автопричіп. Оснащений GPS-приймачем. Програмне забезпечення: «Геоплан» або КБ «Панорама». Час узяття проби 20-25 секунд. Оснащений польовим ноутбуком
2.	Нітфельд MultiPROB 120	0–30 30–60 60–90	Розділяє проби на три горизонти. Встановлюється на квадрицикл. Програмне забезпечення: «Геоплан» або КБ «Панорама»
3.	Еміті Конкорд 9800A/Agricultural	0–122	Автоматично бере 10 проб. Час узяття однієї проби 25-30 секунд
4.	Fritzmeier	0–90	Повний автомат з точною прив'язкою до місцевості. Час узяття однієї проби – 15-20 секунд. Для складання ґрунтової карти використовується бортовий комп'ютер

Системи паралельного водіння (автопілотування). Інтегровані системи автопілотування вбудовуються в гідравлічну систему самохідної техніки. Спеціальний контролер приймає сигнали GPS/ГЛОНАСС-приймача і перетворює їх через додатковий гідравлічний (або електричний) контур у відповідні зміни руху агрегату. При цьому рух може бути прямо- або криволінійним. Перекриття і пропуски між сусідніми проходами зводяться до мінімуму (до 20 см), а при використуванні базових станцій RTK – до 5 см. Система забезпечує можливість працювати вночі, в умовах поганої видимості, знижує стомлюваність тракториста, підвищує продуктивність праці, зменшує витрати пального і технологічних матеріалів.

Характеристики ряду систем паралельного водіння самохідної сільськогосподарської техніки приведені в табл. 5.

Системи картографування врожайності. Підсумком роботи системи є детальна карта врожайності прибраного поля, де різними кольорами виділені зони (ділянки) з різною врожайністю. В табл. 6

приведені характеристики діючих систем картографування врожайності.

5. Системи паралельного водіння агрегатів.

№	Система паралельного водіння	Характеристика
1.	Ag GPS EZ – Guide Plus	Точність водіння від гону до гону 15–30 см. Поєднується з будь-яким трактором. Збільшує продуктивність на 13-20%
2.	Автопілот E-Drive	Точність проходження суміжних проходів 10 см. Дозволяє водити трактор на схилах. Встановлюється на будь-які імпорتنі трактори з гідропідсилювачем керма
3.	Trimble EZ-Guide 500 (OnPath b HP XP)	Точність водіння 7–25 см. Антена діапазону L1/L2. Відстежує огріхи, виміряє площу поля. Підключається до підрулюючого пристрою Trimble EZ-Steer
4.	Auto Track Universal фірма «John Deere»	Комплект універсальний: встановлюється на будь-які машини. Є функції автопілотування і корекції положення на схилах. Працює з системою Green Star

6. Системи картографування врожайності.

№	Позначення (марка) системи	Характеристики
1.	Грінстар™ Харвест Док	Склад для комбайна «John Deere»: навігаційна система StarFire (точність водіння 30 см); дисплей; процесор; ключова карта; датчики маси і вологості зерна; програма картографування врожайності; бортовий принтер; карта пам'яті HCMCJA
2.	Claas Lexion	Встановлена на комбайнах CLAAS. Система забезпечена багатофункціональним контролером
3.	Універсальна система картографування врожайності (Геомір)	Встановлюється на будь-які зернозбиральні комбайни. Визначає врожайність і вологість зерна з одиначної площі з урахуванням місцеположення комбайна і нерівностей поля
4.	Agrotronix S.A. Франція	Визначає врожайність і вологість зерна в режимі реального часу

Сенсорні датчики. Застосовуються різні типи і системи сенсорних датчиків (табл. 7), які встановлюються на агрегатах, що виконують, переважно, операції внесення рідких мінеральних добрив і засобів захисту рослин.

Створення систем з керованою якістю виконання технологічних процесів передбачає створення сільськогосподарської техніки нового покоління і полягає в доданні до базової структури системи „людина – машина – поле” контуру оперативного керування (рис. 1).

Додатковий контур оперативного керування повинен виконувати наступні функції: отримання поточної інформації про стан поля

$I_{Pi}(t)$, режими роботи робочого органу $I_{Mi}(t)$ і у процесі виконання технологічної операції; формування з отриманої інформації значення показника якості; порівняння дійсного показника якості $I_{Aj}(t)$ з бажаним (розрахованим) і обчислення на цій основі відповідної управляючої дії $U_{Ti}(t)$, або сигналу оператору на зміну параметрів робочого органу (управляючого пристрою) $U_{Oi}(t)$ для досягнення бажаного показника якості.

7. Сенсорні датчики.

№	Марка, фірма-виробник	Характеристики
1.	Greenseeker Hundro Agri	Встановлюють на машини для внесення добрив з робочою шириною 18 м (30 датчиків з кроком 0,6 м). Вимірюють кількість відображеного від рослин світла в діапазоні 600–780 нм. Після обчислення на комп'ютері вегетаційного індексу подається певна доза робочої рідини через кожний жиклер певна порція. Добриво вносять локально
2.	Grop-Sensor Hundro Agri	Застосовують для дозованого внесення фунгіцидів і стимуляторів зростання на колосових культурах, щрб не вилягли. Спереду трактора кріпиться маятник, який вимірює силу опору рослин переміщенню і подає сигнал на внесення певної кількості рідини.
3.	YARA N-Sensor	Застосовують для визначення вмісту азоту в рослинах, відповідної азотного підживлення і внесення регуляторів росту рослин
4.	Agrocom VRA (Grop-Meter)	Система безперервно вимірює біомасу рослин і здійснює відповідне змінне дозування засобів захисту рослин по ходу руху агрегату

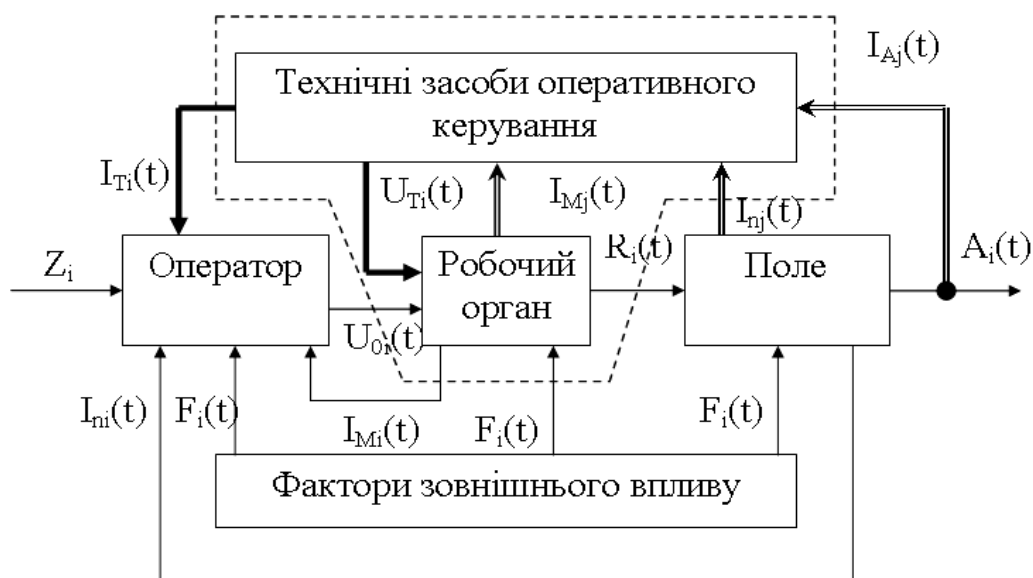


Рис. 1. Модель системи „людина – засоби оперативного керування – машина – поле” з керованою якістю роботи.

Задача синтезу системи з керованою якістю виконання технологічного процесу полягає у визначенні алгоритму функціонування керуючого пристрою, тобто його структури і параметрів, при відомих рівняннях роботи базової системи і характеристиках вхідних сигналів. При цьому оптимальне керування слід шукати не у формі $U = U(t)$, а у формі $U = V(x)$, тобто оптимальне керування у кожний момент залежить від того, у якій точці простору знаходиться в даний момент фазова точка об'єкта впливу. Якщо, наприклад, мова йде про внесення оптимальної дози добрив, то при формуванні керуючої дії необхідно враховувати не лише ефективну дію даної норми добрив на відповідну культуру на тому чи іншому полі, але і динаміку забезпечення ґрунту цими поживними елементами протягом певного часу кожної характерної ділянки цього поля.

8. Основні показники технологічних процесів і фактори керованого впливу на якість їх виконання.

Технологічний процес і його вагомість впливу на врожай	Показники якості	Основні фактори керованого впливу на ефективність технологічного процесу	Вагомість впливу факторів на якість виконання	Потенційно-можливий ефект
Внесення добрив 0,09	Норма внесення	Положення дозатора	0,37	Зменшення витрат добрив на 50-70%
	Рівномірність внесення	Напрямок руху МТА	0,32	
Оранка 0,07	Глибина обробітку	Частота обертання робочих органів	0,31	Зменшення на 5-30% витрат паливного
	Заорювання рослинних залишків	Положення робочих органів	0,51	
Посів 0,20	Глибина посіву	Напрямок руху агрегату	0,23	Збільшення урожаю до 15%
	Норма висіву	Положення дозатора	0,45	
Внесення хімічних препаратів 0,09	Прямолінійність рядків	Напрямок руху агрегату	0,09	Зменшення загальних затрат на 10-30%
	Просіви	Відмови та порушення	0,22	
Збір урожаю 0,22	Норма внесення	Положення дозатора	0,37	Зменшення до 25% витрат зерна
	Рівномірність внесення	Напрямок руху агрегату	0,32	
	Втрати та пошкодження	Відмови та порушення	0,31	
		Напрямок руху комбайна	0,73	
		Положення робочих органів	0,08	
			0,16	

Відносно показника якості, що піддається керуванню, узагальнений об'єкт управління може бути описаний наступним рівнянням:

$$y^{(n)} + \sum_{i=0}^{n-1} a_i(t)y^{(i)} = \sum_{j=0}^m b_j(t)x^{(j)},$$

де: x – керуюча дія; y – вихідна координата показника якості; $a_i(t)$, $b_j(t)$ – перемінні у часі коефіцієнти.

В процесі проведених досліджень по створенню машин нового покоління [2] були отримані практичні результати (табл. 8) підвищення ефективності виконання технологічних операцій.

Отже, як видно з табл. 8, використання технічних систем моніторингу сільськогосподарських угідь при певній технологічній операції дає можливість забезпечити належної якості технологічні операції. Проте немає чітких рекомендацій та надійних датчиків для вимірювання агробіологічних партерів сільськогосподарських угідь при виконанні технологічних операцій та зв'язку між собою принципово різних систем моніторингу для їх подальшого використання у наступних технологічних операціях. Відсутні, а в багатьох випадках навіть не запропоновано принципи роботи систем для експрес-вимірювання багатьох специфічних агробіологічних параметрів для оперативного керування якістю виконання технологічної операції, а відповідно і ефективністю сільськогосподарського виробництва.

У відповідності до запропонованої моделі нами встановлено, що використання інтегрованих систем автоматичного управління виконанням технологічних процесів у рослинництві з керованою якістю виконання технологічних процесів для [2, 3]:

- обробітку ґрунту по спіралі без розриву технологічного процесу (за рахунок зміни ширини захвату плуга в залежності від зміни напрямку руху орного агрегату)- дає можливість підвищити продуктивність агрегату до 18%, зменшити витрати пального до 10% та зменшити негативний вплив ерозії ґрунту;

- висіву насіння зернових культур – проводиться без участі робітників – сівачів, а довжина просівів при забиванні сошників зменшується майже в 20 разів і не перевищує 5,9 м;

- внесення твердих мінеральних добрив (за рахунок стикування суміжних проходів широкозахватних агрегатів з точністю $\pm 0,4$ м, контролю рівномірності подачі добрив на робочі органи і контролю режимів їх роботи) похибка дозування може бути значно знижена відносно агротехнічних допусків для сучасних машин і становити 3–9%;

- збирання урожаю – контролюються відносні втрати зерна зернозбиральним комбайном, при цьому точність визначення втрат у порівнянні з визначенням абсолютних втрат підвищується до 30%.

Висновки

Досягти принципового збільшення виходу сільськогосподарської продукції з одиниці оброблюваної площі можна при упровадженні

нових прогресивних технологій виробництва на основі застосування машин нового покоління.

Забезпечення необхідної якості виконання технологічних процесів можливе за рахунок використання технічних засобів оперативного контролю технічного стану і робочих процесів машин (коефіцієнт вагомості 0,22–0,73), точності водіння мобільних агрегатів (0,08–0,32), оперативного керування робочими органами машин за раціональним алгоритмом (0,37–0,51).

Розроблені та досліджені зразки техніки нового покоління з керованою якістю виконання технологічних процесів дозволяють забезпечити збільшення продуктивності праці – до 20%, зменшення витрат паливного і технологічних матеріалів на 15–20%, одержати економічний ефект – понад 350 грн/га та зменшити шкідливий антропогенний вплив техніки на навколишнє середовище.

Список літератури

1. Адамчук В.В. Техніка для землеробства майбутнього / В.В. Адамчук, В.К. Мойсеєнко, В.І. Кравчук, Д.Г. Войтюк // Механізація та електрифікація сільськогосподарства. – Глеваха: ННЦ „ІМЕСГ”. – 2002. – Вип. 86. – С. 20–32.
2. Мироненко В.Г. Технічні засоби забезпечення якості виконання технологічних процесів у рослинності : монографія / В.Г. Мироненко. – К.: НАУ, 2005. – 202 с.
3. Броварець О.О. Інформаційні технології та технічні засоби нового покоління для моніторингу й забезпечення якості виконання технологічних процесів при вирощуванні сільськогосподарських культур / О.О. Броварець // Хранение и переработка зерна. – 2013. – № 6 (171). – С. 37–42.
4. Броварець О.О. Теоретичні основи визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища / О.О. Броварець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2014. – Вип. 196. – Ч. 1. – С. 287–296.
5. Броварець О.О. Прогностично-компенсаційна технологія змінних норм внесення технологічного матеріалу на основі уточнених даних ґрунту / О.О. Броварець // Сільськогосподарські машини. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2014. – Вип. 27. – С. 3–15.
6. *Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors.* Morari, F.1, Castrignanò, A.2 Pagliarin, C.1. *Computers & Electronics in Agriculture*; Aug. 2009, Vol. 68 Issue 1, P. 97–107.
7. *Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity.* Kitchen, N.R.1, kitchenn@missouri.edu, Sudduth K.A., Myers D.B., Drummond S.T., Hong S.Y. *Computers & Electronics in Agriculture*; Mar2005, Vol. 46 Issue 1-3, P. 285–308.
8. Olteanu C., Zamfira, S., Oltean Gh., Turcu, C., Olteanu, F. Designing and Implementing an Intelligent System for Measuring, Acquiring and Tracing Maps with Regard to Soil Electrical Conductivity Experimental Model. *Acta Technica Napocensis, series: Applied Mathematics and Mechanics* 45,3, 601-606 ISSN 1221-5872, Technical University of Cluj-Napoca, 7-9 July 2006.
9. Won I.J. and Haoping Huang. Magnetometers and electro-magnetometers. *THE LEADING EDGE*. May 2004. P. 26–29.

10. Hertz A. Chad and John D. Hibbard. "A Preliminary Assessment of the Economics of Variable Rate Technology for Applying Phosphorus and Potassium in Corn Production," Farm Economics iss. 14, Department of Agricultural Economics, University of Illinois, Champaign-Urbana. – 1993. – P. 218–231.
11. *Applying* nitrogen site-specifically using soil electrical conductivity maps and precision agriculture technology. Lund ED ; Wolcott MC ; Hanson GP, TheScientificWorldJournal [ScientificWorldJournal] 2001 Oct 16; Vol. 1 Suppl 2, pp. 767-76. Date of Electronic Publication: 2001 Oct 16.
12. *Small Scale Spatial Variability of Apparent Electrical Conductivity within a Paddy Field.* Aimrun, W.1, Amin, M. S. Ezrin, M. H., Applied & Environmental Soil Science; 2009, Vol. 2009, P. 1–7.

Формализованы основные положения и определены технико-экономические показатели применения интегрированных систем автоматизированного управления технологическими процессами для обеспечения надлежащего качества выполнения технологических операций в растениеводстве.

Агротехнологии, точное земледелие, средства автоматизации, сенсор, система мониторинга, оперативное управление.

Formalize guidelines and determine the technical and economic characteristics of integrated systems of automated control of technological processes to ensure the quality of performance of technological operations in crop production.

Agrotehcnology, exact agriculture, facilities of automation, sensor, system of monitoring, operative management.

УДК 631.3:620.172

LEAKS AND CORROSION RESISTANCE COMPOUNDS USING IN ELIMINATING CRACKS

Sergey Karabinesh

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

The paper presents the methodology and results of comparative tests for leaks and corrosion resistance of joins used in elimination of cracks in cast iron body parts. Investigations were carried out to determine the necessary parameters using glue welding, welded and glued joints.

Glue welding, welding, adhesive compound, sealing, corrosion resistance, tests, studies, results.

© Sergey Karabinesh, 2015