

УДК 631.3.

Броварець О., канд. техн. наук, доцент, (НУБіП України)

## Від безплужного до глобального розумного землеробства (продовження статті)

У статті розглянуто основні принципи будови та особливості функціонування різних систем землеробства та показано перспективи їх розвитку.

**Ключові слова:** системи землеробства, точне землеробство, сенсор, моніторинг сільськогосподарських угідь, спектрометр.

За цих умов використання технології стрічкового обробітку ґрунту або технології STRIP-TILL значно знижує енергозатрати, але за умов раціонального застосування робочих органів, використання яких залежить від безлічі факторів (попередника, структури ґрунту, вологості тощо).

Головне завдання механічного обробітку ґрунту полягає у створенні сприятливих умов для росту та розвитку рослин. Оптимальним значенням щільності ґрунту є 1, 1-1,3 г/см<sup>3</sup>. Для досягнення цього показника необхідно зменшувати механічну дію на ґрунт за рахунок застосування певних ґрунтообробних органів.

Для забезпечення таких умов необхідно розробити класифікацію робочих органів з урахуванням важкості їх роботи та руйнування структури ґрунту. Тому робочі органи, які використовують у STRIP-TILL, варто класифікувати залежно від послідовності їх роботи та навантаження на ґрунт.

Деякі технологічні операції можна сумістити. Так, наприклад, нарізання стрічок, як правило, суміщають з осіннім внесенням добрив. Весною одночасно з внесенням добрив проводять сівбу.

Обладнання для STRIP-TILL можна розділити на три основні категорії: легкі, середні і важкі, залежно від ваги секцій і глибини обробітку (або ступеню обробітку ґрунту). Причому їх класифікують за ступенем дії робочого органу на ґрунт.

Технологія смугової обробки STRIP-TILL активно застосовується в США і Канаді. Для цієї технології використовують сільгосптехніку як широкоспеціалізованих компаній – KRAUSE (GLADIATOR), SUNFLOWER (серія 7600), WIL-RICH (серія 357), HORSCH (FOCUS),

KUHN (STRINGER), JOHN DEERE (2510), так і вузькоспеціалізованих невеликих фірм – YETTER (MAVERIK), REMLINGER (PST), BIGHAM BROTHERS (Strip Till), DAWN (модель 7772), UNVERFERTH (Ripper-Stripper) Orthman (1tRIPr) (рис. 2).



1



2



3



4



5

© Броварець О., 2016



Рис. 2 – Сільськогосподарські знаряддя для реалізації технології STRIP-TILL: 1 - Pluribus (DAWN); 2 - 1tRiPr (Orthmen); 3 - Till-N-Plant (Schlagel); 4 - PST (Remlinger); 5 - 7600 (Sunflower); 6 - Stripcat (Slyfrance).

Агрегати для середнього STRIP-TILL обробітку восени завглибшки 20-30 см найбільш поширені. Класичним прикладом можна назвати 1tRiPr (ORTHman), GLADIATOR (Krause), Till-n-Plant (Schlagel), 7600 (Sanflower). На таких агрегатах обов'язково є могутня стійка для глибокого обробітку ґрунту. Через цю стійку глибоко в ґрунт можуть подаватися рідкі і (або) сипкі добрива, у тому числі на два рівні. Такі агрегати найбільш поширені і дуже добре підходять для осіннього обробітку. Проте під час весняного обробітку в зонах з нестачею вологи стійка сильно висушує ґрунт, виносячи на поверхню вологий шар. Другою особливістю агрегатів середнього обробітку є те, що стійки глибокорозпушувача розташовуються, як правило, на одній секції на паралелограмній навісці і таке навішування не дозволяє заглибити стійку більш ніж на 25 см за складних умов обробітку, наприклад, у посушливий період. Зате паралелограмна навіска забезпечує рівномірний обробіток по всій ширині агрегата, у тому числі і на 11 метрів.

Використовуючи комбінацію тих чи інших робочих органів можна досягти ефективного виконання технологічних операцій з мінімальними затратами. Технологію STRIP-TILL можна застосовувати і за традиційного або мінімального обробітку ґрунту, наприклад, проводячи восени неглибоке (на 5-6 см) суцільне дискування ґрунту, а весною – смуговий обробіток завглибшки 15-25 см одночасно з сівбою (рис. 2).

**Розумне землеробство.** Особливістю розумного землеробства є використання не лише автоматизованих машинно-тракторних агрегатів, а й розумних сільськогосподарських машин, які виконують технологічну операцію, зокрема виконавчих органів. Під час виконання технологічної операції такі машини використовують архіви масиву даних про агробіологічний стан виконання технологічної операції, та мають специфічні робочі органи, які керують процесом виконання технологічної операції.

З цією метою досить широко використовують різні датчики оперативного контролю якості виконання технологічних операцій. Зараз зароджуються системи для технологій розумного землеробства. За попередніми оцінками володіння такими системами дає можливість зменшити норму використання технологічного матеріалу (добрив, насіння) і витрати на 20-30% оптимізацією внесення технологічного матеріалу.

На сучасному етапі розроблено досить багато

машин для часткової реалізації технологій розумного землеробства. Одним із найважливіших елементів застосування технологій розумного землеробства є збір та реєстрація місцевизначеної інформації (агробіологічної та фітосанітарної) про агробіологічний стан сільськогосподарських угідь. Наявні технології моніторингу базуються на застосуванні різних способів і засобів збору місцевизначеної інформації з відповідним спеціалізованим обладнанням [1].

Моніторинг — комплекс наукових, технічних, технологічних, організаційних та інших засобів, які забезпечують систематичний контроль (стеження) за станом сільськогосподарських угідь.

Втілення технологій розумного землеробства дозволяє планувати витрати насіннєвого матеріалу, добрив, пестицидів та інших технологічних матеріалів, у тому числі палива, визначати загальну стратегію управління агробіологічним потенціалом поля тощо. Проте сьогодні для реалізації цих технологій бракує ефективних систем збору та реєстрації (моніторингу) місцевизначеної інформації (агробіологічної та фітосанітарної) про стан сільськогосподарських угідь у технологіях точного землеробства. Наявні способи і засоби реалізації цього процесу недосконалі [2].

У цьому сенсі набуває актуальності розробка та використання принципово нового класу сільськогосподарських машин для моніторингу стану сільськогосподарських угідь за допомогою систем технічного зору (спектрометрів). Сучасне сільськогосподарське виробництво передбачає широке використання автоматичних систем для моніторингу стану сільськогосподарських угідь. Моніторинг стану сільськогосподарських угідь – важливий шлях підвищення врожайності сільськогосподарського виробництва та рентабельності.

Основним напрямком розвитку систем технічного зору є виготовлення оптичних датчиків, які визначають вміст азоту в рослинах. Використовуючи ці датчики та спеціальне технічне та програмне забезпечення, можна змінювати норми внесення добрив, пестицидів, регуляторів росту тощо.

Використання сучасних систем технічного зору для моніторингу дає можливість підвищити рентабельність процесів збору місцевизначеної інформації про стан сільськогосподарських угідь та знизити собівартість виробництва продукції рослинництва, зменшити витрати на паливно-мастильні продукти, пестициди та насіння, підвищити продуктивність обробітку та підвищити рентабельність ведення сільського господарства.

Принцип роботи таких систем базується на використанні оптоелектронного датчика (спектрометра). Датчик фіксує випромінювання, яке утворюється в результаті відбиття рослинами світла певної довжини. Використовуючи індекс вегетативної маси визначається норма добрив, необхідна рослинам на певній стадії. Використовуючи системи диференційованого внесення добрив, можна досягти рівномірності та однорідності врожаю рослин у межах одного поля. Тим самим можна досягти надбавки врожаю на 10-20%.

Отже, системи технічного зору – це системи для безперервного, об'єктивного та оперативного моніторингу стану фітоценозів і біорізноманіття екосистем,

пов'язаних з використанням фотоапаратів, відеоапаратури та інших технічних засобів наземного, повітряного та космічного базування [3].

В Україні є значні площі природних та культурних фітоценозів, де застосування інсектицидів потребує або жорсткої регламентації, або недопущення їх використання. Це особливо стосується спеціальних сировинних зон, які відповідають умовам виробництва продукції рослинництва і тваринництва, придатної для виготовлення продуктів дитячого та дієтичного харчування і санітарно-курортних зон. У таких умовах посилюється необхідність ефективного моніторингу та надійного контролю екорізноманіття.

Фірма «Fritzmeier» виробляє високоякісні сенсори азоту «ISARIA» та «MiniVeg-N». Відомо, що принцип роботи «ISARIA» (рис. 3) базується на передових технологіях оптоелектронного датчика. Він має дуже цікавий і продуманий дизайн.



Рис. 3 – Сенсор азоту «ISARIA»

Сенсор «MiniVeg-N» (рис. 4) – це високотехнологічний датчик для точного визначення вмісту N, біомаси та врожаю культур. «MiniVeg-N» – єдиний датчик, який поєднує в собі спеціальні сенсори оптоелектроніки. Він працює за принципом лазерної флуоресценції. Система працює незалежно від пори дня і року та в різних погодних умовах і здатна визначати захворювання на листках рослин [5].



Рис. 4 – Сенсор азоту «MiniVeg»

Недоліками «ISARIA» та «MiniVeg-N» є те, що вони оптимальні для використання на невеликих площах (лише до 100 га).

Датчик «GreenSeeker» (рис. 5) - система диференційованого внесення азоту, без якої на сьогоднішній день майже не обходяться фермери Америки, Німеччини та інших країн і яка дозволяє працювати 24 години на добу. Вона є інтегрованою оптично-сенсорною системою внесення, яка в реальному часі визначає стан культури і на основі цього диференційовано вносить необхідну кількість азоту. Обчислення даних

NDVI усереднюються в кожній зоні. Контролер системи коригує норму внесення для кожної наступної зони. Система сумісна з більшістю контролерів. Сенсори можуть монтуватися на штангах різної конфігурації на більшості обприскувачів. Азотний сенсор GreenSeeker RT200 дозволяє керувати в русі зоною внесення азоту. Сенсор сканує рослину за допомогою променів світловипромінювальних діодів, оптично розпізнає стан культури, використовуючи вегетативний індекс та надає змінну норму внесення.



Рис. 5 – Датчик «GreenSeeker RT200»

Недоліки: розмір зони, яка охоплюється сенсором, дуже незначна порівняно з Yara-N-Sensor (лише 6%); для експлуатації необхідно кріпити до штанги обприскувача, а для внесення сухих мінеральних добрив необхідно виготовити штангу окремо; дорогий; має малу силу освітлення.

Датчик «Crop Circle» ACS-470 (рис. 6) - активний датчик рослинного покриття, який використовує класичні вегетаційні індекси (NDVI, НДІ та ін), а також відбиття рослинного покриття і ґрунту. На відміну від пасивних радіометричних датчиків світла використання ACS-470 дозволяє проводити вимірювання і вночі завдяки використанню своїх унікальних, запатентованих датчиків світла. Його виробник – американська фірма «Holland Scientific», яка нещодавно уклала торгову угоду з компанією «AgLeader».



Рис. 6 – Датчик «Crop Circle» ACS-470

Недоліки: ціна висока, але, що приємно, менша ціни інших сучасних сенсорів. Освітлення відбувається перпендикулярно відносно до рослини. Для закріплення необхідно використовувати штангу обприскувача.

«Cropmeter» (рис. 7) виробляється компанією «CLAAS Agrosystems» та продається з 2002 року. Система CROP - Meter являє собою механічний пристрій, призначений для диференційованого внесення сухих та рідких добрив.



Рис. 7 – Датчик «Cropmeter»

Система CROP - Meter працює за принципом непрямого вимірювання біомаси рослин. На передній частині трактора кріпиться маятник, за допомогою якого на постійній висоті вимірюється сила опору рослин під час їх відхилення від вертикального положення. Залежно від кута відхилення маятника і встановлених під час калібрування коефіцієнтів, бортовий комп'ютер обчислює біомасу рослин, вміст у них азоту. Отримані значення передаються на контролер обприскувача або розкидача добрив. Така технологія забезпечує внесення добрив залежно від стану рослин.

Недоліки: прилад базується на непрямих вимірюваннях, а тому він має велику похибку. Щоб прикріпити прилад, необхідно придбати окремо передній начіпний пристрій.



Рис. 8 – Датчик CropSpec

Фірма «TopCon» представила на виставці «Agritechnika» свій продукт «CropSpec» (рис. 8), який проводить комплексний моніторинг культур у режимі реального часу із застосуванням систем, розроблених у співпраці з Yara International. CropSpec складається з двох датчиків, легкий і простий в установці. Датчики встановлюються на даху кабіни, щоб усунути потенційний збиток для сільськогосподарських культур або обладнання. З технологією спеціальної оптики CropSpec використовує пульсаційні лазерні діоди для сприйняття. Датчик вимірює відбиття рослини для визначення вмісту хлорофілу, який тісно пов'язаний з концентрацією азоту в лист. Цей безконтактний метод

забезпечує точні, стабільні показники та повторюваність значень.

Недоліки: у ньому не вистачає калібрувального пристрою.



Рис. 9 – Датчик «CropScan»

Датчик «CropScan» (рис. 9) - це програмний продукт фірми «ARES». «CropScan» являє собою легкий портативний сканер, який може використовуватися в автономному й автоматичному режимі. Вимірюванням кількості випромінювання, яке поглинається, пропущеного або відбитого в кожній з довжин хвиль, визначають характеристики речовини. Для CropScan мультиспектрального радіометра (MSR), система вузькопугових фільтрів інтерференційної смуги використовуються для вибору певних смуг у видимому і ближньому інфрачервоному (NIR) просторі електромагнітного спектра.

Недоліки: прилад перебуває на стадії експериментальних досліджень.

«YARA N-Сенсор®» – продукт фірми «YARA». Азотний сенсор YARA призначений для диференційованого внесення азотних добрив відповідно до кольору листової поверхні рослин у полі. Робота апаратно-програмного комплексу ґрунтується на залежності кольору рослини від вмісту азоту, який входить до складу хлорофілу. На дах трактора монтується азотний сенсор (N-сенсор), який фіксує забарвлення рослин. Далі інформація про стан культури подається на робочі органи розкидача або обприскувача.

Азотні сенсори YARA бувають:

- Пасивні (рис. 10), які фіксують тільки сонячне світло, відбите листовою поверхнею рослин. Такі системи потрібно заново калібрувати за зміною освітленості (вечір, ранок, хмари, туман і т.д.).



Рис. 10 – Пасивний сенсор азоту фірми Yara

Активні (рис. 11) мають свої власні прожектори, що знижує вплив інтенсивності сонячного світла на роботу (можна працювати і вночі).

YARA N-Сенсор залишається провідним аиробні-

ком сенсорів азоту. У сенсора велика кількість переваг: великий досвід фірми у розробках та у використанні, потужна освітлювальна система, кут, під яким освітлюють рослини – 45, є калібрувальний сенсор, який дозволяє працювати незалежно від погоди. Як опцію можна встановити датчики, які визначають вміст мікроелементів та їх потребу рослинами.



Рис. 11 – Активний сенсор азоту фірми Yara

Недоліки: дуже висока ціна, окремо необхідно придбати Yara-N-Tester для попереднього оцінювання стану культури та калібрування пристрою.

Польовий спектрометр українського виробництва дає можливість швидкого обстеження стану посівів сільськогосподарських культур для ефективного моніторингу технологій вирощування, отримання даних для реалізації програм точного землеробства, раннього виявлення екологічних ризиків, розроблення ефективної наземної валідації (перевірки на достовірність), вимірювань стану рослинності з борту літака чи космічного корабля.

Однією з умов переходу до розумного землеробства є виконання технологічних операцій автоматизованими машинно-тракторними агрегатами, які керуються автоматичними системами, тобто забезпечується автоматичне водіння. Такі системи дають можливість забезпечити належну якість виконання технологічних операцій. Прикладом такої системи є трактор John Deere 8R, обладнаний системою автоматичного водіння AutoTrac (рис. 12).



Рис. 12 – Трактор John Deere серії 8R, обладнаний системою автоматичного водіння AutoTrac

Система дозволяє реалізувати прямі та зігнуті траєкторії, працювати в умовах недостатньої оглядовості, знижуючи при цьому кількість пропусків та перекриттів на 90%, що в результаті призведе до економії технологічного матеріалу та паливно-мастильних матеріалів. Саме ця система демонструвалася на агропромисловій виставці AGROEXPO-2016 (29 вересня - 01 жовтня 2016 року) в Кіровограді.

**Глобальне розумне землеробство.** На мою

думку, починаючи з 2020 року почнеться інтенсивний розвиток глобального розумного землеробства. Глобальне розумне землеробство передбачає використання автоматизованих машинно-тракторних агрегатів з розумними сільськогосподарськими машинами, які «спілкуються» між собою. Це означає, що сільськогосподарські машини матимуть можливість отримувати інформацію від «попередніх» сільськогосподарських машин, які виконували технологічну операцію, та різного роду датчиків та систем (датчиків оперативної вологості, датчиків температур повітря і ґрунту, зокрема від ґрунтообробки, сівби, внесення мінеральних макро- та мікродобрив).

На практиці це означатиме, що машини самі в автоматичному режимі отримуватимуть інформацію про агробіологічний стан, аналізуватимуть терміни виконання технологічних операцій, та самі зможуть виїжджати у поле, щоб їх виконувати. Частка людської праці лише включатиме проведення технічного обслуговування та поточного ремонту сільськогосподарських машин. Це буде справжня революція машин.

За цих умов машинно-тракторний агрегат сам під'їжджає до сільськогосподарської машини у визначеній точці машинно-тракторного парку, агрегується з нею та рухається на поле для подальшого виконання технологічної операції.

У полі сільськогосподарська машина виконує технологічну операцію за певним алгоритмом, який складається на основі даних від систем, які виконували попередні операції. Така система дозволяє максимально оптимізувати режими роботи машинно-тракторних агрегатів та забезпечити максимальний догляд за посівами.

Це дозволяє спрогнозувати агробіологічний стан сільськогосподарських культур та оптимізувати раціональну витрату технологічного матеріалу. Володіння такою інформацією на практиці дозволить спрогнозувати режими роботи, траєкторію руху машинно-тракторних агрегатів та сільськогосподарських машин, а отже забезпечити оптимальні умови та оптимізувати затрати на виконання технологічних операцій. Глобальне розумне землеробство передбачає використання системи машин, які об'єднані єдиним алгоритмом керування технологічної інформації.

**Висновок.** Сучасне землеробство трансформувалося в ході розвитку, що було обумовлено з одного боку науково-технічними прогресом, а з іншого – економічною ефективністю сільськогосподарського виробництва.

#### Список використаної літератури:

1. Косолап М.П., Кротінов О.П. Система землеробства No-Till. Київ 2011.
2. В. П. Гудзь, А. П. Лісовал, В. О. Андрієнко, М. Ф. Рибак Землеробство з основами ґрунтознавства і агрохімії. Київ 2007.
3. Ефективність диференційованої системи обробки ґрунту в коротко ротатійній польовій сівозміні. Кравчук В., Хомишинець В., Пономар Ю., Погорілий В., Шустік Л., Рожанський О. Техніка і технології АПК, 07(34) липня 2012 року. С. 11-15.
4. <http://agronews.org/2318-na-agrarnoj-vystavke-v>

ukraine-pokazhut-bespilotnyj-traktor.

5. <http://agronews.org/2318-na-agrarnoj-vystavke-v-ukraine-pokazhut-bespilotnyj-traktor>.

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные принципы строения и особенности функционирования разных систем земледелия и показаны перспективы их развития.

**Summary.** The article discusses the basic principles of the structure and characteristics of different farming systems functioning and prospects for their development are shown.

Стаття надійшла до редакції 26 липня 2016 р.