

Лекція №4

ГІС-ТЕХНОЛОГІЇ У РОСЛИННИЦТВІ

- 4.1 Система точного землеробства.
- 4.2 Географічна інформаційна система.
- 4.3 Диференційована глобальна система позиціонування.
- 4.4 Система паралельного водіння.
- 4.5 Технологія змінних норм внесення.

4.1 Система точного землеробства.

Вітчизняним сільгоспвиробникам дедалі важче конкурувати із західними аграріями. Особливо дана ситуація погіршилася після вступу України до СОТ. Часто сільськогосподарська продукція (овочі, фрукти і т. д.) привезена за тисячі кілометрів, у вартість якої входять витрати на транспортування, виявляється дешевшою, ніж вирощена на території України. Зрозуміло, що умови конкурентної ринкової стихії змушують іноземних фермерів брати на озброєння найкраще, що пропонує сучасна наука.

Бурхливий розвиток в останні роки обчислювальної техніки та інформаційних технологій, точних геоінформаційних та картографічних систем створив умови для поширення досягнень інформатизації на сферу виробництва продукції рослинництва з метою її оптимізації.

На разі можливості екстенсивного та інтенсивного розвитку рослинництва практично вичерпані. Гостро постала проблема розумного використання наявних природних ресурсів, збереження їх для наступних поколінь.

Все це має місце і в Україні. Основні можливості збільшення продуктивності рослинництва тепер пов'язують із суворим виконанням рекомендацій науково-обґрунтованої інтенсивної технології щодо вимог за часом, місцем та кількістю витратних матеріалів на проведення операції. Сприяти дотриманню цих вимог повинне належне інформаційне забезпечення.

Незважаючи на теперішній кризовий стан сільського господарства України, впровадження сучасних інформаційних технологій актуальне і неминуче. Воно вже почалося у найбільш міцних господарствах, число яких в Україні неупинно зростає. Зрозуміло, що впровадження потребує витрат, розробок виробництва та поставок відповідної техніки, але все це цілком під силу науковцям та виробникам України при достатній підтримці з боку держави та зацікавлених кіл.

Застосування інформаційного підходу до управління дає змогу на основі науково-обґрунтованої технології для обраної культури визначити та реалізувати у господарстві оптимальну технологію формування врожаю, адаптовану до місцевих умов. Її практична реалізація пов'язана із суворим контролем за фактичним ходом агротехнологічного процесу, накопиченням та врахуванням місцевого досвіду.

Згідно твердження В. П. Гарам та А. О. Пашко (2005) моніторинг забезпечує контроль за дотриманням технології при роботах у полі, прогноз врожаю та корективи запланованих дій, спрямованих на врахування реальних умов, які складаються у вегетаційний період, включаючи організацію збирання врожаю та підбиття підсумків господарського року.

Система точного землеробства (СТЗ) дає змогу не тільки отримувати дешевшу продукцію кращої якості, а й знижувати шкідливе агротехногенне навантаження, за рахунок зменшення витрат пестицидів, добрив тощо. **Точне землеробство** (Precision farming (Agriculture)) – це система взаємоузгоджених заходів, що ґрунтуються на оптимізації використання технологічних матеріалів (насіння, добрив, засобів захисту, регуляторів росту рослин) та агрозаходів на конкретній ділянці поля, відповідно до вимог певної сільськогосподарської культури, стану ґрунту і збереження довкілля, враховуючи унікальні особливості кожної елементарної ділянки поля.

Комплексні технології виробництва сільськогосподарської продукції (Precision farming), стали активно розвиватися за кордоном ще в кінці 90-х років і визнані світовою сільськогосподарською наукою, як досить ефективні передові технології, що переводять агробізнес на більш високий якісний рівень.

За різними причинами технології точного землеробства в нашій країні стали розвиватися тільки на разі, процес іде досить повільно, але, безумовно, майбутнє за ними.

Принципи точного землеробства надають нового змісту застосуванню інтенсивних технологій, без погіршення якості довкілля, за рахунок реалізації адаптивного потенціалу виду, сорту, агробіоценозу, тобто їх біологічної здатності пристосовуватись до умов навколишнього середовища. Щоб реалізувати адаптивний потенціал рослин, треба повністю використати їхні біологічні можливості не тільки для підвищення потенційної продуктивності за сприятливих умов середовища, а й для збільшення екологічної стійкості (протистояння суховіям, посухам, морозам, низьким температурам). За таких умов зростатиме потенційна продуктивність сорту, агробіоценозу, що розглядається як вирішальний чинник збільшення врожайності.

Точне землеробство – це новітні вдосконаленні технології із виробництва сільськогосподарської продукції.

Науковий та технічний прогрес дає змогу сьогодні широко застосовувати в сільському господарстві сучасні технології планування та використання агротехнологій. На разі широко використовуються бортові комп'ютери, GPS-приймачі, методи дистанційного зондування, геоінформаційні системи (ГІС).

Поступовий перехід до практичного впровадження точного землеробства є виявом загальної тенденції зростання ролі інформаційних технологій в усіх сферах життєдіяльності людини, а у виробництві дає змогу істотно підняти його технічний

та організаційно-управлінський рівень, за рахунок високої оперативності та багатопараметричності рішень, які приймаються.

Одним із головних шляхів вирішення завдань землеробства є просторово-часова оптимізація умов для рослин. Точне землеробство у сучасному розумінні переважно орієнтоване на просторову оптимізацію. Для цього потрібно, по-перше, забезпечити рівномірне розміщення рослин у полі, що за рядкової сівби означає – на однаковій відстані. Цим створюють однакові площу й об'єм живлення для рослин. По-друге, добрива, пестициди треба вносити так, щоб забезпечити рівноцінні умови для рослин. Однак, високі точність і рівномірність застосування технологічних матеріалів, внаслідок використання досконалішої техніки, не гарантують створення однакових умов для рослин, оскільки на різних ділянках поля вони можуть опинитися в нерівнозначних умовах, у зв'язку з варіабельністю ґрунтового покриву і властивостей ґрунту, забур'яненості поля і заселеності його шкідниками тощо. Це, в свою чергу, може призвести до розриву в темпах росту і розвитку рослин, формування різного за якістю врожаю, неодноразовості його досягання. Отже, завдання полягає у здійсненні технологічних заходів, відповідно до потреб рослин та фітосанітарної ситуації стану посівів на кожній елементарній ділянці поля, для чого потрібні його детальні картограми з даними про запас елементів живлення, густина бур'янів, стан рослин, біологічна урожайність тощо.

Точне землеробство передбачає:

- 1) детальне картографування поля за основними агротехнічними параметрами;
- 2) координатне прив'язування машинно-тракторних агрегатів до поля;
- 3) точне виконання технологічних заходів відповідно до особливостей елементарних ділянок поля.

Точне землеробство включає в себе багато елементів, які можна поділити на **три основних етапи:**

- збір інформації про господарство, поле, культуру, регіон;
- аналіз інформації і прийняття рішень;
- виконання рішень - проведення агротехнологічних операцій.

4.2 Географічна інформаційна система.

Основними складовими СТЗ є географічна інформаційна система (FIC, GIS), диференційована глобальна система позиціонування (ДГСП, DGPS) та технологія змінних норм внесення (ЗНВ, VRT).

Географічна інформаційна система (Geographic Information System, GIS) – це система комп'ютерних апаратних засобів та програмного забезпечення, призначена для збирання та обробки даних щодо агротехнологічних параметрів елементарних ділянок поля.

Інформацію можна збирати відбиранням проб у полі (наприклад, для визначення агрохімічних показників) з наступними обробкою результатів аналізів і

прив'язуванням їх до координат місць відбирання. Створено оптичні прилади з безконтактними датчиками, за допомогою яких в інфрачервоному випромінюванні з літаків або супутників фотографують поля. Інформація з характеристиками параметрів накопичується в базі даних (Data base), використовується для складання тематичних карт (Thematic map) урожайності, вмісту елементів живлення, норм внесення технологічних матеріалів тощо.

4.3 Диференційована глобальна система позиціонування.

Диференційована глобальна система позиціонування (Differential Global Positioning System, DGPS) – радіонавігаційна супутникова система, спеціально скоригована для визначення місцезнаходження стаціонарних і мобільних об'єктів у трьох світових координатах (довгота, широта, висота) з точністю до десятків сантиметрів. Є поліпшеним варіантом глобальної системи позиціонування (GPS – Global Positioning System). Global Positioning System – глобальна система позиціонування, що дозволяє в будь-якому місці Землі визначити місцезнаходження та швидкість об'єктів. На їх основі розроблені системи паралельного водіння та автопілоти для управління рухом тракторів та комбайнів.

Найпростіший прилад складається з термінала-супутникового приймача, що встановлюється в кабіні трактора на лобовому склі (або в будь-якому іншому зручному місці) та показує трактористу, як вирулювати кермо щоб трактор/агрегат рухався якомога рівнішими лініями.

4.4 Система паралельного водіння.

Для того, щоб зрозуміти необхідність застосування пристроїв паралельного водіння і створення системи координат, наведемо такий приклад, при проведенні технологічної операції із догляду за рослинами – внесення інсектицидів, 18 метровий обприскувач повинен рівномірним шаром покрити поле. Щоб тракторист їхав не "на глазок" на полі розставляють маяки (працівники, які відміряють лінії рівні ширині агрегату) на які, в свою чергу, орієнтується механізатор. На практиці звичайно все складніше і після обробітку агроном стикається з такими проблемами, як пропуски та перекриття.

Як би сумлінно працівник не відміряв лінію він все одно помиляється. І відстань між лініями може бути і 17, і 19 метрів. Звичайно на полі використовується щонайменше 2 маяки, кожен з них помиляється по-своєму. Крім того помиляється і сам механізатор, адже маяк може знаходитись на відстані до півкілометра, а то і більше. Знову ж виникають пропуски та перекриття.

У реальній роботі Ви ніколи не побачите ідеального малюнка обробки поля, зазвичай це виглядає так:

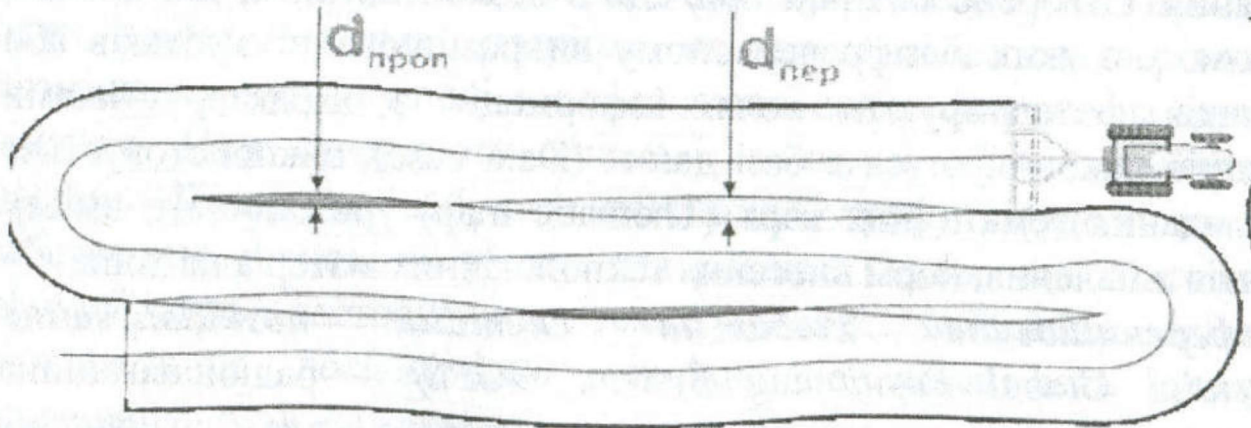


Рис. 1. Помилки механізатора:
де $d_{\text{проп}}$ – пропущені ділянки;
 $d_{\text{пер}}$ – перекриті ділянки

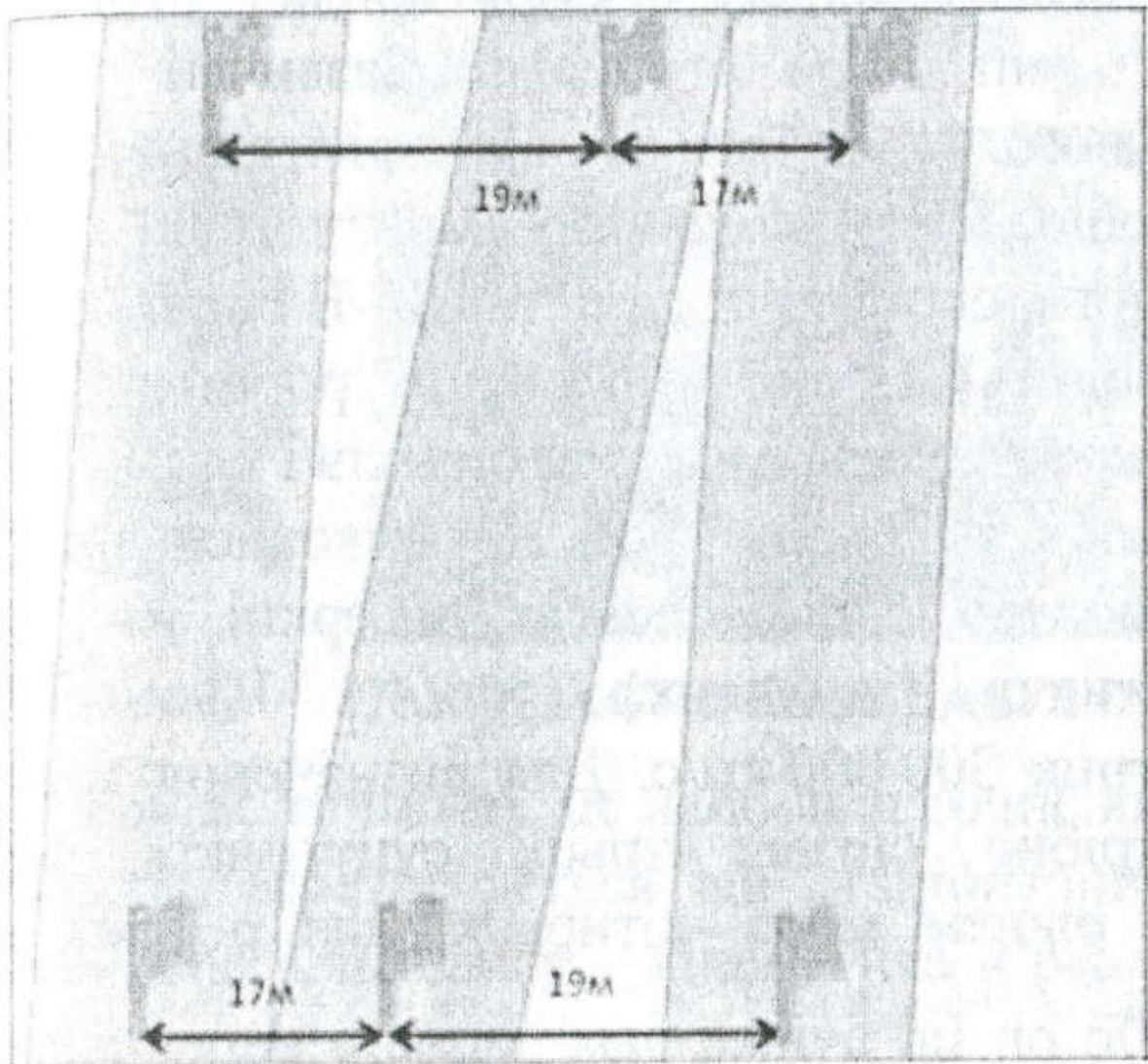


Рис. 2. Помилки механізатора при використанні орієнтирів

Результатом подвійного внесення пестицидів є пригнічення рослин. А пропуски – це неефективне використання площі, труднощі, що виникають при збиранні урожаю, полігон для розмноження бур'янів.

Важко працювати на пізніх стадіях вегетації рослин, коли піна провалюється. Крім того на якість використання пінного маркера впливає вітер – піна лягає не рівно. Для пінного маркера необхідні витратні матеріали – піноутворююча хімія, яку складно зберігати у господарстві.

Не найкращий вихід забезпечує і використання пінного маркера, при довжині штанги в дев'ять метрів оператор просто не бачить, кінець штанги йде саме над маркером, або ні.

Останній момент необхідності застосування навігаторів, це час внесення хімії. В 70 відсотках випадків, хімію бажано вносити при температурі 17-20 С° у безвітряну погоду, щоб досягти максимального ефекту. Працювати вночі використовуючи маяки неможливо.

Використання найпростіших систем паралельного водіння дає змогу працювати вночі або при поганій видимості, зменшити перекриття з 1,5 м (звичайна величина) до 30 см, на полі площею 100 гектарів, загальне перекриття зменшується з 7,5 до 1,5 гектара.

Це простий приклад використання систем GPS-навігації. Окремо варто розповісти про більш складні системи – автопілоти.

Наприклад, власник має потужний трактор (300 к. с.) та 12 метрову сівалку, навіть важко уявити маркер завдовжки 6 метрів. А якщо це технологія "мінімального обробітку" і слід маркера практично не видно? Тому в цьому випадку найкраще використовувати GPS - систему, але більш складнішу – автопілот з підключенням до гідравліки та системою компенсації кута нахилу. Неточності посіву, пов'язані з помилками механізатора та складним рельєфом поля, будуть мінімальними. Зменшення участі водія безпосередньо у процесі керування дає можливість підвищити швидкість до максимально можливої без зниження якості. Водію достатньо тільки розвернути трактор в кінці заїмки решту система зробить сама. Окрім підвищення точності роботи, це дасть змогу механізатору приділяти більше уваги агрегату. І, нарешті, можливість працювати вночі (друга зміна) Дозволить ефективніше використовувати дорогу техніку, прискорити процес амортизації та вчасно провести посів.

Необхідно також сказати про найбільш дорогі системи, які можна використовувати у дуже великих господарствах, де складно проконтролювати якість виконаної роботи. Основною відмінністю їх є використання більш складного терміналу. Такий прилад отримує завдання з персонального комп'ютера агронома. Зазвичай зміст завдання – це назва конкретного поля, його площа, орієнтовний час роботи, ім'я механізатора, тощо. Після виконання наряду, тракторист віддає картку оператору, який переносить ці дані на ПК. В свою чергу спеціальна програма

проводить аналіз виконаної роботи: час, швидкість, наявність/відсутність перекриття або пропусків і т. п.

Радіонавігаційні системи в своїй роботі використовують супутниковий зв'язок. Відомо, що навколо земної поверхні, на 6-ти орбітах рухається 24 супутники (активних). Швидкість сигналу, що надсилає супутник 300 000 км/с. Для визначення місця розташування об'єкта потрібно сигнал трьох супутників, для визначення положення над рівнем моря чотирьох, для роботи за точним землеробством шести.

Існують такі види сигналів: 1) безкоштовні; 2) платні; 3) базові станції та РТК.

Взаємне розташування супутників, відслідковується приймачем, постійно змінюється в міру їх руху на орбітах. Конфігурація супутників оцінюється параметром DOP (Dilution of Precision – втрата, послаблення точності). В загальному вигляді, при $DOP < 4$ приймач GPS забезпечує достатню точність визначення місцезнаходження. Чим більше супутників знаходиться в зоні видимості приймача, тим більша точність визначення координат буде забезпечуватися.

Для сигналів із супутників існують класи точності:

I клас точності, це найбільш точне визначення місцезнаходження об'єктів, забезпечується він стаціонарними радіостанціями (RTK – Real-Time Kinematics – кінематика в реальному часі). RTK – місцева стаціонарна станція, має радіус дії до 50 км, точність ± 3 см та Base Line агрокомівська місцева станція, працює вона в радіусі 5 км, точність ± 5 см.

Базова станція дає змогу проводити всі види сільськогосподарських робіт, у тому числі точний посів, локальне внесення добрив і точну культивування просапних культур. За допомогою даної системи можна із року в рік дотримуватись однієї і тієї ж технологічної колії або попадати в одні і ті ж рядки, щоб сіяти «слід в слід» декілька років.

Стаціонарні радіостанції являють собою валізки вагою до 4 кг, в яких знаходяться GPS-приймач, радіомодем і антена.

Проблемою їх використання є висока вартість станцій (близько 25 тис. євро, станом на 2010 р.).

II клас точності, забезпечується ліцензійним, платним сигналом від супутника Omnistar. В залежності від типу підписки Omnistar забезпечує декілька рівнів точності: VBS та HP/XP.

VBS (віртуальна базова станція) дає майже таку ж точність, як EGNOS – ± 15 -20 см. Цього достатньо, щоб якісно проводити обприскування або внесення добрив. Підписка на VBS коштує до 1,5 тис. євро в рік, або 3 євро за годину (при замовленні не менше 150 годин).

HP/XP забезпечує точність ± 5 -10 см. Використовує супутникову навігацію для посіву просапних культур, подальшого обробітку рядків і складання карти полів та урожайності. Річна вартість HP/XP коштує на порядок дорожче. Щоб користуватися

сервісом VBS та HP/XP, потрібно мати GPS -приймач, який підтримує такі послуги, або удосконалювати GPS -приймач початкового рівня, добавивши до нього спеціальну антену і програмне забезпечення.

III клас точності, дають американські супутники EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Services – система широкозонної диференціальної навігації)/WAAS та E-Dif.

Цей сигнал безкоштовний, забезпечує точність до ± 15 см, дає змогу проводити внесення агрохімікатів, боронування та посів. Крім того можна визначати площу полів та слідкувати за технікою, яка працює в полі.

IV клас точності, це GPS – Global Positioning System сигнал. Він забезпечує точність ± 100 см.

На точність сигналу під час роботи в полі впливає багато факторів: лісосмуги, елементи рельєфу, лінії електропередач та ін.

Тому на практиці точність сигналу протягом робочого часу корегується.

Перед тим як обрати з яким сигналом необхідно працювати треба зважити всі за і проти.

Для невеликого господарства можна використовувати прилад з ручним керуванням та точністю 30 см, що встановлюється на МТЗ який агрегатується з широкозахватним агрегатом, як то обприскувач або розкидач добрив.

Власнику, що має потужний імпортований трактор та бажає вести посів не просапних культур, щоб використовувати його на всі сто відсотків, потрібен автопілот з безкоштовним або платним сигналом.

Підприємству, що використовує 2-5 автопілотів варто використовувати базову станцію або РТК.

Точне управління сільським господарством починається з управління сільськогосподарськими машинами, яке здійснюється за візуальної підтримки автоматичного управління сільськогосподарськими машинами паралельно до визначеної граничної лінії та проходження машини паралельно контурам поля.

За допомогою такого водіння можна зробити паралельні прямі та криві, а також кругові та спіральні ряди. Якщо на полі є перешкоди (наприклад, осередок з деревами), то пристрій призупинить паралельне водіння та об'їде його, а потім продовжить виконувати ряд. Можна ускладнити задачу, задаючи зону розвороту на краях поля. Тоді пристрій розраховує поворот і буде орієнтуватися, коли та як повертати. При встановленні такої системи на трактор механізатор спостерігає за показниками пристрою в середині кабіни та слідкує тільки за тим, щоб на полі не зустрілося каміння та інші крупні перешкоди.

Використання пристроїв паралельного водіння надає наступні переваги:

- максимально використовується ширина агрегату, перекриття рядків зводиться до мінімуму;

- дає змогу працювати вночі та при низькій видимості – збільшуючи при цьому коефіцієнт завантаженості техніки (продуктивність техніки може збільшитись на 15-20%);

- виключає необхідність додаткових матеріалів для маркування рядків;
- підвищує швидкість руху агрегатів та комфортність роботи водія.

Не можна не згадати, також, про системи візуального водіння, що не використовують супутники, а обладнанні цифровими камерами і мають точність $\pm 3-5$ см. Laser Pilot за допомогою лазерного променя визначає границі рядків і на основі отриманих сигналів направляє зернозбиральний комбайн, оптимально використовує при цьому жатку. Ця система забезпечує високу експлуатаційну надійність навіть при роботі із полеглими зерновими та вночі, оптимально використовує ширину захвата жатки, збільшує точність визначення площі і розташування врожаю, підвищує продуктивність скошування.

Система паралельного водіння пропонує активну участь механізаторів в управлінні машиною, а автопілот дає змогу автоматизувати процес управління. Автопілоти бувають двох рівнів: повністю автоматична система, коли участь механізатора не вимагається, і система допоміжного управління (підруючий пристрій).

При роботі з підруючим пристроєм механізатору потрібно слідкувати за перешкодами на шляху та брати управління на себе в кінці ряду, коли потрібно розвернутися.

Дякуючи сучасним камерам стало можливим повністю автоматичне управління навіть при русі техніки по коліям, рядах та гребнях. Це дає суттєві переваги при роботі із вертикальними культурами. Результатом стає суттєва частка збереження рослин, особливо таких цінних рядкових культур, як суниця, спаржа, картопля і т. д..

За допомогою унікальної трьохвимірної камери система CLAAS CAM PILOT реєструє просторову структуру поля перед трактором.

Автоматично і не травмуючи рослин вона направляє машину по рядах, коліях, гребнях, валках і борознах.

4.5 Технологія змінних норм внесення.

Технологія змінних норм внесення (Variable Rate Technology, VRT) – це внесення за допомогою спеціального обладнання змінних норм (доз) технологічних матеріалів, відповідно до особливостей кожної елементарної ділянки поля. Основою VRT є високоточна сільськогосподарська техніка, функціональні властивості якої визначаються широким використанням електронних пристроїв (комп'ютерів, мікропроцесорів, датчиків).

Для якісного адресного розрахунку доз мінеральних добрив необхідно враховувати агрохімічні властивості ґрунту, такі як: кислотність, рухомі форми

фосфору й калію, органічна речовина, сума ввібраних основ, тобто основні хімічні індекси родючості ґрунтів. Для визначення значень цих показників проводиться агрохімічне обстеження ґрунтів.

Агрохімічне обстеження полів дає змогу розробити особливий метод внесення добрив для кожного поля та кожної культури окремо.

При базовому агрохімічному аналізі визначається вміст наступних елементів: N, P, K, Ca, Mg, S, pH, гумус.

При розширеному агрохімічному аналізі до зазначеного вище переліку додаються наступні елементи: B, Zn, Cu, Fe, Mo.

Агрохімічний аналіз ґрунту – це швидкий, економічний та надійний спосіб визначення необхідної норми кожного елемента на кожному конкретному полі під час передпосівного та вегетативного періоду. Агрохімічний аналіз в сукупності з якісним насінням, ефективним захистом від бур'янів та хвороб, диференційним внесенням добрив та сприятливими погодними умовами сприяють значному збільшенню врожайності, а відповідно і прибутку.

На сьогоднішній день в Україні агрохімічне обстеження проводиться, як правило, традиційним для минулого сторіччя методом, відповідно до "Методичних вказівок по проведенню комплексного агрохімічного обстеження ґрунтів сільськогосподарських угідь" (ЦИНАО, Москва, 1994 р.). Розмір елементарної ділянки, тобто площа сільськогосподарського поля, що характеризується однією пробою, в загальному випадку визначається кількістю фосфорних добрив, внесених у ґрунт. Причому розміри й місце розташування елементарної ділянки визначаються «на око», що відповідно дає приблизний результат. Це особливо позначається на порівнянні результатів аналізу в різні роки, тому що наступного разу проба береться не в тому самому місці, що рік тому, а з погрішністю в десятки метрів або й більше.

Сьогодні схожі методи обстеження сільськогосподарських полів вважаються застарілими й не відповідають вимогам часу. У багатьох сільськогосподарських підприємствах світу і в Україні зокрема, вже використовуються високотехнологічні методи, що використовують автоматику, комп'ютерну техніку, систему глобального позиціонування (GPS). Сучасний підхід є одним з основних елементів «точного землеробства».

Сучасні мобільні автоматизовані комплекси дають змогу проводити агрохімічне обстеження ґрунтів і створення електронних карт полів (із сантиметровою точністю) на високому рівні з використанням новітніх досягнень в області інформаційних технологій.

Такі комплекси складаються з наступних функціональних компонентів:

- 1) транспортний засіб (трактор, пікап, квадроцикл);
- 2) автоматичний ґрунтовий пробовідбірник (глибина відбору від 10 до 120 см);
- 3) супутникова система позиціонування (GPS);

- 4) кишеньковий персональний комп'ютер або ноутбук;
- 5) програмне забезпечення.

Після отримання результатів агрохімічного аналізу ґрунтів необхідно застосовувати систему диференційованого внесення добрив, яка призначена для диференційованого внесення рідких та твердих добрив та отрутохімікатів на полі у відповідності до аплікаційної (технологічної) карти з метою зменшення витрат добрив і збільшення врожайності.

Вона складається з бортового комп'ютера з інтегрованим приймачем DGPS, антени, чіп-карти, програмного забезпечення для персонального комп'ютера AGRO-NET NG або AGRO-MAP.

Впровадження системи диференційованого внесення добрив надає наступні переваги:

- 1) збільшує врожайність сільськогосподарських культур;
- 2) зменшує кількість внесених добрив;
- 3) "вирівнює" усі ділянки поля за вмістом поживних речовин.

Для визначення норми внесення добрив, запису на бортовий комп'ютер карти біомаси, формування технологічних карт диференційованого внесення добрив та використання їх на основі технологічної карти на разі широко використовують інноваційний датчик біомаси – GROP-METER AGROCOM.

Даний датчик має двох точкову калібровку, яка базується на визначенні максимальної і мінімальної норми внесення пестицидів (азотних добрив, фунгіцидів, регуляторів росту).

Порівняння карт стану посівів (отриманих у результаті застосування системи GROP-METER) з картами врожайності дає можливість визначати структуру врожаю задовго до проведення збиральних робіт, що дає можливість оцінити ефективність проведених робіт із догляду за посівами.

Наступним елементом точного землеробства є використання сучасних обприскувачів, що використовують GPS-навігатори, які можуть працювати на безкоштовних та платних сигналах.

У чому полягає необхідність використання GPS-навігаторів при виконанні догляду за посівами? Відповідь на це питання дає характеристика виконання основних агротехнічних операцій.

Трактор з причіпним або навісним агрегатом курсує з одного кінця поля на інший, і слідом за ним залишається оброблена ділянка. Кожного разу механізатор мусить пильнувати, аби край агрегату рухався чітко по межі щойно обробленої ділянки. А ледь відступить убік – і між двома проходами утворюється смуга, позбавлена добрив. Якщо ж підстрахуватися і за кожним разом «прихоплювати» край уже обробленої смуги, утворюються ділянки, які отримали подвійну порцію препаратів. Мало того, що у ґрунті можуть опинитися підвищені дози препаратів, не

завжди корисних для здоров'я – така ретельність обертається додатковими витратами дорогих добрив або препаратів.

А якщо поле має не прямокутну форму, та ще й межує з ярами або лісосмугами. Виконувати на ньому паралельні рухи широкозахватного агрегату практично неможливо. У результаті господарство зазнає значних витрат хімікатів та пального, тому тут на допомогу приходять системи точної навігації.

Маючи необхідну апаратуру, трактористу байдуже, яку форму має оброблюване поле. Достатньо проїхати агрегатом по його краю, і електроніка сама визначить маршрут руху трактора.

При розвороті вона візьме управління ним «у свої руки» і чітко поведе машину оптимальним маршрутом – похибка при суміщенні меж оброблюваних смуг не перевищує $\pm 10-15$ см. Більше того, маршрут заносять у базу даних і, наприклад, якщо проводився посів кукурудзи, наступного разу, коли потрібно буде обробити міжряддя, система використає координати проходження сівалки і, як ідеальний поводитир, направить культиватор точно між рядками.

Встановлюється вона на щитку приладів, обладнана світловими діодами, які оповіщають про відхилення передніх коліс від заданого маршруту. Водієві лишається стежити за датчиками і поворотом керма, коригувати рух трактора. Власне, такий пристрій можна назвати ідеальним компасом. До речі, цей пристрій можна встановити не тільки на сучасних західних тракторах, а й на стареньких "Беларусах".

Інший комплект навігаційного устаткування дещо складніший. Апаратура вмонтовується в гідросистему управління трактором, і вже вона, а не оператор, керує машиною. А тракторист перетворюється на безтурботного пасажира. Він більше не зазнає постійного напруження, а отже і втоми, тож може продуктивно працювати на кілька годин довше (О. Пальчун, 2000).

В Україні на обприскувачах використовуються системи паралельного керування із класом точності до ± 20 см. Вони мають найбільший попит завдяки простоті й універсальності, можливості швидкої адаптації на місцевості. На обприскуванні максимальну точність виконання агротехнічної операції забезпечують базові станції ($\pm 1-3$ см.). Вони можуть забезпечити поправки від локальної базової станції, яка встановлюється на краю поля.

Для роботи за цією технологією на обприскувач встановлюється радіомодем. Поправки від базової станції передаються по радіо. Якщо вести мову про доцільність придбання базових станцій для обприскування посівів, то варто врахувати кілька принципових моментів. По-перше, їхню потужність: ці станції навіть без підсилювача можуть покривати площі у радіусі близько 25 км. По-друге, їх використання пов'язане з необхідністю оформлення ліцензій на високочастотний або ультрависокочастотний радіоканал.

Термін окупності GPS-систем через значну вартість може становити 3-5 років (М. Куценко, 2009).

Окрім того, такі системи дають змогу не лише управляти трактором в автоматичному режимі, а й отримувати вичерпну інформацію про його роботу. Іншими словами, перебуваючи в конторі, керівник підприємства завжди має можливість побачити на екрані комп'ютера, чи рухається у цей момент трактор. Також без зусиль можна з точністю до секунд обчислити, як він працював, скільки простоював і навіть побачити, де саме тракторист улаштував собі відпочинок. Причому отримати ці відомості можна за будь-який робочий день.

Оскільки інформація про рух кожного трактора на полі зберігається в комп'ютері, то навіть через п'ять років достатньо взяти її за основу, і агрегат рухатиметься тим же маршрутом.

Обприскувачі обладнані пристроями для електронного регулювання подачі робочого розчину пестицидів, сівалки – для регулювання норми висіву та глибини загортання насіння, машини для внесення добрив – регулювання доз внесення добрив, ґрунтообробні знаряддя – для регулювання глибини обробки ґрунту. Управління робочим процесом і контроль за його виконанням здійснюють із трактора, обладнаного багатоканальним мікропроцесором або комп'ютером, а на сільськогосподарських машинах встановлюють уніфіковані датчики. На пульт керування надходить інформація щодо швидкості руху агрегату, обсягу виконаної роботи, витрат пального і запасів технологічних матеріалів тощо.

Наступним елементом точного землеробства є збирання врожаю. Для того, щоб істотно впливати на швидкість та якість проведення збиральних робіт спеціалістам, або керівникам необхідно мати повну характеристику збирання кожного комбайна, для цього існують спеціальні програми та пристрої.

На разі існує два методи визначення врожайності. Перший – механічно зважити зібраний врожай після розвантаження зернозбирального комбайна, другий (система картування врожайності) – вимірювання врожаю у реальному часі протягом всієї роботи комбайна за допомогою систем GPS.

Система картування врожайності – це сукупність обладнання та програмного забезпечення, за допомогою якого здійснюється облік кількості урожаю зібраної культури на кожній визначеній ділянці поля. Під час роботи збиральної техніки у бортовому комп'ютері фіксується час роботи, назва поля із зазначенням культури, загальна зібрана площа, кількість витраченого пального, дані про техніку, оператора, який на ній працює, та господарство, в якому відбуваються жнива.

Перші системи картування врожайності не були точними. До 2000 року точність визначення координат у системі GPS мала похибку $\pm 10-20$ м.; також великі похибки мали датчики намоту. З появою коригуючих сигналів DGPS точність визначення координат сягнула $\pm 5-10$ см. Така інформація вже має велику

цінність. Всі останні серії зернозбиральних комбайнів здійснюють повний облік всіх робіт у бортовому обладнанні з можливістю подальшого опрацювання за допомогою програмного забезпечення комп'ютера.

Карта врожайності – це різнокольорова карта, на якій кожен колір відповідає певному діапазону врожайності.

Зелений – від 0,04-0,06 т/га, жовтий – 0,01-0,04, червоний – 0- 0,01 т/га. Перші системи для створення карт урожайності призначалися лише для зернозбиральної техніки, але їх принцип дії можна застосовувати й для визначення врожайності інших сільськогосподарських культур. Принцип картування врожайності у переважної більшості сучасних комбайнів такий: під час жнив за допомогою спеціальних пристроїв (сенсорів, датчиків, бортового комп'ютера) фіксують кількість зібраного врожаю на визначеній ділянці. Просторові координати комбайна в кожен момент часу надходять від DGPS-приймача.

Точність визначення врожайності залежить від калібрування датчиків і майже не залежить від культури, збирання якої ведеться. Стандартне відхилення вимірювань не перевищує 3-10%, для всіх типів датчиків.

У процесі використання елементів точного землеробства створюються електронні карти полів. **Електронна карта поля** – це: зручність, наглядність, ефективність, можливість оперативного внесення змін та швидкий доступ до будь-якої занесеної інформації. Вони дають можливість вести облік та контроль всіх сільськогосподарських операцій, оскільки ґрунтується на точних даних: площі полів, відстані доріг тощо, допомагають провести повний аналіз умов, які впливають на ріст та розвиток рослин на даному полі, або на ділянці 100х100 м, дають змогу оптимізувати виробництво з метою отримання максимального прибутку, а також раціонально використовувати у виробництві ресурси.

Тобто, електронні карти полів використовуються для: обліку сівозмін, картування врожайності, обстеження ґрунтів, статистичного та тематичного аналізу даних та планування виробничих процесів.

У процесі використання елементів точного землеробства для складання карт полів господарства з нанесенням: річок, доріг та інших об'єктів з прив'язкою до GPS; виконання розмежування полів на ділянки; об'єднання полів у групи; визначення площі та параметрів поля; координатів об'єктів на полі; бонітування; ведення переліку виконаних робіт на полі та обліку використання техніки та хімічних речовин застосовують КПК "Помічник агронома ПРО".

Картографування врожайності. Для виконання якісного збирання і в подальшому вирощування наступної культури необхідно проводити складання карти урожайності кожного поля. Тому що на одному полі, в різних його ділянках, урожайність однієї і тієї ж культури може різко змінюватись.

Для картографування врожайності використовують на комбайні спеціальний прилад АСТ або Sebis, який з'єднаний із вимірювачем вологості зерна, світловим датчиком, переднім мостом комбайна та сенсором нахилу жатки.

Принцип картографування включає в себе знання ширини захвату жатки, середній намот на певному відрізку із позиціюванням GPS. Потім ця інформація через інтерфейс обробляється за допомогою програми AGRO-MAP.

В Україні у 2000 р. прийнято "Програму створення та впровадження технічних засобів для технологій точного землеробства", реалізація якої дала перші результати, створено мобільні машини для механічного відбирання проб ґрунту, електронно-механічні пристрої для зміни доз внесення добрив, машину для диференціального обробітку ґрунту, радіосистему для визначення координат агрегатів, з використанням базової радіостанції, та ін.

В Україні елементи точного землеробства, на даний час широко впровадженні в таких областях, як Рівненська та Київська.