Зміст

Змістовий модуль 1. Огляд світових технологічних трендів підвищення продуктивності вирощування продукції рослинництва 1

Тема 1. Світові тренди розвитку технологій та прикладні аспекти оптимізації 1

Світові тренди розвитку технологій 1

Прикладні аспекти оптимізації 9

Тема 2. Технології точного землеробства. 26

Системи паралельного водіння; системи управління нормою 26

Сканування та аналіз ґрунту; технології метеомоніторингу 36

Супутниковий моніторинг посівів; дрони для моніторингу посівів 52

Змістовий модуль 1. Огляд світових технологічних трендів підвищення продуктивності вирощування продукції рослинництва

Тема 1. Світові тренди розвитку технологій та прикладні аспекти оптимізації

Світові тренди розвитку технологій

Витрати на автоматизацію в усьому світі зростають рік від року, 2019 й не став винятком. Лише частина цих грошей іде на заміну або апгрейд заліза. Технічні рішення, пов'язані з глибоким аналізом даних, штучним інтелектом, оптимізацією витрат стають обов'язковою умовою успішного розвитку бізнесу.

Коронавірус вніс свої корективи в розвиток індустрії IT в 2020 році. Крім очевидних негативних наслідків - зниження підприємницької активності, порушення ланцюжка поставок, скасування глобальних заходів і, як наслідок, втрачених можливостей для співпраці - експерти Business Insider називають і позитивні ефекти.

Зросла потреба в віддалених комунікаціях дасть очевидний поштовх для розвитку телекомунікаційних технологій (платформи для відеоконференцій, прискорене впровадження 5G, віддалені консультації та діагностика в медицині). Очевидно, збільшиться попит на технології для кризового управління, виростуть інвестиції в рішення для розумних міст.

За результатами щорічного опитування компанії Spiceworks, проведеного в кінці 2019 року, більша частина респондентів (88%) очікують, що бюджет їх організацій на IT збільшиться або не скоротиться в найближчі 12 місяців. У порівнянні з минулим роком число тих, хто очікує приріст бюджету, збільшилася з 38 до 44%. Лише 8% опитаних представників компаній вважають, що їхні витрати на IT в цьому році зменшаться.

Ключовим фактором збільшення витрат як і раніше є необхідність заміни застарілого обладнання

Найбільшого зростання за темпами впровадження чекають від технології 5G: очікується, що число впроваджень мереж п'ятого покоління виросте в п'ять разів до 2021 року, в той час як застосування компаніями технологій штучного

інтелекту майже потроїться. Кількість впроваджень edge computing, гіперконвергентной інфраструктури і бессерверной обчислень, за прогнозами, виросте в два рази.

Великі компанії впроваджують передові технології до п'яти разів частіше, ніж малий бізнес. Наприклад, 31% підприємств з чисельністю більше 5 000 співробітників в тому чи іншому вигляді адаптували блокчейн. У малому бізнесі таких компаній лише 6%.

На думку опитаних, технологіями, які вплинуть на бізнес в найближчі роки, стануть: IT-автоматизація, II (штучний інтелект) і інтернет речей.

Тренди IT, які вплинуть на бізнес

Інші авторитетні аналітичні компанії: Gartner, IDC, VR Intelligence, а також експерти фінансових видань теж представили свої прогнози на 2020 рік. Ми порівняли їх передбачення і виділили сім IT-трендів, які згадувалися найчастіше.

Аналітика великих даних

Експерт Forbes вважає, що компанії, які не будуть вкладатися в аналітику в 2020-м, в наступному році не зможуть успішно вести бізнес. Дані, а точніше їх обробка в реальному часі і глибокий аналіз дозволяють виявляти проблеми, тренди, робити достовірні прогнози.

Саме тому зараз спостерігається тенденція по консолідації аналітичних можливостей: це і придбання компанією Salesforce аналітичної платформи Tableau, і розробка Microsoft Power Platform.

Згідно з дослідженням агентства CNews Analytics, аналітика великих даних виявилася першою по затребуваності технологією. Її назвали перспективної представники компаній в 10 галузях діяльності: від фінансів до ритейлу.

Мережі 5G

Стандарт 5G з'явився відносно недавно, в 2018 році, але провідні телекомунікаційні оператори, такі як Qualcomm, AT & T, Verizon, вже розгорнули мережі п'ятого покоління. Вони працюють в 24 країнах, в тому числі в США, Китаї, Південній Кореї, Великобританії.

2020 й може стати роком вибухового розвитку 5G. Причому мова йде не тільки про швидкісному інтернеті і більш надійних мобільних мережах: ця технологія прискорить зростання розумних міст (систем комплексного управління міським господарством), розумних засобів пересування, інтенсифікує розвиток інтернету речей.

«Велика четвірка» російських операторів («Мегафон», «Вимпелком», МТС, «Ростелеком») домовилася про спільну роботу по впровадженню 5G-мереж. Також в нашій країні планують виробляти обладнання для мереж п'ятого покоління. Мінпромторг оцінив його створення в 28 млрд рублів.

Однак Держкомісія з радіочастот до сих пір не дала дозволу на використання частотних діапазонів, що є в розпорядженні операторів, для розгортання 5G. В рамках тестових 5G-контурів в листопаді 2019 року в нашій країні були проведені перші хірургічні операції і віддалений медичний консиліум.

Штучний інтелект і машинне навчання

На думку експерта Forbes, AI і ML (машинне навчання) стануть драйверами розвитку світової аналітики, вони привносять швидкість, масштабованість і зручність.

Аналітики Gartner вважають, що одним із трендів поточного року стане «гіперавтоматізація», тобто автоматизація підприємств з використанням штучного інтелекту і машинного навчання. Результати дослідження говорять про те, що лідируючі організації очікують подвоєння проектів з використанням II в 2020-м, а 40% опитаних планують впровадити AI-проекти до кінця року.

Ще одна сфера застосування II - розпізнавання мови - також отримає розвиток в поточному році. «Аліса», Siri і «Олег» здаються поки не більше ніж забавними іграшками, але розпізнавати і виконувати прості команди вони вже вміють. Завдяки проекту Microsoft Conversational AI, аналіз мови вийде на новий рівень: комп'ютерні помічники зможуть не тільки розуміти і підтримувати розмову, а й розпізнавати нюанси емоцій.

Такі технології вже можна з великою прибутком застосовувати в бізнесі: організовувати колл-центри, центри замовлень і обробки претензій користувачів. У минулому році Совкомбанк вже вклався в розробника II для автоматизації своїх колл-центрів. Очікується, що ця тенденція продовжиться.

Edge computing і інтернет речей (IoT)

Edge computing (периферійні або граничні обчислення) - це IT-інфраструктура, при якій обробка інформації, збір і доставка контенту розміщуються ближче до джерел даних. При цьому, завдяки збереженню трафіку локальних, вдається зменшити затримку при передачі інформації. Це поняття включає в себе і технології інтернету речей.

Експерти Gartner вважають, що в поточному році і аж до 2028-го буде спостерігатися неухильне зростання впровадження сенсорних, запам'ятовуючих, обчислювальних можливостей II в периферійні пристрої: від найпростіших датчиків до мобільних телефонів і автономних транспортних засобів.

У 2019 Microsoft представила дослідження IoT Signals, присвячене динаміці впровадження інтернету речей в компаніях з різних галузей по всьому світу. За підсумками опитування представників понад 3 000 організацій 85% керівників підприємств вже впровадили у себе подібні рішення. Планується, що в 2020 році до інтернету речей буде підключено більше 20 млрд пристроїв.

При цьому 88% опитаних вважають, що технологія IoT сприяла успіху їх бізнесу, і очікують 30-відсоткової рентабельності від інвестицій в такого роду рішення

У Росії, за даними CNews Analytics, більше половини компаній планують впровадити IoT до 2021 року. Державна підтримка цієї технології в найближчі п'ять років складе 56 млрд рублів.

Віртуальна і доповнена реальність

2019 й був успішним для технологій віртуальної (VR) і доповненої реальності (AR). Разом їх об'єднує термін «розширена реальність» (XR - extended reality). Експерти пророкують, що в 2020 році XR стане одним з технологічних трендів.

Всупереч розхожій думці про те, що віртуальна і доповнена реальність використовуються тільки в іграх і індустрії розваг, вони вийшли з іграшкового світу, а розвиток промислової XR навіть випереджає очікування.

Недавній звіт, опублікований VR Intelligence, говорить про те, що 65% компаній-учасників дослідження зі сфери AR займаються промисловими рішеннями, в той час як лише 37% розробляють клієнтські продукти і ПЗ.

У МТС вже набирають персонал з використанням віртуальної реальності. У сільському господарстві за допомогою VR підвищують надої у корів. XR знайшла застосування в реабілітації пацієнтів із захворюваннями опорно-рухового апарату, відновлення після інсультів, боротьби з фобіями.

За прогнозом IDC, витрати на VR / AR в 2020-му досягнуть 18,8 млрд. доларів, що на 78,5% більше рівня попереднього року.

На думку Тіма Кука, голови Apple, вже в найближчі три-чотири роки на зміну смартфонам прийдуть AR-окуляри - окуляри з доповненою реальністю. Компанія планує в 2020 році випустити на ринок комбіновані VR / AR-окуляри з розподільною здатністю 8K, для яких не знадобиться телефон або комп'ютер.

Практичний блокчейн

Блокчейн вже давно має на увазі під собою не тільки транзакції в різних криптовалюта. Рішення з використанням цієї технології є у таких серйозних компаній, як Samsung, Microsoft, IBM. У минулому році Amazon Web Services надала демократичний варіант BaaS («блокчейн як сервіс») за передплатою.

Ось лише кілька варіантів використання блокчейна для бізнесу:

• управління запасами для оптової та роздрібної торгівлі, де товари регулярно переміщуються по всьому ланцюжку поставок, а блокчейн використовується для прозорого відстеження їх місця розташування і контролю наявності;

• охолоджуваний склад для фармацевтичних, хімічних або харчових виробництв, де чутливі до температури товари зберігаються і відвантажуються в клімат-контрольованому середовищі з використанням блокчейна для відстеження та підтримання температури по всьому ланцюжку поставок;

• розумні договори для сфер фінансів, нерухомості або страхування: зміна цифрових контрактів відповідно до дій, записаними в блокчейн (наприклад, коли машина залишає виставковий поверх, проводяться фінансові транзакції, змінюється власник, укладається новий договір страхування).

Аналітики IDC очікують, що сукупний середньорічний приріст інвестицій в блокчейн складе 60,2% і до 2023 року вони досягнуть рівня 15,9 млрд доларів.

Топ кейсів застосування блокчейна в найближчі 5 років за рівнем середньорічного бюджету

Розподілені хмарні рішення

Хмарні рішення - це добре відома технологія, яка вже не перший рік активно впроваджується: хмари знайшли застосування в сфері фінансової звітності, використовуються для віртуальних АТС, на ринку представлені також хмарні CRM- і ERP-системи.

Опитування, проведене SberCloud і НАФД в минулому році, показав що 77% представників великого бізнесу і 42% середнього і малого готові перейти

на хмарні рішення. На думку аналітиків, значне число респондентів почнуть цей процес вже в 2020 році.

Експерти Gartner вважають, що одним з технологічних трендів поточного року стануть розподілені хмарні рішення.

Розподілене хмара - це надання хмарних послуг за межами фізичних центрів обробки даних постачальника. При цьому постачальник все ж відповідає за архітектуру, доставку, управління і оновлення.

Перехід від централізованих до розподілених хмарним рішенням почне нову еру в хмарних обчисленнях. Фінансові аналітики прогнозують, що ринок такого роду рішень: SaaS (software as a service), PaaS (platform as a service), IaaS (infrastructure as a service) - збільшиться з поточного рівня в 188 млрд до більш ніж 300 млрд доларів вже до 2022 році. При цьому CAGR (середньорічний темп зростання) складе 14,6%.

Наступний рік аналітики називають революційним для цілого ряду технологічних проектів. Мережі зв'язку п'ятого покоління приведуть людство в світ всюдисущих мобільних технологій, чат-ботів, голосових помічників і розумних міст. Але так чи безхмарно майбутнє, яке пропонує світу нові технології? Ми проаналізували прогнози, щоб зрозуміти, до чого в дійсності може привести новий етап розвитку високих технологій.

Практичний блокчейн Блокчейн вже давно має на увазі під собою не тільки транзакції в різних криптовалюта. Рішення з використанням цієї технології є у таких серйозних компаній, як Samsung, Microsoft, IBM. У минулому році Amazon Web Services надала демократичний варіант BaaS («блокчейн як сервіс») за передплатою. Ось лише кілька варіантів використання блокчейна для бізнесу: управління запасами для оптової та роздрібної торгівлі, де товари регулярно переміщуються по всьому ланцюжку поставок, а блокчейн використовується для прозорого відстеження їх місця розташування і контролю наявності; охолоджуваний склад для фармацевтичних, хімічних або харчових виробництв, де чутливі до температури товари зберігаються і відвантажуються в кліматконтрольованому середовищі з використанням блокчейна для відстеження та підтримання температури по всьому ланцюжку поставок; розумні договори для сфер фінансів, нерухомості або страхування: зміна цифрових контрактів відповідно до дій, записаними в блокчейн (наприклад, коли машина залишає виставковий поверх, проводяться фінансові транзакції, змінюється власник, укладається новий договір страхування). Аналітики IDC очікують, що сукупний середньорічний приріст інвестицій в блокчейн складе 60,2% і до 2023 року вони досягнуть рівня 15,9 млрд доларів.

Топ кейсів застосування блокчейна в найближчі 5 років за рівнем середньорічного бюджету. Розподілені хмарні рішення. Хмарні рішення - це добре відома технологія, яка вже не перший рік активно впроваджується: хмари знайшли застосування в сфері фінансової звітності, використовуються для віртуальних АТС, на ринку представлені також хмарні CRM- і ERP-системи. Опитування, проведене SberCloud і НАФД в минулому році, показав що 77% представників великого бізнесу і 42% середнього і малого готові перейти на хмарні рішення. На думку аналітиків, значне число респондентів почнуть цей процес

вже в 2020 році. Експерти Gartner вважають, що одним з технологічних трендів поточного року стануть розподілені хмарні рішення. Розподілена хмара - це надання хмарних послуг за межами фізичних центрів обробки даних постачальника. При цьому постачальник все ж відповідає за архітектуру, доставку, управління і оновлення. Перехід від централізованих до розподілених хмарним рішенням почне нову еру в хмарних обчисленнях. Фінансові аналітики прогнозують, що ринок такого роду рішень: SaaS (software as a service), PaaS (platform as a service), IaaS (infrastructure as a service) - збільшиться з поточного рівня в 188 млрд. до більш ніж 300 млрд. доларів вже до 2022 році. При цьому CAGR (середньорічний темп зростання) складе 14,6%. Наступний рік аналітики називають революційним для цілого ряду технологічних проектів. Мережі зв'язку п'ятого покоління приведуть людство в світ всюдисущих мобільних технологій, чат-ботів, голосових помічників і розумних міст. Але, чи так безхмарно майбутнє, яке пропонує світу нові технології? Ми проаналізували прогнози, щоб зрозуміти, до чого в дійсності може привести новий етап розвитку високих технологій.

Продажі: штучний інтелект і голосові помічники

Технології штучного інтелекту (ІІ) поступово проникають в усі без винятку ланцюжка споживання товарів і послуг. Розробки в галузі транспорту дозволяють прогнозувати швидке (в перспективі 3-5 років) поширення самоврядних автомобілів. Розумний будинок, прототип якого був придуманий Стенлі Кубриком в 1968 р, за сукупністю реалізованих технологій став реальністю. Існує і центр управління IoT, його роль пророкують голосовим помічникам і чат-ботів.

Голосові помічники за останні роки стали зручніше, і це ще одна заслуга ІІ: розширення можливостей помічників спричинило за собою зростання продажів «розумних» колонок. За даними NPD Group, до кінця поточного року обсяг ринку цих пристроїв досягне 2,7 млрд дол. США, а продажі годинника, смартфонів і колонок з помічниками на борту виростуть на 50%.

Завдання найближчого майбутнього - зробити спілкування з помічником відрізнятись від діалогу з живим співрозмовником. Для цього розробники мають навчити помічників від Google, Amazon («Алекса»), «Яндекс» («Аліса») і їх численних клонів, що тільки виходять на ринок, взаємодіяти з пошуковими системами і маркетинговими платформами.

Завдання складне, але цілком реалістична, оскільки відповідає запитам ключових учасників високотехнологічного ринку: розробники планують створити повноцінних чат-ботів-помічників; споживачі починають відчувати гострий брак вільного часу в перенасиченому контентом і комерційними пропозиціями просторі; бренди бачать в цій технології перспективний механізм росту прямих продажів без участі маркетингових агентств і інших посередників.

Аналітики припускають, що розвиток ІІ в найближче десятиліття змінить не тільки споживання, але і розробку. Провідні компанії готують системи штучного інтелекту, які дозволять кожному користувачеві Мережі створювати персоналізовані додатки для мобільних пристроїв і ПК. Створення подібних революційних інструментів впирається в стелю даних про користувачів, який мож-

ливо подолати, активно вкладаючи кошти в розвиток персональних гаджетів і телекомунікаційного сектора.

Зв'язок: мережі нового покоління (5G)

Основою нової технологічної революції стане ще більша зв'язаність призначених для користувача пристроїв, яку обіцяють телекомунікаційні мережі п'ятого покоління. Перехід на стандарт зв'язку 5G очікується протягом найближчого року. Користувачі отримають надшвидкий Інтернет, який, як очікується, «підбадьорить» ринок пристроїв «Інтернету речей» (IoT), а в перспективі стимулює розвиток інфраструктури «розумних міст».

Маркетингові компанії і розробники отримають ще більше даних, а, значить, зможуть підняти планки продажів і якість обслуговування клієнтів на новий рівень.

Зворотний бік цих новацій - посилення Технофобія і усвідомлена відмова частини користувачів від гаджетів. Поряд з розумними містами отримають розвиток технології анонімізації і збереження приватності: блокувальники рекламних трекерів, VPN, глушилки сигналів GPS і стільникового зв'язку, системи захисту приватних мереж, криптографічні засоби.

Користувачі вже зрозуміли, на прикладі соціальних мереж і пошукових машин, що розкриття персональних даних і проникнення в приватне життя - занадто висока ціна за доступ до «безкоштовним» сервісів. Побічно цей тренд підтверджують минулорічні дані Webindex: 46% американських користувачів вже скоротили час перебування в соціальних мережах, 32% користувачів в США і Великобританії видалили свої акаунти в соцмедіа.

Техніка: гегемонія мобільних пристроїв

Введення в експлуатацію мереж 5G, припускають аналітики, здешевить призначені для користувача пристрої, які за дивним збігом в майбутньому році технічно досягнуть межі своїх можливостей.

Уже сьогодні мобільний ринок знаходиться в стані дефіциту оригінальних технологій в пристроях: виробники пропонують апарати функціонально схожі і розрізняються лише властивостями, які створюють маркетингові відділи виробників. Так, остання модель «Айфона» пропонує якісні матеріали, швидкий процесор, яскравий екран, технологію розпізнавання осіб, але все це (хай і з різними застереженнями) є і в більш дешевих пристроях китайських і корейських конкурентів Apple.

У пошуку нових рішень бренди очікувано почнуть експериментувати з системами штучного інтелекту і доповненої реальності. Для виробників гаджетів модні технології та маркетингові стратегії, що паразитують на питаннях приватності, - можливості «реабілітації» високих цін на пристрої преміум-сегмента.

Масові мобільні пристрої середнього цінового сегмента зміцнять свою центральну роль не тільки в персональному інформаційному просторі кожного користувача. Смартфон, інтегрований в середу IoT, стане пультом управління всією домашньою інфраструктурою. Технічні умови для об'єднання в смартфоні функціоналу всіх інших домашніх комп'ютерів вже є. Справа залишається за малим: розповісти людям про нові технології і створити універсальну операційну систему, що відповідає всім формам інтелектуальної діяльності людини.

І нехай в минулому експерименти по злиттю мобільного середовища і десктопних операційних систем, що проводяться, наприклад, «Майкрософт», провалилися. Це зовсім не означає, що напрямок не має ніяких реальних перспектив.

Інформація: розквіт «Fake News»

Аналітики консалтингового агентства Gartner стверджують, що до 2022 року обсяг споживання недостовірної інформації буде вище обсягу отриманих реальних повідомлень. Розквіт «Fake News» пов'язують з розвитком телекомунікаційних і інформаційних мереж, а також з появою засобів генерації помилкових повідомлень на базі штучного інтелекту.

Арсенал творчих можливостей II вже сьогодні вражає уяву: комп'ютер навчився створювати підроблені документи, фотографії (згадаємо додаток FaceApp, що генерує по одному знімку фото користувача в старості), звуки (експериментальний інструмент компанії Adobe вміє по декільком звуковим фрагментами вимовляти текст голосом людини, добутих з цих записів) відеоролики.

Всі ці технології створять проблеми не тільки у споживачів, але і внесуть метушню в роботу інформаційних агентств і ЗМІ: журналісти в найближчому майбутньому будуть змушені перевіряти достовірність повідомлень, не беручи до уваги аудіо- та відеозаписи. Користувачі ж залишаться наодинці з хаотичним і неоднорідним потоком інформації, що підвищить шанси на успішні маніпуляції з боку урядових організацій, злочинних і екстремістських угруповань.

Контент: епоха домінування мультимедіа

У 2018 р тривалість перегляду онлайн-відео вперше в історії перевищила показники телеперегляду. За даними агентства Zenith, в середньому кожен користувач провів за переглядом мобільного відео 67 хв.

Явний пік популярності відеоблогів припав на осінь минулого року, і аналітики не прогнозують зниження інтересу користувачів, навпаки, тренд зростаючий. Більш того, за прогнозом агентства в 2020 р. перегляд онлайн-відео чекає серйозне зростання: користувачі з Росії будуть витрачати на споживання відеоконтенту до 102 хв свого часу щодня. Це другий прогнозований показник в світі після Китаю (105 хв відео в день).

У міру розширення глядацької аудиторії відеореклама в онлайн стане самим швидкозростаючим форматом просування товарів і послуг. Бренди вже сьогодні охоче йдуть в онлайн, і в майбутньому вони готові вкладати свої гроші саме в мультимедіа.

У свою чергу, зростання рекламних бюджетів в онлайн-відео підстьобне розвиток галузі професійних контент-мейкерів: незалежних продюсерів і агентств-інтеграторів, які, з одного боку, будуть розвивати і спонсорувати блогерів, музикантів, сценаристів та інших постачальників якісного відео, з іншого - вбудовувати комерційні пропозиції і інші повідомлення брендів в створений блогерами інформаційний продукт.

З деяким відставанням, як по бюджетам, так і за обсягами споживання, на узбіччі домінуючого тренда розвиваюче середовище аудіоконтенту. Можна припустити, що після вичерпання можливостей телебачення настане період ма-

сового захоплення звуком: попередньозаписаним - впорядкування файлів, репортажами, аудіокнигами, музичними записами; прямоефірним - іграми і розмовними форматами. Поки не ясно, який саме контент буде драйвером зростання для аудіо, але аналітики сходяться на думці, що потенціал звукових форматів поки недооцінений.

Але повернемося до відео. При збереженні поточного зростання аудиторії і збільшенні часу споживання у виграші залишаться всі учасники виробництва відеоконтенту. Бренди за допомогою інтеграцій повернуть собі аудиторію, яка покинула місця у телевізійних екранів, контент-мейкери отримають нові можливості монетизації, а продюсери в перспективі і з деякими застереженнями візьмуть функціонал агрегаторів телевізійної та радіореклами.

Розвиток мультимедіа серйозно вплине і на видавничий ринок. Відео та аудіо в Інтернеті може стати новим і високоефективним інструментом просування книг, але навряд чи повністю витіснить з ринку традиційний текстовий контент. Компаніям, вже зараз варто задуматися про організацію власного виробництва мультимедіа. Вважаємо, ця рекомендація може бути застосована і до видавничому бізнесу.

Прикладні аспекти оптимізації

Оптимізація (матем.) - знаходження екстремуму (мінімуму або максимуму) цільової функції в деякій області конечномерного векторного простору.

Справжнім початком математичного програмування в сучасному розумінні вважають праці радянського вченого Л. В. Канторовича. Наприкінці 30-х років у Ленінградському університеті ним уперше були сформульовані та досліджувались основні задачі, критерії оптимальності, економічна інтерпретація, методи розв'язання та геометрична інтерпретація результатів розв'язання задач лінійного програмування (1939 року Л. В. Канторович оприлюднив монографію «Математичні методи організації і планування виробництва»).

Канторович Леонід Віталійович (1912 - 1986) - радянський математик і економіст, піонер і один з творців лінійного програмування. Лауреат Нобелівської премії з економіки 1975 року «за внесок у теорію оптимального розподілу ресурсів» (єдиний радянський вчений, удостоєний Нобелівської премії з економіки).

В 1947 році американським вченим Дж. Данцигом був розроблений основний метод розв'язування задач лінійного програмування — симплексний метод, що вважається початком формування лінійного програмування як самостійного напрям-ку в математичному програмуванні.

Сам термін «лінійне програмування» був введений дещо пізніше, 1951 року, у працях того ж Дж. Данцига та Г. Кумпанса. Однак у своїй монографії Дж. Данциг зазначає, що Л. В. Канторовича слід визнати першим, хто виявив, що широке коло важливих виробничих задач може бути подане у чіткому математичному формулюванні, яке уможливлює підхід до таких задач з кількісного боку та розв'язання їх чисельними методами.

Джордж Бернард Данциг (1914-2005) американський математик, розробник симплексного алгоритму, застосовуваного в рішеннях завдань симплекс-методом.

Тьяллінг Чарльз Купманс (1910- 1985) американський економіст і математик, Нобелівської премії з економіки 1975 року «за внесок у теорію оптимального розподілу ресурсів» (разом з Л.В. Канторовичем)

Економіко-математична модель (задача) - математичний опис економічного об'єкта або процесу, проведений з метою їх дослідження та управління ними, тобто, це математичний запис розв'язуваної економічної задачі. Таким чином, поняття модель і задачі вживаються як синоніми.

Економіко-математичні задачі, мета яких полягає в знаходженні найкращого (оптимального) з точки зору деякого критерію або критеріїв варіанта використання наявних ресурсів, називаються **оптимізаційними задачами.**

Оптимізаційні задачі (ОЗ) вирішуються за допомогою оптимізаційних моделей (ОМ) методами математичного програмування.

Оптимізаційна (оптимальна) модель – це економіко-математична модель, яка охоплює деяке число варіантів виробництва, розподілу чи споживання і призначена для вибору таких значень змінних, які характеризують ці варіанти, щоб був знайдений кращий з них.

Моделі усіх задач оптимізації складаються з наступних **елементів:**

1. Змінні - невідомі величини, які потрібно знайти при вирішенні задачі.
2. Обмеження - умови, яким повинні задовольняти змінні.
3. Критерій оптимальності - ключовий показник ефективності моделі, який залежить від змінних і є метою, ключовим показником ефективності моделі. Математичною формою критерію оптимальності є цільова функція.

Оптимізаційна задача обов'язково носить екстремальний характер, тобто полягає у знаходженні максимуму або мінімуму (екстремуму) цільової функції.

Кожна оптимізаційна модель послідовно проходить наступні **основні етапи**:

1. Постановка завдання.
2. Побудова (складання) математичної моделі.
3. Розв’язання задачі.
4. Аналіз одержаного рішення і коректування моделі у разі потреби.
5. Реалізація знайденого рішення на практиці.

Вивченням проблем, пов'язаних з вибором оптимальних рішень, займаються теорія дослідження операцій та теорія прийняття рішень.

Оптимальне рішення - це не завжди найкраще рішення, тому що в рамках пошуку оптимального рішення необхідно враховувати безліч факторів, у тому числі і час, а на пошук кращого рішення може знадобитися дуже багато часу, таким чином, оптимальне рішення - це те рішення, яке задовольняє нас в конкретній ситуації.

Класифікація оптимізаційних моделей і методів.

1. За характером взаємозв'язку між змінними виділяють наступні моделі:

а) **лінійні,** коли функціональні зв'язки в системі обмежень і цільова функція - лінійні функції;

б) **нелінійні,** коли хоча б один з елементів у системі обмежень або цільова функція має нелінійний вигляд.

2. За характером зміни змінних

а) **безперервні,** коли значення кожної з керуючих змінних можуть заповнювати суцільно деяку область дійсних чисел; Якщо величини в заданому інтервалі граничних умов можуть приймати будь-які проміжні значення;

б) **дискретні,** коли всі або хоча б одна змінна можуть приймати тільки цілочисельні значення.

3. За обліком фактора часу

а) **статичні** (однокрокові), коли моделювання і прийняття рішень здійснюються в припущенні про незалежність від часу елементів моделі протягом періоду часу, на який приймається планово-управлінське рішення; коли наперед відомо стан досліджуваної системи і якщо система незмінна в часі за параметрами. всі залежності відносяться до одного моменту або періоду часу

б) **динамічні** (багатокрокові), коли необхідно враховувати фактор часу; коли невідомо наперед стан досліджуваної системи і якщо система змінюється в часі за параметрами. характеризують зміни економічних процесів у часі

4. За наявністю інформації про змінні

а) **детерміновані** (в умовах повної визначеності) - не містять випадкові змінні і параметри, які набувають значень відповідно до функції розподілу.

б) **стохастичні** (в умовах невизначеності або неповної визначеності, в умовах ризику - містять випадкові функції та величини.

5. За кількістю критеріїв ефективності:

а) **однокритеріальні** (прості) завдання, коли реальна ситуація дозволяє визначити єдину цільову функцію.

б) **багатокритеріальні** (складні) задачі (задачі векторної оптимізації), які економічно прийнятно звести за допомогою спеціальних процедур до однокритеріальної задачі; багатокритеріальні задачі більше відповідають реальності, оскільки людина у своїй діяльності найчастіше переслідує відразу кілька цілей, відповідно, оптимізаційні моделі в таких випадках містять кілька цільових функцій; в таких завданнях важливо враховувати думку «особи, що приймає рішення», який може звести кілька критеріїв до одного критерію або скористатися методом послідовних поступок.

6. За видом цільової функції виділяють наступні методи*:*

а) лінійне програмування - цільова функція і функції в системі обмежень - лінійні функції;

б) цілочисельне лінійне програмування - до попередніх умов додається умова необхідності отримати відповідь у вигляді цілих чисел;

в) нелінійне програмування - цільова функція і / або функції в системі обмежень - нелінійні функції;

г) квадратичне програмування - множина допустимих рішень являє собою опуклий багатогранник, а цільова функція є квадратичною;

д) опукле програмування - безліч допустимих рішень і цільова функція – опукла множина;

е) стохастичне програмування - функції носять випадковий характер;

є) евристичне програмування - надмірно велика кількість варіантів рішення, що приводить до неможливості знайти точний оптимум алгоритмічним шляхом;

ж) динамічне програмування - критерій ефективності виражений неявно через рівняння, що описують операції в часі.

Найбільш опрацьованими є методи лінійного програмування.

1.2. Постановка та приклади задачі лінійного програмування (ЗЛП)

Загальна лінійна математична модель економічних процесів і явищ - так звана **загальна задача лінійного програмування** подається у вигляді:

Задана система умов (обмежень) з n невідомих (змінних) $x_1, x_2, \ldots, x_n$

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 - \ldots + a_{1n}x_n \{\leq, \geq, =\} b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots - a_{2n}x_n \{\leq, \geq, =\} b_2 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots + a_{mn}x_n \{\leq, \geq, -\} b_m \end{cases}$$

та умова невід'ємності змінних:

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \ldots, x_n \geq 0$$

Необхідно знайти оптимальний розв'язок - значення змінних, які задовольняють вказаним умовам, тоді як цільова функція набуває екстремального (максимального чи мінімального) значення.

$$F = c_1x_1 + c_2x_2 + \ldots + c_nx_n \rightarrow \max(\min)$$

Задача про найкраще використання ресурсів

Класична постановка. Підприємство випускає **n** різних виробів. Для їх виробництва потрібні **m** різних видів ресурсів (сировини, допоміжних матеріалів, робочого часу і т.д.). Ці ресурси обмежені і складають в плановий період $\mathbf{b_1, b_2, \ldots, b_m}$ умовних одиниць. Відомі також технологічні коефіцієнти $\mathbf{a_{ij}}$, які вказують, скільки одиниць і-го ресурсу потрібно для виробництва вироби j-го виду (i = 1, m, j = 1, n). Нехай вигода, одержувана підприємством при виробництві (реалізації) одиниці виробу j-го виду, дорівнює $\mathbf{c_j}$. У плановому періоді всі показники $\mathbf{b_i, a_{ij}}$ і $\mathbf{c_j}$ передбачаються постійними.

Задача У господарстві є трактори Т-70С, ДТ-75М та МТЗ-80, що підлягають ремонту, на здійснення можуть бути витрачені 218000 грн. Вартість ремонту кожного з тракторів та змінний еталонний виробіток трактора кожної марки наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.4

Вартість ремонту тракторів та їх виробіток

Показники	Марки тракторів		
	Т-70С	ДТ-75М	МТЗ-80
Вартість ремонту трактора, грн.	17000	22000	26000
Змінний виробіток трактора, ум. ет. га	4,2	7	4,1

Скільки тракторів і яких саме слід відремонтувати, щоб забезпечити максимальний змінний виробіток в умовних еталонних гектарах, враховуючі, що гусеничних тракторів повинно бути не більше 80% від числа колісних, а тракторів ДТ-75М може бути відремонтовано не більше 4-х.

Математична модель:

Система змінних

Кількість тракторів, шт.

x_1 - Т-70С

x_2 - ДТ-75М

x_3 - МТЗ-80

Система обмежень

1. По фінансових ресурсах: $17000x_1+22000x_2+26000x_3 \leq 218000$
2. За кількістю колісних тракторів $x_1+x_2 \leq 0{,}8x_3$ або $x_1+x_2-0{,}8x_3 \leq 0$
3. За кількістю тракторів ДТ-75М $x_2 \leq 4$

Критерій оптимальності - максимальний змінний виробіток в умовних еталонних гектарах

$F=4{,}2x_1+7x_2+4{,}1x_3 \rightarrow max$

Таблиця 1.5

Матриця економіко-математичної задачі оптимізації ремонту тракторів

Назва обмеження	Кількість тракторів марки			Обмеження	
	Т-70С	ДТ-75М	МТЗ-80	Знак	Обсяг (Права частина)
	x_1	x_2	x_3		
1. Фінансові ресурси, грн.	17000	22000	26000	≤	218000
2. Кількість колісних тракторів	1	1	-0,8	≤	0
3. Кількість тракторів ДТ-75М		1		≤	4
Змінний виробіток, ум. ет. га	4,2	7	4,1	max	

	A	B	C	D	E	F	G
1	Назва обмеження	Кількість тракторів марки			Обмеження		
2		Т-70С	ДТ-75М	МТЗ-80	Ліва частина	Знак	Права частина
3		x_1	x_2	x_3			
4	значення	0	4	5			
5	1. Фінансові ресурси, грн.	17000	22000	26000	218000	≤	218000
6	2. Кількість колісних тракторів	1	1	-0,8	-2,37E-09	≤	0
7	3. Кількість тракторів ДТ-75М		1		4	≤	4
8	Змінний виробіток, ум. ет. га	4,2	7	4,1		max	48,5

Висновок: для забезпечення максимального змінного виробітку обсягом 48,5 ум. ет. га господарству необхідно відремонтувати максимально можливу кількість тракторів ДТ-75М – 4 – та 5 тракторів МТЗ-80, трактори Т-70С ремонтувати недоречно.

Задача про суміші

До групи задач про суміші відносять завдання з відшукання найбільш дешевого набору з певних вихідних матеріалів, що забезпечують отримання суміші із заданими властивостями. Іншими словами, одержувані суміші повинні мати у своєму складі n різних компонентів в певних кількостях, а самі компоненти є складовими частинами m вихідних матеріалів.

Задача 1.5 Щодня в ресторані фірмовий коктейль (місткість порції - 0,33 л) замовляють у середньому 600 відвідувачів. Відповідно до рецепта у складі коктейлю повинно бути:

- не менше 20 %, але й не більше 35 % спирту;
- не менше 2 % цукру;
- не більше 5 % домішок;
- не більше 76 % води;
- не менше 7 %, але й не більше 12 % соку.

Процентний вміст напоїв, з яких змішується коктейль, і їх щоденний запас та вартість наведено у табл. 1.8

Таблиця 1.8

Склад, запаси та вартість напоїв

Напій	Вміст,%				Щоденний запас, л	Вартість гр. од./л
	Спирт	Вода	Цукор	Домішки		
Горілка	40	57	1	2	50	30
Біле вино	18	67	9	6	184	20
Сік	-	88	8	4	46	10

Менеджер ресторану бажає визначити такий склад коктейлю, щоб його вартість була мінімальною.

Математична модель:

Система змінних:

Кількість напою в складі коктейлю, л

x_1 - горілка

x_2 - вино

x_3 - сік

Система обмежень:

I. За загальним об’ємом коктейлю, л

1.місткість порції:

$x_1+x_2+x_3 = 0,33$

II. За щоденними запасами складових коктейлю, л

2. за запасами горілки

$600\ x_1 \leq 50$

3. за запасами вина

$600\ x_2 \leq 184$

4. за запасами соку

$600\ x_3 \leq 46$

III. За вмістом речовин у коктейлі, л

5. спирту, не менше

$0,4\ x_1+0,18\ x_2 \geq 0,2*0,33$ або $0,4\ x_1+0,18\ x_2 \geq 0,066$

6. спирту, не більше

$0,4\ x_1+0,18\ x_2 \leq 0,35*0,33$ або $0,4\ x_1+0,18\ x_2 \leq 0,116$

7. цукру, не менше

$0,01x_1+0,09x_2+0,08x_3 \geq 0,02*0,33$ або $0,01x_1+0,09x_2+0,08x_3 \geq 0,007$

8. домішок, не більше

$0,02x_1+0,06x_2+0,04x_3 \leq 0,05*0,33$ або $0,02x_1+0,06x_2+0,04x_3 \leq 0,017$

9. води, не більше

$0,57x_1+0,67x_2+0,88x_3 \leq 0,76*0,33$ або $0,57x_1+0,67x_2+0,88x_3 \leq 0,251$

10. соку, не менше $x_3 \geq 0,07*0,33$ або $x_3 \geq 0,023$

11. соку, не більше $x_3 \leq 0,12*0,33$ або $x_3 \leq 0,040$

Критерій оптимальності – мінімальна вартість коктейлю, гр. од.

$F=30x_1+ 20x_2+10x_3 \rightarrow min$

Таблиця 1.9

Матриця економіко-математичної задачі оптимізації складу коктейлю

Назва обмеження	Кількість напоїв, л			Обмеження	
	горілка	вино	сік	Знак	Обсяг (Права частина)
	x_1	x_2	x_3		
1.місткість порції, л	1	1	1	=	0,33
2. запаси горілки	600			≤	50
3. запаси вина		600		≤	184
4. запаси соку			600	≤	46
7. спирту, не менше	0,4	0,18		≥	0,066
6. спирту, не більше	0,4	0,		≤	0,11

		18			6
7. цукру, не менше	0,01	0,09	0,98	≥	0,007
8. домішок, не більше	0,02	0,06	0,04	≤	0,017
9. води, не більше	0,57	0,67	0,88	≤	0,251
10.соку, не менше			1	≥	0,023
11. соку, не більше			1	≤	0,040
Вартість коктейлю, гр. од.	30	20	10	min	7,20

Висновок: мінімальна вартість порції коктейлю 7,2 гр.од. досягається при додаванні до його складу 80 мл горілки, 220 мл білого вина та 20 мл соку.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Назва обмеження	горілка	вино	сік	Обмеження		
2		x_1	x_2	x_3	Ліва частина	Знак	Права частина
3	Значення	0,08	0,22	0,02			
4	1.місткість порції	1	1	1	0,33	=	0,33
5	2. запаси горілки	600			50,00	≤	50
6	3. запасами вина		600		134,14	≤	184
7	4. запаси соку			600	13,86	≤	46
8	7. спирту, не менше	0,4	0,18		0,074	≥	0,066
9	6. спирту, не більше	0,4	0,18		0,074	≤	0,116
10	7. цукру, не менше	0,01	0,09	0,98	0,044	≥	0,007
11	8. домішок, не більше	0,02	0,06	0,04	0,016	≤	0,017
12	9. води, не більше	0,57	0,67	0,88	0,218	≤	0,251
13	10. соку, не менше			1	0,023	≥	0,023
14	11. соку, не більше			1	0,023	≤	0,040
15	Вартість коктейлю, гр. од.	30	20	10		min	7,20

Цілочисленне програмування

Задача 1.6 Для роботи в новому офісі компанії *Expert Service* менеджер з персоналу набирає нових співробітників на повну ставку. Мінімальна потреба в співробітниках в різні дні тижня наведені в табл. 1.10.

Таблиця 1.10

Потреба в персоналі компанії Expert Service

Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя

17	13	15	19	14	16	11

Згідно угоди з профспілкою працівник, найнятий на повну ставку, повинен відпрацювати поспіль 5 днів, а потім мати поспіль 2 дні відпочинку.

Необхідно скласти оптимальний розклад роботи працівників, щоб потреба у найманому персоналі була мінімальною.

Математична модель:

Система змінних

Кількість співробітників, які починають роботу у:

x_1 - понеділок

x_2 - вівторок

x_3 - середу

x_4 - четвер

x_5 - п'ятницю

x_6 - четвер

x_7 - п'ятницю

Система обмежень

1. Понеділок: $x_1+x_4+x_5+x_6+x_7\geq 17$
2. Вівторок $x_1+x_2+x_5+x_6+x_7\geq 13$
3. Середа $x_1+x_2+x_3+x_6+x_7\geq 15$
4. Четвер $x_1+x_2+x_3+x_4+x_7\geq 19$
5. П’ятниця $x_1+x_2+x_3+x_4+x_5\geq 14$
6. Субота $x_2+x_3+x_4+x_5+x_6\geq 16$
7. Неділя $x_3+x_4+x_5+x_6+x_7\geq 11$

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ – цілі числа

Критерій оптимальності – мінімальна кількість найманого персоналу, осіб

$F=x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6+x_7 \rightarrow min$

Таблиця 1.11

Матриця економіко-математичної задачі оптимізації розкладу роботи

Назва обмеження	Кількість робітників, що працюють з							Обмеження	
	Пн.	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд		
	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	Знак	Права частина
Потреба в персоналі, осіб:									
1. у Пн.	1			1	1	1	1	≥	17
2. у Вт	1	1			1	1	1	≥	13
3. у Сер	1	1	1			1	1	≥	15
4. у Чт	1	1	1	1			1	≥	19
5.у Пт	1	1	1	1	1			≥	14
6.у Сб		1	1	1	1	1		≥	16
7. у Нд			1	1	1	1	1	≥	11
Кількість найманого персоналу, осіб	1	1	1	1	1	1	1	min	23

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Назва обмеження	з Пн	з Вт	з Ср	з Чт	з Пт	з Сб	з Нд	Обмеження		
2		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	Ліва частина	Знак	Права частина
3	Значення	2	3	3	7	0	4	4			
4	Пн	1			1	1	1	1	17	≥	17
5	Вт	1	1			1	1	1	13	≥	13
6	Ср	1	1	1			1	1	16	≥	15
7	Чт	1	1	1	1			1	19	≥	19
8	Пт	1	1	1	1	1			15	≥	14
9	Сб		1	1	1	1	1		17	≥	16
10	Нд			1	1	1	1	1	18	≥	11
11	Кількість найманого персоналу, осіб	1	1	1	1	1	1	1		min	23

Висновок: згідно оптимального плану необхідно, щоб з понеділка починали працювати 2 співробітники, з вівторка та середи – по 3, в четвер - 7, починати з п’ятниці не має ні один з працівників, а з суботи та неділі виходять на роботу ще по 4 співробітники. При цьому кількість найманого персоналу складе 23 особи.

Задача про ранець

В класичній постановці йдеться мандрівника, який зібрався у похід і повинен упакувати в ранець різні корисні предмети n найменувань, причому можуть знадобитися кілька однакових предметів. Маються m обмежень такого типу, як вага, обсяг, лінійні розміри і т.д. Нехай a_{ij} - і-я характеристика предмета j-го найменування (i = 1, m, j = 1, n), b_i - обмеження за вагою, обсягом і т.д., x_j

- кількість предметів j-го найменування, запланована до навантаження в ранець (j = 1, n). Вважається, що відома корисність c_j одного предмета j.

Задача У склад місткістю 90 куб. м потрібно помістити три різних типи обладнання. Характеристика предметів дана в табл 1.12

Таблиця 1.12

Об'єм та вартість обладнання

Тип обладнання	1	2	3
Об'єм одиниці обладнання, куб. м	24	19	16
Ціна одиниці обладнання, дол.	960	500	250

Визначити, скільки обладнання кожного типу слід помістити на склад так, щоб загальна вартість складованого обладнання була максимальною.

Математична модель:

Система змінних

Кількість одиниць обладнання:

x_1 - типа 1

x_2 - типа 2

x_3 - типа 3

Система обмежень

1. За місткістю складу, куб. м $24x_1+19x_2+16x_3 \leq 90$

2. x_1, x_2, x_3 – цілі числа

Критерій оптимальності – максимальна вартість складованого обладнання, дол.

$F=960x_1+ 500x_2+250x_3 \rightarrow max$

	A	B	C	D	E	F	G
1	Назва обмеження	Обладнання			Обмеження		
2		Тип 1	Тип 2	Тип 3	Ліва частина	Знак	Права частина
3	Значення	3	0	1			
4	Об'єм одиниці обладнання, куб. м	24	19	16	88	≤	90
5	Вартість обладнання, дол.	960	500	250		max	3130

Висновок: на склад слід помістити 3 одиниці обладнання типу 1 та одиницю типу 3, що забезпечить максимальну вартість обладнання в розмірі 3130 дол.

Задачі з булевими (двоїчними, бінарними) змінними

До задач з булевими змінними належать завдання, змінні в яких можуть приймати тільки два значення: 0 або 1.

Задача Торгова компанія «Trade» має свої супермаркети в Києві, Харкові, Дніпропетровську, Донецьку, Запоріжжі, Полтаві та Сімферополі. У результаті

помилок менеджменту економічне становище компанії стало погіршуватися, їй довелося взяти кредит у розмірі 65 млн. грн. і зрештою, щоб вчасно його погасити, терміново продавати деякі зі своїх супермаркетів. Засоби, які компанія могла б отримати від продажу супермаркетів у Києві, Харкові, Дніпропетровську, Донецьку, Запоріжжі, Полтаві та Сімферополі становлять відповідно 26; 24,5; 22,5; 18; 17; 16 і 15,5 млн. грн. При цьому продаж супермаркетів сполучена з необхідністю звільнення персоналу. Його чисельність супермаркетах становить відповідно 200, 190, 180, 170, 150, 130 і 110 осіб. На вимогу об'єднаної профспілки працівників торгівлі компанія повинна мінімізувати чисельність звільненого персоналу.

Побудуйте модель для знаходження оптимального рішення.

Математична модель:

Пронумеруємо міста відповідно до порядку їх перерахування.

Нехай $x_i = 1$, якщо супермаркет, розташований у місті, продається,

$x_i = 0$ - в іншому випадку.

Система змінних:

Продаж супермаркету в місті

x_1 - Київ

x_2 - Харків

x_3 – Дніпропетровськ

x_4 - Донецьк

x_5 - Запоріжжя

x_6 - Полтава

x_7 - Сімферополь

Система обмежень:

1. За обсягом потрібних коштів, млн. грн.

$26x_1 + 24{,}5x_2 + 22{,}5x_3 + 18x_4 + 17x_5 + 16x_6 + 15{,}5\,x_7 \geq 65$

2. Умова булевості змінних:

1 варіант	2 варіант
$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ - бінарні	$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7 \geq 0$
	$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7 \leq 1$
	$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ – цілі числа

Критерій оптимальності **-** *мінімальна чисельність звільненого персоналу*

$F=200x_1+190x_2+180x_3+170x_4+150x_5+130x_6+110x_7 \rightarrow min$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Назва обмеження	КиЇв	Харків	Дніпр-к	Донецьк	Запоріжжя	Полтава	Сімф-ль	Обмеження		
2		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	Ліва частина	Знак	Права частина
3	Значення	1	1	0	0	0	0	1			
4	Потрібно коштів, млн. грн.	26	24,5	22,5	18	17	16	15,5	66	≥	65
5	Звільнений персонал, осіб	200	190	180	170	150	130	110		min	500

Висновок: найменша кількість звільнення персоналу (500 осіб) досягається шляхом продажу супермаркетів в Києві, Харкові та Сімферополі, при цьому обсяг виручених коштів складе 66 млн. грн.

Задача про доставку

Класична постановка. Фірма обслуговує деяку кількість клієнтів m. Кожен день вона доставляє своїм клієнтам товари на вантажних машинах (або за-

лізницею, повітряним шляхом, на баржах і т.д.). Існує n допустимих маршрутів доставки, кожен з яких дозволяє обслужити певну множину клієнтів і вимагає використання в перебігу дня одного транспортного засобу. Кожен маршрут характеризується певними витратами c_j, які можуть відповідати його довжині, або вартості витраченого палива і т.д.

Мета полягає в тому, щоб вибрати таку множину маршрутів, при якій забезпечується обслуговування кожного з клієнтів, кожен клієнт обслуговується один раз на день і сумарні витрати мінімальні.

Задача Фірма «Truck» обслуговує 5 клієнтів. Кожен день вона доставляє своїм клієнтам товари на вантажних машинах. Існує 3 допустимих маршруту доставки, кожен з яких дозволяє обслужити певну кількість клієнтів і вимагає використання протягом дня одного транспортного засобу. Кожен маршрут характеризується певними витратами (див. табл. 1.13).

Необхідно вибрати таку множину маршрутів, за якої забезпечується обслуговування кожного з клієнтів і, крім того, сумарні витрати мінімальні, за умови, що кожен клієнт обслуговується один раз на день.

Таблиця 1.13

Таблиця обслуговування клієнтів по маршрутах

Клієнти	Маршрути		
	Маршрут 1	Маршрут 2	Маршрут 3
Клієнт 1	1		1
Клієнт 2	1		
Клієнт 3	1		1
Клієнт 4		1	
Клієнт 5		1	1
Витрати на маршрут, гр. од.	900	1000	800

Математична модель:

Приймаємо, що $x_i = 1$, якщо маршрут *i* обраний;

$x_i = 0$, в іншому випадку;

$a_{ij} = 1$, якщо і-й клієнт обслуговується за маршрутом j;

$a_{ij} = 0$, в іншому випадку

Система змінних:

x_1 - маршрут 1

x_2 - маршрут 2

x_3 – маршрут 3

Система обмежень:

1. По Клієнту 1 $x_1 + \cdot x_3 = 1$,

2. По Клієнту 2 $x_1 = 1$

3. По Клієнту 3 $x_1 + x_3 = 1$

4. По Клієнту 4 $x_2 = 1$

5. По Клієнту 5 $x_2 + x_3 = 1$

Критерій оптимальності – мінімальні витрати на доставку, гр. од.

$F = 900x_1 + 1000x_2 + 800x_3 \rightarrow min$

Висновок: найменші витрати на доставку в обсязі 1900 гр. од. передбачають використання маршрутів 1 і 2 та відмову від маршруту 3.

Транспортна задача та її модифікації

Класична постановка транспортної задачі. Потрібно скласти план перевезень однорідного вантажу в такий спосіб,щоб загальна вартість перевезень була мінімальною.

Вихідна інформація:

a_i - кількість одиниць вантажу в і-му пункті відправлення (i = 1, m);

b_j - потреба в j-му пункті призначення (j = 1, n) в одиницях вантажу;

c_{ij} - вартість перевезення одиниці вантажу з і-го пункту в j-й.

x_{ij} - планова кількість одиниць вантажу для перевезення з і-го пункту в j-й.

У найпростішому випадку закритої моделі ТЗ, коли загальна кількість одиниць вантажу пунктах відправлення повністю відповідає загальній потребі в пунктах призначення, повинні виконуватися наступні умови:

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i , \quad i = \overline{1, m} ,$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j , \quad j = \overline{1, n} ,$$

$$\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j .$$

Цільова функція має вигляд:

$$F = \sum_{i=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min$$

У випадку першої відкритої моделі ТЗ, коли загальна кількість одиниць вантажу пунктах відправлення більша за загальну потребу в пунктах призначення, повинні виконуватися умови:

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \le a_i , \quad i = \overline{1, m} ,$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j , \quad j = \overline{1, n} ,$$

$$\sum_{i=1}^{m} a_i > \sum_{j=1}^{n} b_j .$$

У випадку другої відкритої моделі ТЗ, коли загальна кількість одиниць вантажу пунктах відправлення менша за загальну потребу в пунктах призначення, повинні виконуватися умови:

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i \ , \ \text{i}=\overline{1,m} \ ,$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} \le b_j \ , \ \text{j}=\overline{1,n} \ ,$$

$$\sum_{i=1}^{m} a_i < \sum_{j=1}^{n} b_j \ .$$

Задача В групі господарств необхідно розширити площі посіву ярих культур. Площі, що підлягають пересіву, складають 930, 600 та 700 га відповідно. Максимально можлива площа посіву гороху становить 730 га, вівсу – 400 га, проса – 190 га, ячменю – 580 га. Планові урожайності цих культур наведені в табл. 1.15.

Таблиця 1.15

Урожайність культур у різних господарствах

Господарства	Урожайність, ц/га			
	горох	овес	просо	ячмінь
1	19	18	14	26
2	24	18	15	23
3	21	19	16	24

Необхідно скласти план розміщення ярих зернових культур, який забезпечив би максимальне виробництво зерна з урахуванням наступних умов:

а) перше господарство має запаси насіннєвого матеріалу, що дозволяє засіяти горох на площі 120 га, а ячмінь – на площі не більше 440 га;

б) запаси паливно-мастильних матеріалів у другому господарстві дозволять засіяти горох на площі не більше 550 га;

в) система сівозмін третього господарства не передбачає висівання вівса.

Математична модель:

Система змінних:

Площі окремих господарств під відповідними культурами:

x_{11} – площа господарства 1 під горохом

x_{12} - площа господарства 1 під вівсом

x_{13} - площа господарства 1 під просом

x_{14} - площа господарства 1 під ячменем

x_{34} - площа господарства 3 під ячменем

Система обмежень

1. Не всі відведені в господарствах площі мають бути зайняті

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} \le 930$$
$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \le 600$$
$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} \le 700$$

2. Вся можлива площа посіву ярих культур має бути пересіяна

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} = 730$$
$$x_{12} + x_{22} + x_{32} = 400$$
$$x_{13} + x_{23} + x_{33} = 190$$
$$x_{14} + x_{24} + x_{34} = 580$$

3. По площі гороху в господарстві 1 $x_{11}=120$

4. По площі ячменю в господарстві 1 $x_{14} \le 440$

5. По площі гороху в господарстві 2 $x_{21} \leq 550$

3. По площі вівса в господарстві 3 $x_{32} = 0$

Критерій оптимальності - максимальний валовий збір ярих культур, ц

$$F = 19x_{11} + 18x_{12} + 14x_{13} + 26x_{14} + 24x_{21} + 18x_{22} + 15x_{23} + 23x_{24} + 21x_{31} + 19x_{32} + 16x_{33} + 24x_{34} \rightarrow max$$

	A	B	C	D	E	F	G
1	Господарства	Урожайність, ц/га					
2		горох	овес	просо	ячмінь		
3	1	19	18	14	26		
4	2	24	18	15	23		
5	3	21	19	16	24		
6							
7							
8	Господарства	План посіву, га				Використано площ, га	Площі, що підлягають пересіву, га
9		горох	овес	просо	ячмінь		
10	1	120	370	0	440	930	930
11	2	550	30	0	0	580	600
12	3	60	0	190	140	390	700
13	Площа посіву культур, га	730	400	190	580	Загальні суми	2230
14	Максимальна площа посіву ярих культур, га	730	400	190	580	1900	не співпадає
15	Максимальний валовий збір, ц						41780

Висновок: оптимальний план передбачає розміщення на площах:

- господарства 1: 120 га посівів гороху, 370 га вівсу та 440 га ячменю, що забезпечить повну зайнятість відведених площ;

- господарства 2: 550 га посівів гороху та 30 га вівсу, при цьому 20 га площі залишаться незайнятими;

- господарства 3: 60 га посівів гороху, 190 га проса та 140 га ячменю, при цьому 310 га площі залишаться незайнятими.

Максимальний валовий збір зерна при цьому складе 41780 ц.

Аналіз чутливості оптимізаційних моделей

Неминуче коливання значень таких економічних параметрів, як ціни на продукцію та сировину, запаси сировини, попит на ринку і т.д. може призвести до неоптимальності або непридатності попереднього режиму роботи.

Для врахування подібних ситуацій проводиться аналіз чутливості, тобто аналіз того, як можливі зміни параметрів вихідної моделі вплинуть на отримане раніше оптимальне рішення задачі лінійного програмування.

Аналіз чутливості оптимізаційних моделей - це процес аналізу моделі після знаходження оптимального рішення.

Аналіз чутливості має дати відповіді на наступні **питання**:

♦ У яких межах можуть змінюватися параметри моделі так, щоб збереглося отримане рішення?

♦ Які обмеження пов'язані (тобто лімітують (стримують) цільову функцію), а які обмеження не впливають на рішення?

♦ Якщо змінити значення правих частин пов'язаних обмежень, то наскільки може змінитися значення цільової функції?

♦ Якщо значення якоїсь змінної рішення дорівнює нулю, то за яких умов вона може прийняти позитивне значення?

Аналіз чутливості за звітами в MS Excel:

- **Звіт зі стійкості** - вивчення впливу змін окремо взятих параметрів моделі на показники оптимального рішення
- **Звіт за межами** - показує, в яких межах з урахуванням всіх обмежень можуть змінюватися змінні і які значення при цьому буде приймати цільова функція
- **Звіт за результатами** – вказує, які обмеження пов'язані і які непов'язані.

Звіт зі стійкості, який є найкориснішим при аналізі чутливості оптимального плану. Він складається з двох **частин:**

1 – Комірки, що змінюються. Крім імені змінних і адрес комірок в ній присутні стовпчики:

Остаточне значення - це оптимальний план.

Приведена (нормована, редукована) вартість - показує, на скільки зміниться значення в цільовій комірці при збільшенні значення в комірці, що змінюється на одну одиницю.

Допустиме збільшення, допустиме зменшення - показує межі змін цільових коефіцієнтів, при яких зберігається набір змінних, що входять в оптимальне рішення, але змінюється оптимальне значення цільової функції.

2 - Обмеження. Крім імені змінних і адрес комірок в ній присутні стовпчики:

Остаточне значення - значення лівої частини обмеження при оптимальному плані.

Тіньова ціна - зміна цільової функції при зміні дефіцитного ресурсу на 1 одиницю. Тіньова ціна недефіцитного ресурсу буде дорівнює 0.

Обмеження. Права частина – показує обсяг певного обмеження, наприклад, наявний запас ресурсу.

Допустиме збільшення, допустиме зменшення - показує, на скільки можна змінити праву частину обмеження до того моменту поки це буде впливати на базисний набір змінних, що входять в оптимальне рішення вихідної задачі.

Тема 2. Технології точного землеробства.
Системи паралельного водіння; системи управління нормою

Розповідаючи про систему точного землеробства, розуміємо, що це - підвищення використання генетичного потенціалу рослин, раціональної експлуатації техніки.

Для досягнення даної мети необхідно впровадити такі складові, як систему паралельного водіння агрегатів, зондування ґрунту і картографування врожайності та диференційоване внесення добрив.

Зупинимося на *системі паралельного водіння* , що схематично зображено на рис. 6.1.

Точне управління сільським господарством починається з точного управління с.- г. машинами: ***«Бажаєте отримати економію - їдьте прямо!»***

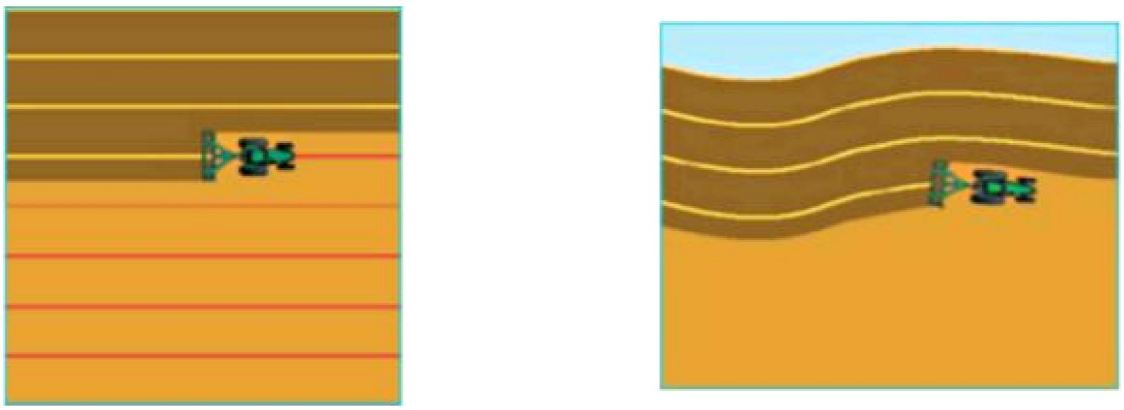


Рис. 6.1 – Паралельний рух агрегату

Яскравим прикладом вищенаведеного твердження послужить розгляд операції внесення мінеральних добрив. На рисунку 6.2 зображено схему розподілу добрив по поверхні поля. Як бачимо, тільки вірно вибраний суміжний прохід дасть рівномірну норму внесення добрив. А відхилення від рівномірної норми внесення мінеральних добрив має значний вплив на врожайність запланованої культури.

Як відомо, при русі агрегату присутні перекриття і огріхи, звідси і відхилення від норми внесення.

Системи паралельного водіння призначені в першу чергу для високоточного водіння сільськогосподарської техніки по заданому маршруту в межах поля. Головна ідея полягає в тому, щоб звести до мінімуму перекриття й пропуски між сусідніми загінками й при цьому зробити витрати тільки на обладнання й швидке навчання.

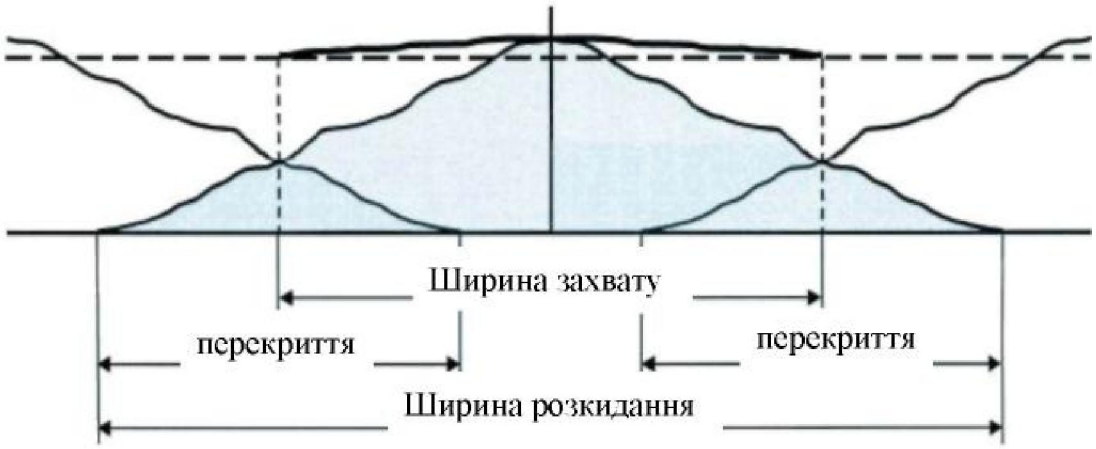


Рис. 6.2 – Співвідношення між шириною захвату розкидача та шириною розкидання добрив

Завдання, які вирішують системи паралельного водіння: - економія добрив, засобів захисту рослин, насіння, палива та інших засобів виробництва за рахунок скорочення ширини смуги подвійної обробки (смуга між двома суміжними проходами техніки);

- підвищення інтенсивності використання сільськогосподарської техніки, що є в господарстві (з'являється можливість високоякісної роботи в нічну зміну, в туман або дим) і продуктивності праці;
- паралельне водіння по приладах дозволяє поліпшити якість і оперативність виконання технологічних операцій;
- зниження втомлюваності механізатора.

За рахунок усіх вищеназваних чинників система паралельного водіння окупає себе при нормальному завантаженні трактора вже на першій технологічній операції, виконаної із застосуванням даного обладнання. Це є причиною великої популярності систем паралельного водіння останнім часом.

Як працює звичайна система паралельного водіння:

- встановлюється електронний маркер (його можна легко знімати і монтувати);
- механізатор виїжджає в поле;

- включається система паралельного водіння одним натисканням кнопки або перемиканням важеля;

- вводиться ширина захвату агрегату, встановленого на трактор (пам'ять курсопоказника дозволяє ввести цю інформацію один раз);

- електронний маркер збирає інформацію про розташування супутників (це може тривати 1-5 хвилин, якщо прилад вже включали в цій області або 5-20 хвилин, якщо засіб паралельного водіння (ЗПВ) вперше працює в даному регіоні. Як правило, про стан сигналу свідчать індикатори: червоний - занадто мало інформації, щоб визначити місце розташування і працювати, жовтий - прилад працює з точністю, що надається системою GPS, зелений - в роботі приладу враховується диференціальна поправка GPS даних. Після того, як загорівся зелений (гірше, якщо жовтий) індикатор, система паралельного водіння готова до роботи;

- механізатор фіксує точку початку руху (обробки), натиснувши на кнопку «А»;

- наприкінці гону або на відстані мінімум 30 метрів від точки «А» фіксується точка «Б»;

- комп'ютер системи паралельного водіння будує у своїй пам'яті лінію, що сполучає точки «А» і «Б». Відразу після цього електронний маркер створює в пам'яті маршрути, паралельні базовій лінії, на відстані ширини захвату агрегату (все це відбувається миттєво). Важливо зазначити, що маршрути можуть бути як кривими, так і криволінійними;

- тепер механізатор може обробляти все поле, орієнтуючись на лампочки чи карту, де фіксується напрямок і значущість відхилення трактора від маршруту, закладеного електронним маркером.

Обладнання, що використовується в при паралельному водінні агрегатів. Поняття точності позиціювання МТА

Як приклад розглянемо прилад для паралельного водіння Leica mojo Mini, країна виробник - Швейцарія

Прилад має функції системи паралельного водіння і навігатора для автомобіля з докладною картою доріг.

Характеристики приладу:

- точність роботи курсопокажчика з поправкою 15...30 см;

- чотири режими водіння (паралельне водіння по прямій, однонаправлений рух по кривій, рух по спіралі, введення напряму для здійснення руху);

- кольоровий одинадцяти сантиметровий екран дозволяє робити керування приладом шляхом натиснення на екрані пальцем або стилусом;

- розрахунок обробленої площі поля;

- повнофункціональний GPS-навігатор для автомобіля (докладна карта України, прокладка маршрутів, голосове попередження про повороти тощо);

- меню для роботи повністю переведене на російську мову;

- високоточна GPS-антена сполучається з основним блоком по бездротовому зв'язку Bluetooth (немає необхідності тягти додаткові дроти в салон трактора);

- в основному блоці приладу є акумулятор, який дозволяє приладу працювати 2 години без зовнішнього живлення;
- крім антени в основний блок вбудований GPS-приймач (для роботи автомобільного навігатора не обов'язкова зовнішня антена);
- курсопокажчик одночасно показує напрямок руху і на тривимірній карті за допомогою емулятора і лампочок на екрані дисплея відображається оброблена площа.

Система приладу складається з:
- основного блоку з вбудованим GPS-приймачем;
- кронштейну з присоскою для кріплення основного блоку;
- зарядного пристрою основного блоку;
- карти пам'яті SD;
- GPS-приймач;
- набору проводів.

На сьогодні ринок наповнений великою кількістю приладів для паралельного водіння, розглянемо деякі з них:

AgroTrek navi

Даний прилад має такі функції:

- можливість збереження обробленої площі та історії проходу по полю;
- замальовка обробленої площі іншим кольором;
- кольоровий екран 4,3";
- точний і надійний GPS приймач на базі обладнання Holux;
- прорахунок обробленої площі і пройденої відстані при водінні;
- повноцінна оригінальна система Агрометр в комплекті для виміру та обліку полів;
- голосові та екранні підказки при водінні;
- можливість повернутися до місця, де була закінчена робота і продовжити водіння;
- автомобільна навігація і карти України в комплекті;
- кріплення на лобове скло;
- зарядний пристрій від мережі (220В) і прикурювача 12В, 24В;
- можливість роботи автономно без електричної мережі (до 6 годин).

Trimble EZ-Guide 250

Можливості:

- точність проходу по сусідніх рядах: ± 20 см ;
- різні типи безкоштовної корекції;
- можливість роботи з автопілотом;
- російська мова;
- кольоровий дисплей;
- можливість запису треку на USB-флеш (формат даних: shp).

Аналізуючи наведену інформацію, можно говорити, що навігаційна система призначена для точного паралельного водіння трактора при внесенні добрив, обробці засобами захисту рослин, працює на основі прийому супутникових сигналів, встановлюється за лічені хвилини на всі типи тракторів.

Забезпечує:

- збільшення продуктивності техніки на 13-20 %;
- контроль над виконаними роботами;
- роботу на безкоштовних супутникових сигналах;
- точність 15-30 см, від гону до гону;
- сумісність з будь-якими тракторами;
- простоту і надійність у використанні;
- навчання займає не більше 15 хвилин;
- живлення від бортової мережі трактора 9-36 вольт;
- робота вночі і в будь-яких умовах видимості;
- зниження втомлюваності механізатора;
- відсутність необхідності в залученні сигнальників і сівачів.

Поняття точності позиціювання.

Основна проблема супутникової навігації мобільних сільськогосподарських агрегатів пов'язана з питанням точності визначення координат МТА в полі.

Яка потрібна точність для використання навігації в аграрному виробництві???

Точність GPS, необхідна для точного землеробства часто обговорюване питання. Чи потрібна сантиметрова точність позиціонування при картуванні урожайності кукурудзи? Можливо, достатньо точності в межах ± 5 метрів? При рекламі систем DGPS акцент робиться насамперед на точність позиціювання, що досягається при проведенні польових робіт. Провайдери сигналу диференціальної корекції встановлюють вартість своїх послуг виходячи з величини похибки, що досягається при використанні їх сигналу. При рекламуванні даних сервісів часто використовують різні абревіатури, такі як CEP, RMS і 2DRMS. Що ж насправді означає термін "точність"?

Здатність встановити місцерозташування на місцевості в межах декількох сантиметрів (“сантиметрова точність”) являється критично важливою при картуванні розташування наземних мін и фугасів, при геодезичній зйомці або при автоматизованому керуванні рульовими механізмами тракторів и комбайнів. Похибка позиціювання в межах одного метра (“субметрова точність”) прийнятна для більшості технологій точного землеробства.

Використання сантиметрової точності позиціювання при виконанні більшості агротехнічних заходів з використанням технологій точного землеробства не завжди економічно обґрунтоване. Для більшої частини сільськогосподарських машин точності позиціонування, у межах кількох метрів цілком достатньо.

Крім необхідного рівня точності позиціювання, ***ми повинні розуміти,*** що ***технічні характеристики точності GPS*** спираються на статистичні методи і термінологію, що ставиться до щільності розподілу та ймовірності.

Через властиві глобальній системі позиціювання похибки (супутник, атмосфера, приймач і т.д. - про них піде мова пізніше), навіть стаціонарний БОР8-

приймач, що видає щосекунди потік даних, не гарантує абсолютно точне позиціонування. Деякі із значень досить близькі до дійсних, інші значно від них відрізняються. Таким чином, статистика і точність позиціонування йдуть поруч.

Більшість статистичних вимірювань точності ОР8 ґрунтуються на твердженні, що похибки в позиціонуванні випадкові по своїй природі, і частота повторюваності даних помилок підлягає принципу нормального розподілу.

Одним з визначень точності, що іноді використовуються для характеристики положення нерухомої точки на місцевості, є ***круговий розподіл помилок*** (CEP). Цей термін має відношення до передбачуваних координат точки в горизонтальній площині і найкращим чином описується наступним прикладом. Уявімо, що ви перебуваєте в точці з відомими точними координатами. Якщо використати GPS-приймач для визначення координат даної точки, то при кожному з вимірів будуть отримані різні значення, що знаходяться в певних межах. Записуючи кожне з певних значень і відкладаючи їх на графіку, зрештою, ви отримаєте схему, подібну наведеній нижче. Розподіл отриманої помилки буде випадковим. Іншими словами, із 100 зафіксованих точок 50 будуть відкладені на північ від позначки з істинними координатами, і 50 будуть знаходитися південніше (те ж саме буде і з розподілом схід-захід). Розподіл координат точки, що визначені точним приймачем буде щільним навколо точки з дійсними координатами. Менш точний приймач дасть набір точок з більш широким розподілом. CEP - це найменший радіус кола, в межах якого зосереджено 50% передбачуваних координат точки, обчислених за допомогою GPS. Наприклад, якщо 50% обчислених GPS координат (протягом тривалого періоду часу) знаходяться на відстані 3 м від дійсних координат, то точність приймача буде складати 3 м CEP. Решта 50% розрахованих координат будуть знаходитися на відстані більше 3 м від дійсного місця. Якщо збирати координати в тривимірному вимірі, то термін сферичний розподіл помилки (SEP) буде описуватися сферою, всередині якої знаходиться 50% обчислюваних ймовірних координат точки.

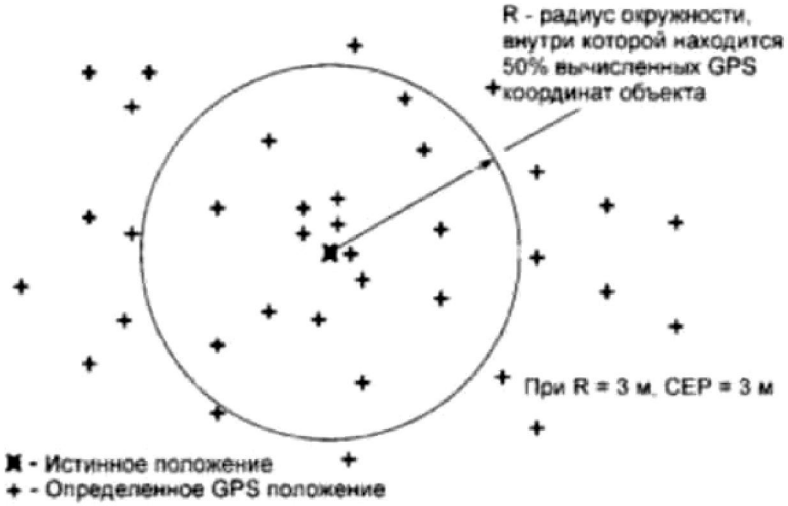


Рис. 6.3 - Круговий розподіл помилки - це коло, всередині якої знаходиться 50% очікуваних координат точки

Для характеристики точності обчислення координат навігаційними системами також використовують статистичний показник середньоквадратичного

відхилення (СКВ) вимірювань від істинних координат, який характеризує процент вимірів координат, що попали у зазначений показник точності.

Часто виможете зустріти такий термін, як RMS (корінь з квадрату середнього, позначається σ) і 2DRMS (подвоєний корінь з квадрату середнього, 2σ). Згадане скорочення RMS, приблизно еквівалентне статистичному терміну середньоквадратичне відхилення (SD). Величина SD характеризує розмах щільності розподілу. На малюнку нижче наведені дві кривих нормального розподілу: одна - з великим SD, інша - з маленьким.

Невелике значення SD характеризує щільний розподіл (більше точок знаходиться ближче до середнього, дійсного значення). І навпаки, більше 8Б означає широку дисперсію (більше точок знаходиться далі від дійсного значення).

Наприклад, якщо указано, що точність обчислення координат складає 1 метр СКВ, то це означає, що близько 68 % обрахованих координат попадає в коло радіусом 1 метр, а якщо йдеться мова про 1м 2 СКВ, то це означає, що в коло радіусом 1 метр повинно попасти близько 95 % вимірів координат, що надходять від навігаційного обладнання.

6.3. Джерела помилок та удосконалення глобальних систем позиціонування.

Незважаючи на використання вкрай складних технологій і значні фінансові витрати на створення системи GPS, її точність все дуже схильна до впливу різних джерел помилок. Деякі джерела "помилок" є невід'ємною частиною системи і їх називають системними. Вони включають:

1. Неточне визначення часу. Нібито незначні помилки у вимірі часу можуть викликати помітні помилки при визначенні координат об'єкта. Наприклад, так як сигнали супутників NAVSTAR поширюються зі швидкістю світла і дальнометрія заснована на вимірюванні часу проходження сигналу, похибка годинника в одну мілісекунду може призвести до помилки у визначенні координати в 300 км. Вона приводить до виникнення систематичної помилки визначення координат близько 0,6 м.

2. Помилки обчислення орбіт. Супутники знаходяться на високій орбіті, і атмосфера Землі не може чинити на них впливу. Однак такі явища природи, як сила гравітації Місяця і Сонця, так само як і тиск сонячної радіації ("сонячний вітер"), створюють незначні помилки у визначенні висоти орбіти супутників, їх координат і швидкості. З часом ці помилки накопичуються, стаючи більш суттєвими.

З'являються неточності прогнозу і розрахунку ефемерид супутників, що виконуються в апаратурі приймача. Ця погрішність також носить систематичний характер і приводить до помилки вимірювання координат близько 0.6 м.

3. Багатошляховість розповсюдження сигналу. З'являється в результаті вторинних віддзеркалень сигналу супутника від крупних перешкод, розташованих в безпосередній близькості від приймача. При цьому виникає явище інтерференції, і зміряна відстань виявляється більшою дійсної. Аналітично дану похибку оцінити достатньо важко, а найкращим способом її компенсації є раціональне розміщення антени приймача щодо перешкод. В результаті

дії цього чинника помилка визначення псевдодальності може збільшитися на 2,0 м.

4. Іоносферні затримки сигналу. Іоносфера - це іонізований атмосферний шар в діапазоні висот 50 - 500 км, який містить вільні електрони. Наявність цих електронів викликає затримку розповсюдження сигналу супутника, яка прямо пропорційна концентрації електронів і обернено пропорційна квадрату частоти радіосигналу. Для компенсації виникаючої при цьому помилки визначення псевдодальності використовується метод двочастотних вимірювань на частотах L1 і L2 (у двочастотних приймачах). Лінійні комбінації двочастотних вимірювань не містять іоносферних похибок першого порядку.

Наша атмосфера уповільнює і переломлює (відхиляє) радіосигнали з супутників. Ці затримки в основному відбуваються в іоносферній оболонці Землі, що складається з електрично заряджених частинок на висоті 80-400 км над поверхнею планети.

Моделювання впливу іоносфери зазвичай дозволяє врахувати тільки 50% помилки. Вплив іоносфери пропорційний концентрації електронів в іоносфері і квадрату частоти GPS сигналу. Саме через це були розроблені двох частотні GPS-приймачі, здатні розрахувати передбачуваний Р-код для кожного з сигналів, L1 і L2, для того, щоб визначити вплив іоносфери. Двочастотні приймачі більш точні в порівнянні з одночастотними через послаблення впливу іоносфери на точність визначення координат.

Крім того, для часткової компенсації цієї похибки може бути використана модель корекції, яка аналітично розраховується з використанням інформації, що міститься в навігаційному повідомленні. При цьому величина залишкової немодельованої іоносферної затримки може викликати похибку визначення псевдодальності близько 10 м.

5. Тропосферні затримки сигналу. Тропосфера - самий нижній від земної поверхні шар атмосфери (до висоти 8 - 13 км). Вона також обумовлює затримку розповсюдження радіосигналу від супутника. Величина затримки залежить від метеопараметрів (тиску, температури, вологості), а також від висоти супутника над горизонтом. Компенсація тропосферних затримок проводиться шляхом розрахунку математичної моделі цього шару атмосфери. Необхідні для цього коефіцієнти містяться в навігаційному повідомленні. Тропосферні затримки викликають помилки вимірювання псевдодальностей в 1 м.

6. Геометричне розташування супутників.

На точність визначення координат за допомогою GPS і DGPS впливати також і розташування (геометрія) супутників в просторі. "Гарний" розподіл супутників означає, що вони рівномірно розташовані на небсхилі. Точки перетину уявних сфер легко встановити, коли відстежуються супутники широко розкидані в просторі. "Поганий" розподіл супутників означає, що вони щільно зосереджені в якійсь певній ділянці небосхилу в межах прямого пройму GPS-приймача. Якість геометрії супутників і величина похибки позиціонування описуються терміном геометричне пониження точності (GDOP).

7. Існує ще одне ***штучне джерело помилок*** - так звана селективна (виборча) доступність (S/A). Це технологія, що використовується міністерством оборони

США з метою перешкоджання більшості цивільних користувачів в повній мірі використовувати точність системи GPS. У сигнал супутників вводиться випадкова помилка. 2 травня 2000 року використання S/A було завершене. Уряд США не має наміру надалі використовувати S/A з тієї причини, що існують інші методи запобігання використанню GPS проти самих же збройних сил США. Проте досі GPS супутники мають можливість впроваджувати S/A свій сигнал. Помилка може сягати 100 м.

8. Інструментальна помилка приймача Обумовлена, перш за все, наявністю шумів в електронному тракті приймача. Відношення сигнал/шум приймача визначає точність процедури порівняння прийнятого ССЗ і опорного сигналів, тобто похибка обчислення псевдодальності. Наявність даної похибки приводить до виникнення координатної помилки близько 1,2 м.

Удосконалені системи позиціонування

Точність (Accuracy) визначення координат, безперечно, є найважливішим параметром ГСП. Як правило, в характеристиках виробу вона указується для горизонтальних координат і досить рідко - для висоти.

Для подальшого підвищення точності визначення координат необхідне введення додаткових поправок і вдосконалених алгоритмів. Одним з таких алгоритмів є Differential ГСП (ДГСП) коли використовуються координати від двох ГСП-приймачів, одного - робочого, другого - еталонного (стаціонарно встановленого в місці, координати якого заміряні з високою точністю), і обидва пеленгують ГСП-супутники в один і той же проміжок часу, що дає можливість обчислити поправку і довести точність визначення координат до 0,5… 3 метрів. Так, наприклад, діє служба берегової охорони США, яка має мережу башт, що приймають сигнали ГСП і передають скоректовані сигнали за допомогою маякових (beacon) передавачів.

Одним з рішень, що підвищує точність позиціонування систем GPS і ГЛОНАСС на земній поверхні або в навколоземному просторі, є супутникова система диференціальної корекції, що забезпечує певну територію даними диференціальних поправок, що транслюються з геостаціонарного супутника. На сьогоднішній день створено три таких супутникових системи, що транслюють диференційний сигнал вільного доступу, які отримали загальну назву SBAS - Space Based Augmentation System ("Уточнюючі" системи космічного базування).

Роботу системи широкозонного диференціального сервісу можна представити таким чином. Базові станції моніторингу системи (RIMS) визначають координати кожного супутника диференціальної корекції, а також здійснюють безперервне спостереження за всіма супутниками NAVSTAR. Далі станції RIMS передають накопичену інформацію на контрольні станції системи (МСС). На станціях МСС формуються диференціальні поправки і відбувається обчислення точності сигналів навігаційних систем прийнятих усіма станціями моніторингу та похибок визначення їх координат внаслідок впливу іоносфери. Потім обчислені поправки передаються на навігаційні станції передачі даних, рівномірно розташовані на території, що обслуговується. Ці станції використовуються для закладки навігаційної інформації та управління геостаціонарними

супутниками. Після цього поправки передаються на геостаціонарні супутники і стають доступні користувачам GPS-приймачів на частоті L1 GPS з модуляцією і кодуванням за зразком GPS-сигналу. Сигнали є безкоштовними і приймаються практично усіма GPS приймачами, включаючи кодові (навігаційні). Ці системи допомагають підвищити точність позиціонування до ± 1… 5 м в плані, що цілком достатньо для задач навігації.

Система WAAS - це перша супутникова система диференціальної корекції вільного доступу на території США. В даний час система WAAS забезпечує диференціальним сервісом території Канади і Мексики і значну частину акваторії Тихого Океану.

Система WAAS містить більше 20 базових станції (WRS), розташованих на всій території Сполучених Штатів. Кожна їх станція обладнана GPS апаратурою і спеціальним програмним забезпеченням, призначеним для прийому GPS сигналів, аналізу отриманих вимірювань, обчислення помилок іоносфери, відхилень траєкторій і годин супутників. Ці дані передаються на центральну станцію управління (Master Station - WMS), де повторно обробляється і аналізуються з урахуванням вимірів, отриманих з усіх базових станцій мережі. Потім коригувальна інформація передається на геостаціонарні супутники і вже звідти ретранслюються користувачам.

Система EGNOS

Починаючи з 1993 року була запущена програма EGNOS спрямована на поліпшення роботи систем GPS на території Європи.

Система EGNOS забезпечує підвищення точності GPS- позиціонування до ± 1-5 м на території країн Західної та Центральної Європи, акваторії Середземного моря і частини акваторії Атлантичного океану. На територіях країн Східної Європи система EGNOS працює в тестовому режимі, прийом сигналу нестабільний. На території України прийом сигналів EGNOS можливий, з поступовим погіршенням його якості у міру переміщення від західних областей до східних. В результаті користувачі на території Європи одержать точність в межах 1-4 м, тобто в 3--6 рази вищу, ніж тепер.

Більш досконалі методи визначення місцезнаходження МТА в полі базуються на застосуванні ***гіроінерціальних приладів і комбінацій приладів з ГСП,*** процесорних систем та гірокомпасів. Гірокомпаси дозволяють виконувати операції не тільки з визначення координат, але і навігації мобільних об'єктів, тобто спрямовувати їх по необхідній, наперед заданій траєкторії руху. Точність роботи гіроінерціальних приладів підвищується, коли відомі координати опорних (реперних) точок від яких вираховується абсолютна позиція МТА, а також коли використовуються системи коригування показників гірокомпасів з використанням каналів супутникової навігації.

Покращення технічних характеристик систем позиціонування відбувається також шляхом підвищення тактової частоти передачі навігаційної інформації від датчиків координат до, наприклад, бортового комп’ютера, а також шляхом використання так званих фазових датчиків координат. Це дозволяє зробити кроки в напрямку переходу від макро-технологій ТЗ до мікро-технологій, тобто технологій з розв'язанням просторової задачі на субметровому рівні. Особливо-

го поштовху до цього надають тенденції прискореного розвитку технологій реального часу кінематичного (РЧК) ДГСП. На світовому ринку ГСП-технологій відмічається значне збільшення номенклатурного ряду та кількості подібного обладнання.

Сканування та аналіз ґрунту; технології метеомоніторингу

Ґрунти - самостійне історично сформоване органо-мінеральне природне тіло, що виникло на поверхні Землі в результаті тривалого впливу біотичних, абіотичних і антропогенних факторів. Складається з твердих мінеральних і органічних частинок, води і повітря, і має специфічні генетично-морфологічні ознаки, властивості, що створюють для росту і розвитку рослин відповідні умови.

Вперше термін ***«моніторинг»*** (від англ. monitoring – той, що спостерігає, наглядає, нагадує) з'явився на початку 70-х років XX століття на конференції ООН з охорони навколишнього середовища (Стокгольм, 5-16 червня 1972 р.), де було запропоновано організувати систему повторних спеціальних спостережень за станом навколишнього природного середовища у просторі та часі за спеціально підготовленою програмою.

З часів появи терміну, по мірі ускладнення екологічних проблем, система моніторингу довкілля незмінно удосконалювалась та трансформувалась. Цей процес продовжується і по цей час.

Моніторинг (за Манном) – це система повторних спостережень одного чи більше елементів навколишнього природного середовища у просторі та часі з визначеними цілями у відповідності до заздалегідь підготовленої програми.

Відповідно до цього визначення Манн Р.І. основною метою системи моніторингу є проведення спостережень за станом навколишнього природного середовища. Це лише одне з багатьох визначених та сформованих історично термінів, які складають основну базу для складання поняття моніторингу.

Реймерс М.Ф. ускладнив поняття та придав йому більш вузьке значення, поставив у центр поняття людину. Так, за Реймерсом М.Ф., моніторинг навколишнього (людини) середовища – це слідкування за станом навколишнього природного середовища та попередження про критичні ситуації, шкідливі або небезпечні для здоров'я людей та інших живих організмів.

Відповідно до Положення Кабінету Міністрів України «Про державну систему моніторингу довкілля» від 30 березня 1998 р. №391, ***державний моніторинг довкілля*** – це система спостережень, збору, обробки, передачі, збереження, аналізу й оцінки інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розробка науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень.

Моніторинг ґрунтів - це система спостережень за станом ґрунтового покриву, у тому числі ґрунтів, розташованих у зонах радіоактивного та інших забруднень, з метою своєчасного виявлення змін, їх оцінки, відвернення й ліквідації наслідків негативних процесів.

Ідея моніторингу ґрунтів походить з Америки (США, Канада), де в рамках державної служби ґрунтів, як самостійної державної організації, виступають

переважно у дві функції управління земельними ресурсами: ***організація земельного кадастру*** та ***державний контроль за використанням й охороною земель***.

<u>Моніторинг ґрунтів складається</u> із систематичних спостережень за станом ґрунтів (зйомки, обстеження, вишукування), виявлення змін, а також оцінки:

- стану використання угідь, полів, земельних ділянок;
- процесів, пов'язаних із зміною родючості ґрунтів (розвиток водної та вітрової ерозії, втрата гумусу, погіршення структури ґрунту, заболочення та засолення та ін.), заростання сільськогосподарських угідь, забруднення фунтів пестицидами та іншими токсичними речовинами;
- стану берегових ліній річок, озер, морів, заток, лиманів, водосховищ, гідротехнічних споруд;
- процесів, пов’язаних з утворенням ярів, зсувів, сольовими потоками, карстовими, кріогенними та іншими явищами;
- стану ґрунтів населених пунктів, територій, зайнятих очисними спорудами, гноєсховищами, складами пально-мастильних матеріалів, добрив, гноєсховища, стоянками автотранспорту, захороненням токсичних промислових відходів і радіоактивних матеріалів, а також іншими промисловим об'єктами.

Залежно від терміну та періодичності проведення ***спостереження за станом ґрунтів поділяються*** на:

- базові - відомості, що фіксують стан об'єкта спостережень на момент початку ведення моніторингу земель;
- періодичні - через рік і більше;
- оперативні - фіксують поточні зміни.

Основним завданням моніторингу ґрунтів є формування і підтримання на сучасному рівні системи інформації про стан ґрунтового покриву, залучення його у господарське або інше використання на певній території, а саме про зміни у стані ґрунтів, викликаних антропогенними діями.

Для виконання цього завдання проводиться оцінка екологічного стану ґрунтів у такій послідовності:

- збирання інформації про стан ґрунтів за спеціальним переліком показників;

- створення банку даних;
- аналіз та обробка інформації;
- порівняння фактичних параметрів з нормативними;
- групування ґрунтів за категоріями згідно з нормативами (агровиробниче ґрупування);
- розробка заходів регулювання, адекватних екологічному стану ґрунтів із визначенням площ.

Інформацію про стан ґрунтового покриву області можна отримати у таких організаціях, як:

- обласні філії інституту землеустрою УААН;
- станції хімізації сільського господарства;
- санепідемстанції;
- управління екології та охорони природи;
- управління земельних ресурсів;
- управління лісового господарства;
- гідрогеологічні та гідромеліоративні експедиції;
- облводгоспи та центри комплексного використання водних ресурсів. ***Об'єктом моніторингу ґрунтів*** є весь ґрунтовий покрив країни,

незалежно від форми власності на землю, тобто територій землі, які піддаються антропогенному впливу (залученню людиною у господарське або інше використання).

Моніторинг ґрунтів відрізняється від даних земельного кадастру інформаційним забезпеченням управління земельними ресурсами, тобто фіксацією перевищення встановлених допустимих норм антропогенного навантаження і несприятливих (критичних) ситуацій у використанні й охороні ґрунтів щодо фонового (стандартного)значення.

Під час моніторингу особливе значення надається контролю родючості ґрунтів за такими параметрами:

- зміни запасів гумусу;
- зміни pH ґрунту (кислотності, лужності);
- зміни вмісту мікроелементів у ґрунті;
- деградація ґрунту на пасовищах (ущільнення, закупорення та ін.);
- підтоплення земельних угідь, заболочення і перезволоження земель, засолення ґрунтів, заростання угідь чагарниками;
- забруднення ґрунту пестицидами, важкими металами, хімічними та радіоактивними елементами та іншими токсикантами;
- зміни стану меліорованих земель (іригаційна ерозія, вторинне засолення, заболочення, надмірне осушення та ін.).

Залежно від призначення, моніторинг ґрунтів поділяється на загальний, оперативний і фоновий.

Загальний, або базовий чи стандартний, моніторинг - це оптимальні за кількістю параметрів спостереження за використанням та охороною ґрунтів, об'єднаних у єдину інформаційно-технологічну мережу, які дають змогу на основі оцінки і прогнозування стану земельних ресурсів розробляти необхідні управлінські рішення.

Загальний, або базовий чи стандартний, моніторинг - це оптимальні за кількістю параметрів спостереження за використанням та охороною ґрунтів, об'єднаних у єдину інформаційно-технологічну мережу, які дають змогу на основі оцінки і прогнозування стану земельних ресурсів розробляти необхідні управлінські рішення.

Оперативний, або кризовий, моніторинг ґрунтів - це спостереження за спеціальними показниками цільової мережі пунктів-стаціонарів за окремими об'єктами підвищеного екологічного ризику в окремих регіонах, які визнані зонами надзвичайної екологічної ситуації, а також в районах аварій із шкідливими екологічними наслідками з метою забезпечення оперативного реагування на кризові ситуації та прийняття рішень щодо їх ліквідації, створення безпечних умов для населення.

Фоновий, або науковий, моніторинг ґрунтів - це спеціальні спостереження за всіма складовими екосистеми "земля", а також за характером зміни складу угідь, процесами, пов'язаними із змінами родючості ґрунтів (розвиток ерозії, втрата гумусу, погіршення структури ґрунту, заболочення та засолення), міграцією забруднених речовин тощо. З його допомогою встановлюються джерела чи причини, які зумовлюють деградацію ґрунтів.

На сучасному етапі значний обсяг інформації, велика кількість факторів, що впливають на формування врожаю, складність взаємозв'язків систем у сільськогосподарському виробництві дедалі більше утруднюють вибір спеціалістом оптимального рішення. Тому дуже важливо надати в розпорядження спеціаліста інструментарій, використання якого допомагало б розробляти точні й своєчасні рекомендації (технологічні дії) відповідно до конкретних умов виробництва, стану ґрунту, посівів тощо.

При проведенні ґрунтового обстеження, вмісту необхідних для росту і розвитку сільськогосподарських культур елементів живлення зазвичай приділяється найбільша увага.

Рослини отримують більшу частину елементів живлення з ґрунту.

Під ***родючістю ґрунту*** розуміють її забезпеченість елементами живлення, доступними для використання рослинами. Рослинам для оптимального розвитку необхідно велика кількість елементів живлення в різних кількостях. Ґрунти містять елементи живлення в різних формах, деякі з них є недоступними для рослин.

Наприклад, ґрунти з високим вмістом карбонату кальцію зазвичай характеризуються низькою забезпеченістю рухомими формами фосфору. Причиною цього є швидке зв'язування доступного фосфору і переведення його в недоступну для більшої частини рослин форму трикальційфосфату.

У цьому випадку, незважаючи на значний вміст загального фосфору, ґрунт характеризується низьким вмістом доступного фосфору.

Метою проведення ґрунтового обстеження є виявлення ґрунтових факторів, що є лімітуючими для росту рослин і отримання адекватного витратам врожаю.

Основними елементами мінерального живлення рослин, які надходять ґрунту, є:

• азот (N);
• фосфор (P);
• калій (K).

Інші елементи, іноді вносяться в ґрунт у вигляді добрив, часто називаються:
• Вторинними елементами живлення;
• Мікроелементами.

Азот (N). Для багатьох культур оптимальне забезпечення мінеральним азотом є вирішальним фактором отримання високого врожаю.

Калій (К) виконує функції, пов'язані з властивостями клітинних розчинів рослин. Це елемент, який відповідає за транспорт поживних речовин через рослинні тканини.

Фосфор (Р) є важливим елементом, від наявності якого залежить якість формування та розвитку генеративних частин рослин. Зазвичай значні кількості фосфору накопичуються в насінні і плодах. Даний елемент вкрай необхідний для отримання якісного посівного матеріалу.

Вторинні поживні елементи включають **кальцій (Ca)**, **магній (Mg)** і **сірку (S)**. Кальцій стимулює розвиток кореневих систем, стебел і листя, покращує загальний стан рослин і стійкість до хвороб. Магній необхідний для синтезу хлорофілу. Він також відповідає за формування важливих рослинних компонентів, таких як цукру, крохмаль і жири. Сірка міститься в протоплазмі всіх живих рослинних клітин. Наявність адекватних кількостей сірки необхідно для синтезу білків, активного росту і розвитку, стійкості рослин до знижених температур.

Однією з найважливіших умов отримання запланованої врожайності є кваліфіковане проведення ґрунтового обстеження на вміст доступних форм поживних елементів і **pH** ґрунтового розчину.

pH характеризує величину кислотності ґрунтового розчину. Низькі величини **pH** вказують на те, що в ґрунтовому розчині міститься велика кількість іонів водню (H^+), Тобто ґрунт має високу кислотність. Ці іони здатні взаємодіяти з поживними речовинами ґрунту і переводити їх у малодоступні для рослин форми. Для нейтралізації низькою pH необхідно проводити вапнування ґрунту.

Забезпеченість **поживними речовинами** і величина **pH** всього два з багатьох факторів, що впливають на врожайність сільськогосподарських культур. Фермери повинні оцінювати й інші, не менш важливі є характеристики ґрунтового покриву при використанні технологій точного землеробства. Нижче наведено перелік деяких з ґрунтових характеристик, що впливають на продуктивність культур:
• Вміст у ґрунті органічних речовин (ОР);
• Гранулометричний склад (вміст фізичного піску і фізичної глини);
• Структура - щільність і розпушеність;
• Ємність обмінних катіонів (ЄОК);
• Топографія місцевості і ухил;
• Система обробки ґрунту;

• Дренаж;
• Потужність гумусного шару;

Концепція неоднорідності За своїми біологічними, хімічними, фізичними властивостями ґрунт у природних умовах поля неоднорідний як для великих площ, так і в межах одного конкретного поля. Відповідно до викладеного можна дійти висновку: якщо замість середніх (інтегрованих) норм розподілу технологічних матеріалів (ТМ) (добрив, засобів захисту рослин, насіння) користуватись адаптованими (диференційованими) до кожної ділянки поля, можна досягти, якщо не збільшення врожайності, то у крайньому разі, гарантувати той самий рівень при зниженні матеріальних витрат. Адаптація технологічних операцій відповідно до особливостей ґрунтових умов у межах окремо взятої елементарної ділянки обумовлює не лише економічні, а й екологічні вигоди процесу виробництва сільськогосподарської продукції.

Ведення господарства відповідно до потенціалу окремої ділянки вимагає наявності точних базових даних про реальний стан ґрунту: запаси поживних речовин, кислотність, вміст гумусу та інших показників.

Основним методом встановлення реального стану ділянки є агрохімічний аналіз ґрунту. Проте важливу роль у встановленні потенціалу ділянки має не лише якість проведення аналізу, а й якість відбору ґрунтових зразків: кількість одиничних проб, їх розміщення на площі ділянки та встановлення положення точок відбору.

Види моніторингу ґрунтів та угідь:

1) Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) - віддалений моніторинг за допомогою обладнання, що встановлене на пілотованих та безпілотних космічних об'єктах;

2) Моніторинг стан ґрунту і рослин на різних стадіях їх росту з повітря за допомогою пілотованих та безпілотних літаків, гелікоптерів, повітряних куль тощо;

3) Близький моніторинг за допомогою об'єктів наземного базування.

Недоліки дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

В даний час застосування даних ДЗЗ для вирішення практичних сільськогосподарських завдань знаходиться в початковій фазі свого комерційного використання.

Це пов'язано, перш за все, з **високою вартістю** даних ДЗЗ і **низькою достовірністю** інформації, через те що процес реєстрації змін параметрів електромагнітного випромінювання екстер'єрних та інтер'єрних характеристик поля залежить від цілого ряду факторів, таких як:

- зміна оптичних властивостей грунту, які залежать від типу грунту, його вологості, наявності на поверхні рослинних решток та стан їх перегнивання, ступеня і виду обробітку грунту;
- зміна оптичних властивостей фітоценозів протягом вегетаційного періоду;
- зміна екстер'єрних характеристик фітоценозів - густина стояння рослин, площа покриття ґрунту рослинами, площа листової поверхні, орієнтація елементів рослин до сторін світу;

- природно-кліматичні умови зйомки;
- стан атмосфери за характером розсіювання випромінювання, що обумовлено наявністю і розмірами присутніх в атмосфері частинок (пилові частинки, молекули газів, аерозолі, краплі води тощо);
- просторові умови зйомки: висота зйомки, кут розташування оптичної вісі приладу до горизонту, співвідношення прямої і розсіяної радіації, час зйомки (розташування сонця), тощо.

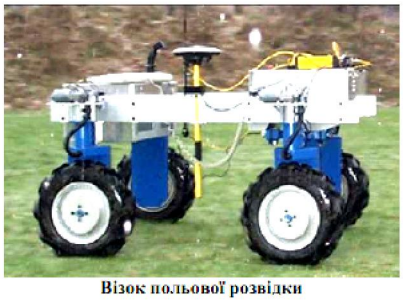
Є всі підстави вважати, що у міру появи супутникових систем нового покоління (з вищим просторовим і тимчасовим дозволом) і з виходом все більшої кількості компаній на ринок надання послуг ДЗЗ, ситуація на ринку технологій ТЗ мінятиметься убік більш широкого їх застосування.

Методи близького моніторингу:

1) Традиційний (ручний відбір проб + лабораторний аналіз);
2) Автоматизовані засоби збору місцевизначеної інформації;
3) Вимірювання місцевизначених параметрів в реальному часі в безперервному або циклічному режимах.

4.2. Прилади для моніторингу ґрунтів і угідь.

Автоматизовані засоби збору місцевизначеної інформації



Візок польової розвідки

Автоматизовані засоби BPEG 90 фірми Fritzmeier (Німеччина) Concord 9300 фірми Satcom (США) відбору проб грунту.

Начіпний гідрофікований пробовідбирач

Протокол № 01-12-05-2

УкрНДІПВТ ім. Л Погорілого

вул. Інженерна, 5, смт Дослідницьке, Васильківського р-ну., Київської обл.

Тел.: 04471 7 24 35; 3 34 53

Результати випробувань:

Агрегатування	трактор класу 0,6 – 1,4
Максимальна глибина відбору, м	до 1
Контроль глибини відбору	візуально
Час відбору одного зразка, сек	50
Привід від вала відбору потужності	

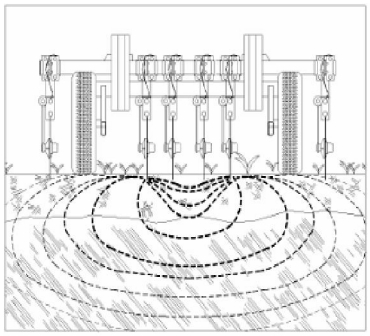
Особливості конструкції

Робочий орган – товстостінна труба з звуженою ріжучою частиною

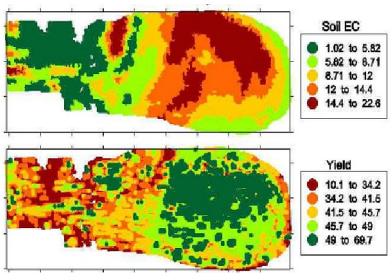
Перспективним напрямком вважається розробка датчиків для визначення фізико-хімічних властивостей ґрунту на ходу.

Використання датчиків для визначання параметрів ґрунту на ходу

Вимірювання електропровідних властивостей грунту за допомогою обладнання компанії Soil Doctor (США).

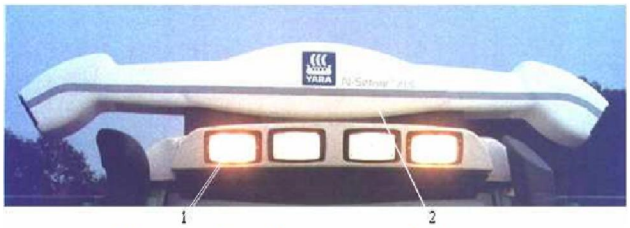


Система Veris 3100 для картографування електропровідних властивостей грунту.

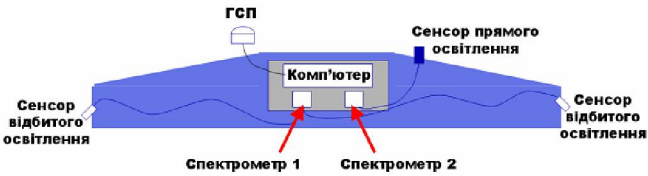


Картограми електропровідності (зверху) та рівня місцевизначеної врожайності пшениці (за даними компанії Veris)

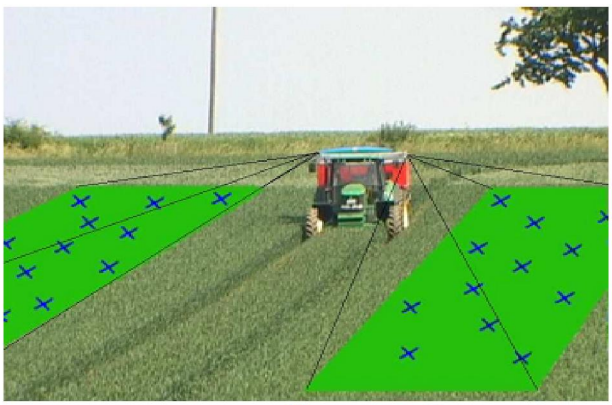
Визначення кількості азоту в ґрунтовому середовищі по кольору біомаси рослин



N- сенсор: 1- кабіна трактора; 2- N- сенсор.



N-Sensor ALS компанії YARA GmbH & Co (Німеччина)



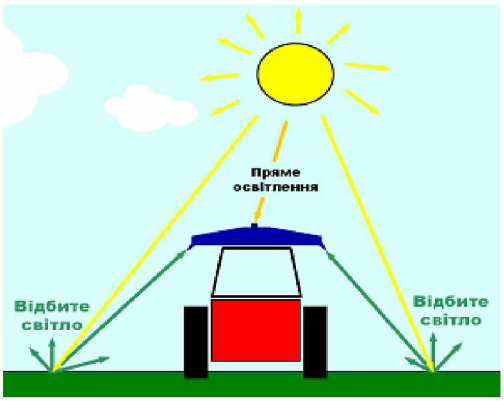
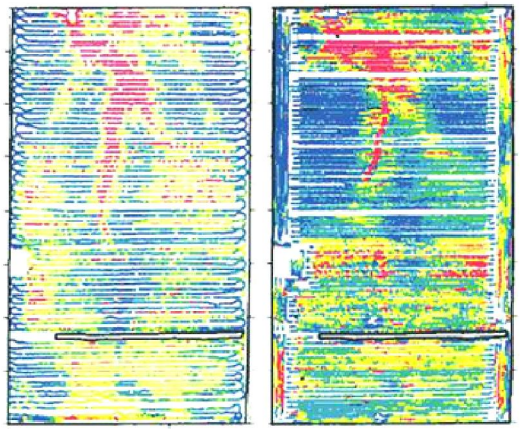


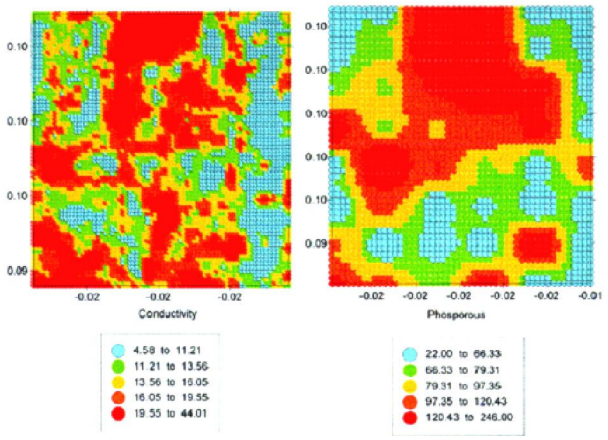
Схема обстеження стану рослин

За останні 10-15 років електричні і електромагнітні системи набули великої популярності.



Взаємозалежність між картограмою електропровідних властивостей

ґрунту (зліва) та місцевизначеною врожайністю пшениці



Картограми електропровідних властивостей ґрунту, що виміряні приладом Veris 3100 Sensor (зліва) та вмісту фосфору в ґрунті (справа), що визначені за геовизначеними пробами ґрунту.

Недоліками картограм електропровідності є їх залежність від вологості, засоленості, вмісту органічних речовин і інших параметрів, що можуть змінюватись незалежно від текстури.

4.3. Методи відбору проб.

Чинні методики відбору ґрунтових зразків, розраховані на широке застосування ручної праці, прив'язування до місцевості за допомогою орієнтирів, мають низьку точність визначення місцеположення та високі витрати праці.

Однією з альтернатив у проведенні відбору ґрунтових зразків є використання ***глобальної системи позиціонування*** (ГСП), яка вже широко застосовується в різних регіонах діяльності людини.

У більшості наук працює правило: не можливо керувати будь-яким об’єктом, чи процесом, не маючи інформації про його поточний стан. Ми ж на даний час оремо, сіємо, підживлюємо та захищаємо практично всліпу, не маючи інформації про реальний агрохімічний та агрофізичний стан поля. Районні лабораторії не працюють, а більшість господарств по 10…12 років не обстежували свої угіддя.

Розв’язок кожної науково-технічної задачі починається із збору фактів і результатів наукових спостережень і вимірювань. Тому для забезпечення високої достовірності прийняття рішень в технології точного землеробства необхідно, в першу чергу, зібрати інформацію про стан ґрунтів: вміст поживних речовин, щільність ґрунту та структурно агрегатний склад, реальна та прогнозована вологість на час обробітку, тощо.

На даний час використовують два основних методи вибірки ґрунту на аналіз:

- метод "сітки";
- метод "типу ґрунту".

Метод сітки. Здійснення методу сітки засновано на розподілі поля на прямокутники чи квадрати розміром 0,3-1 га. Фермер робить вибірку з кожного осередку і посилає проби в лабораторію для аналізу. Ціль цього підходу оцінити потребу в питомих речовинах ґрунту в масштабі менше ніж усе поле. Можна використовувати два способи для здійснення методу сітки:

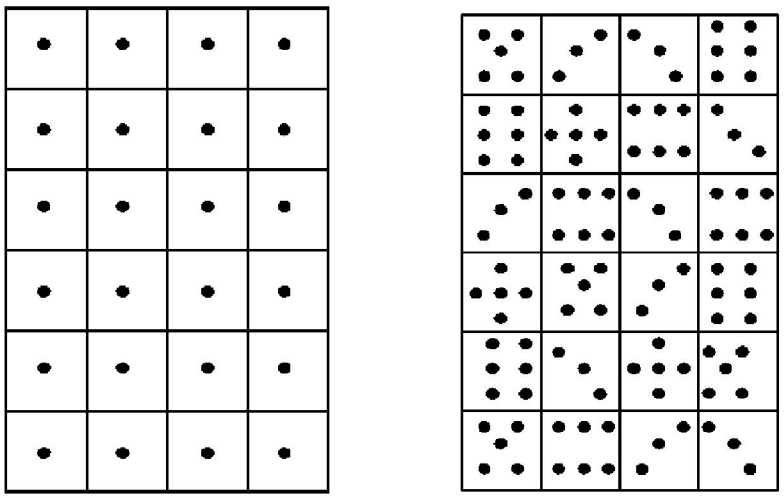
- спосіб центру сітки;
- спосіб осередку сітки.

Ціль методу центра сітки полягає в тому, щоб виміряти рівні питомих речовин у центрі осередку сітки. При здійсненні вибірки, використовують ГСП системи, щоб точно визначити центр кожної комірки сітки при проході через поле. Після досягнення центра осередку сітки береться проба ґрунту і записуються координати (рис. 4.1, а).

Метод осередку сітки дуже подібний попередньому за винятком того, що кожна комірка сітки розбивається на набагато менші частини, де беруться проби ґрунту і після їх лабораторного аналізу дані усереднюються (рис. 4.1, б). Тобто, кілька вибірок з середини кожного осередку об'єднані в одну складену вибірку осередку. Таким чином, обробляється весь осередок сітки в припущенні однакових властивостей ґрунту.

Здійснення методу "Тип ґрунту". Основою до цього методу є вибірки відповідно до типу ґрунту. Фермер робить ті ж самі процедури вибірки, що описані вище, однак, замість сліпого використання однорідної сітки, він використовує оглядові карти ґрунту, щоб вибрати розташування вибірок. Кілька вибірок об'єднані з кожної області різного типу ґрунту. Цей метод здійснюється по вибірках з різних областей поля.

Значні позитивні зміни в галузі відпрацювання технічних засобів вітчизняної СТЗ за останній час сталися завдяки зусиллям фахівців Національного аграр ного університету, які спільно з компанією "Сатурн дейта інтернейшнл" створили програмно-технічний комплекс цілісної системи практичного застосування СТЗ.



а) *б)*

Рис. 4.1 - Схеми вибірки проби ґрунту: а) – вибірка у центрі осередку сітки; б) – можливі варіанти розміщення точкових проб для формування змішаної проби

До структури автоматизованої системи, яка дозволяє виконувати всі основні види робіт, що потрібні для технологій точного землеробства, входять:

- модуль збирання та реєстрації польових даних "Алмаз-1";
- модуль реалізації електронних картограм внесень технологічних матеріалів "Алмаз-2";
- універсальний програмний модуль роботи з місцевизначеною інформацією "Алмаз-Офіс".

Спеціалістами УкрНДІПВТ імені Леоніда Погорілого та ЦНДІ НДУ на рівні дослідного зразка, комплекту конструкторської та програмно-технічної документації створено програмно-технічний комплекс для експрес-аналізу ґрунтів ПТК "АГРОТЕСТ"', призначений для агрохімічного обстеження сільськогосподарських угідь, функціональна схема якої представлена на рис. 4.2.

ПТК “АГРОТЕСТ” включає пересувні лабораторії “АГРОТЕСТ-А” та “АГРОТЕСТ-Б”.

Оригінальним технічним рішенням пересувної лабораторії "АГРОТЕСТ-А" є конструкція пробовідбірної труби; розробленої В. О. Ковтуненком, яка, за маси 4-колісного мотоцикла ЗИМ 350М в 450 кг і потужності двигуна в 11 кВт, забезпечує надійний відбір ґрунтових проб на глибину до 40 см без будь-яких турбот і додаткових навантажень багажних відділень мотоцикла (рис. 4.3).

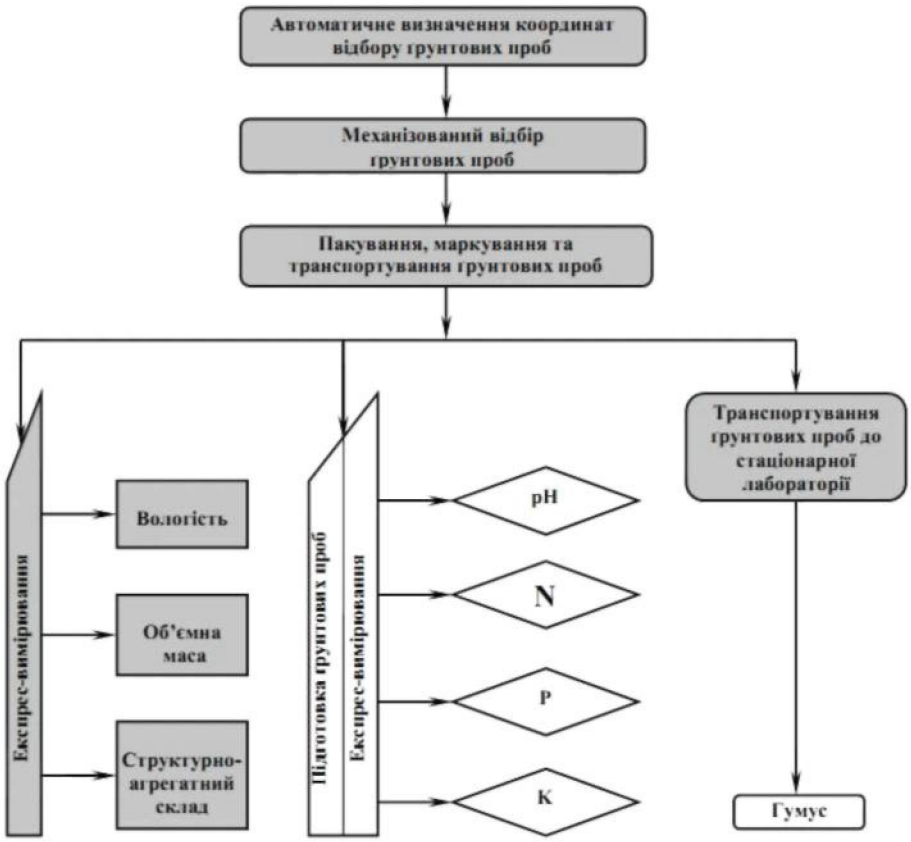


Рис. 4.2 - Функціональна схема пересувної лабораторії “АГРОТЕСТ”

Проведені випробування і практичне застосування комплексу показало не лише його працездатність, а й переваги, порівняно з чинними технологіями відбору ґрунтових зразків, зокрема вищу продуктивність та точність при нижчих витратах праці.

Рис. 4.3 - Загальний вигляд пересувної лабораторії “АГРОТЕСТ-А”

Технологія відбору ґрунтових зразків складається з таких операцій: об’їзду поля по периметру і занесенням цифрової карти поля в комп’ютер; вибору точок відбору проб ґрунту; занесення точок відбору проб на карту поля (рис. 4.4).

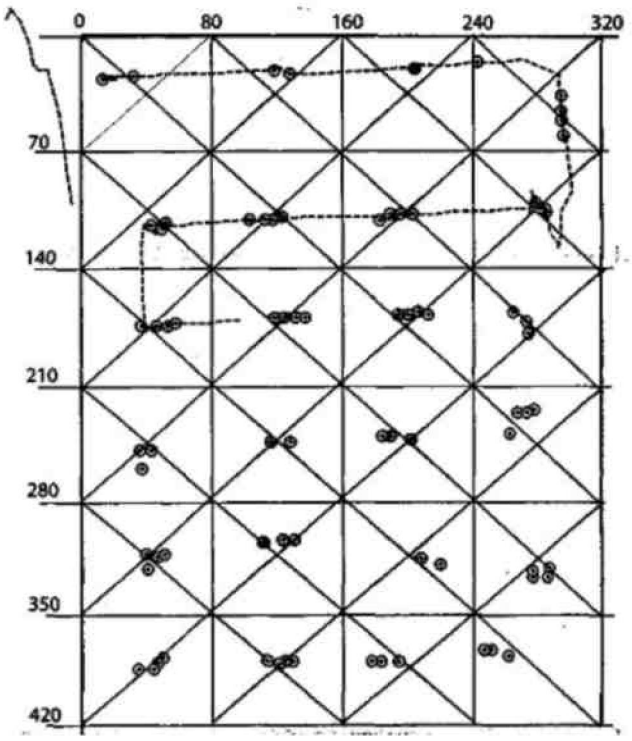


Рис. 4.4 - Контури поля та модель плану-завдання відбору проб

Одним з важливих аспектів ефективності застосування комплексу є проблема вибору оптимальної площі елементарної ділянки, оскільки її розмір впливає на точність характеристики агрофону та вартість її проведення. Сучасні супутникові навігаційні системи дозволяють визначати координати місцезнаходження агрегату в полі з точністю 1 -3 м. Для сільськогосподарських робіт це достатня точність, а от великі похибки зводять нанівець всю роботу.

Точність відображення вмісту поживних речовин залежить від кількості точок відбору проб і алгоритму апроксимації. Чим більше точок відбору проб, тим більша точність апроксимації. Для поля розміром 100 га, наприклад, необхідно взяти близько 40 проб. При чинних цінах на хімічні аналізи (приблизно 30-50 грн. за 1 пробу за 3-5 основні показники) це становить додатково 22-30 грн./га, враховуючи витрати на відбір. Це невеликі витрати, проте надана інформація дає змогу заощадити до 30 % добрив при отриманні стабільного врожаю та позитивних екологічних наслідках.

Застосування ПТК “АГРОТЕСТ” відкриває можливості коригування агрохімічного стану полів і, як наслідок, відродження їх родючості, паспортизації угідь та прогнозування врожайності. Питання за серійним виробництвом та широким впровадженням комплексу.

Перспективним напрямком вважається розробка датчиків для визначення фізико-хімічних властивостей ґрунту на ходу. В перспективі, як показано на рис. 4.5, такі датчики можуть бути застосовані безпосередньо з системами ЗНВ (диференціювання норм гербіцидів в залежності від вмісту органічної речовини) або для створення картограм з подальшим опрацьовуванням за допомогою ГІС (використання картограми pH перед диференційо-

ваним вапнуванням). Поєднання цих двох стратегій також має перспективи застосування. Картограми є доцільними тоді, коли параметр, що вимірюється, має відносно незначну динаміку в часі і його визначення досить дороге. Датчики, що працюють в реальному часі, мають безсумнівну перевагу при встановлені рівня динамічних властивостей ґрунту. Проте, відсутність експертної оцінки під час проведення вимірів є їх значним недоліком.

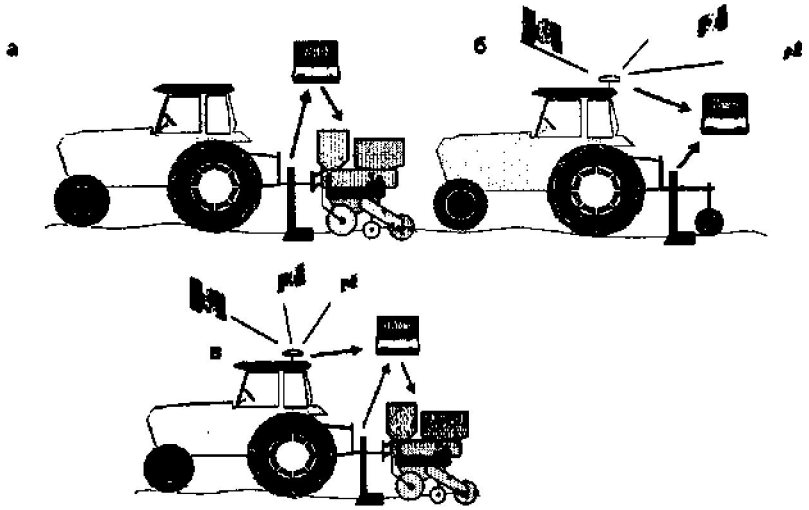


Рис. 4.5 – Системи сенсор технологій, що працюють за методом а) реального часу, б) картограм і в) інтегрованим

З точки зору можливостей створити датчики для визначання параметрів ґрунту на ходу, можна виділити п'ять груп приладів, що мають різні принци взаємодії з ґрунтом (рис. 4.6). За останні 10-15 років електричні і електромагнітні датчики набули самої великої популярності. Близько десяти різних компаній світу виробляють обладнання, що спроможне визначати на ходу здатність ґрунту проводити і накопичувати електричний заряд. Картограми, що створені за допомогою таких надійних і недорогих приладів, насамперед вказують на неоднорідність ґрунтів за текстурою (частки глини є кращими провідниками електричного струму ніж пісок). Саме застосування цих картограм при створенні зон менеджменту є найпопулярнішою технологію, що використовується сьогодні в СТЗ. Додатковою перевагою електричних і електромагнітних датчиків є можливість змінювати глибину вимірів, що дозволяє визначати неоднорідність базової породи яка має безпосередній вплив на родючі властивості ґрунту. Недоліками картограм електропровідності є їх залежність від вологості, засоленості вмісту органічних речовин і інших параметрів, що можуть змінюватись незалежно від текстури.

Властивість ґрунту					
Текстура (пісок-мул-глина)	Відмінно	Добре		Добре	
Органічна речовина (гумус)	Задов.	Відмінно			
Вологість ґрунту	Відмінно	Добре			
Засоленість (натрій)	Добре	Задов.			Задов.
Ущільненість (густина)			Відмінно	Добре	
Глибина підорного шару	Задов.	Задов.	Добре	Добре	
pH ґрунту		Задов.			Відмінно
Азот (нітратний або повний)	Задов.	Добре			Добре
Інші елементи (калій, фосфор)		Задов.			Добре
Ємність обмінних катіонів	Добре	Відмінно			

Електромагнітні датчики

Механічні датчики

Оптичні та радіометричні

Акустичні датчики

Електрохімічні датчик

Рис. 4.6 – Визначення основних властивостей ґрунту на базі різних принципів вимірювання: 1 – електричних та електромагнітних; 2 – оптичних та радіометричних; 3 – механічних; 4- акустичних іпневматичних; 5 – електрохімічних

На рівні досліджень знаходяться і інші датчики, що спроможні характеризувати параметри ґрунту. Використання оптичних датчиків дає можливість впроваджувати алгоритми, що напрацьовані при застосуванні систем дистанційного моніторингу. Один з таких алгоритмів - пошук кореляції між кольором ґрунту і вмістом органічної речовини. Більш комплексні алгоритми використовують для визначення текстури, вологості і навіть залишкового вмісту нітратів. Механічні, акустичні і пневматичні датчики використовують для визначення фізичного стану профілю ґрунту з метою встановлення ступеню і розподілу ущільнення. Велика кількість таких систем пройшла випробування на рівні розробок в той час коли комерційне використання ще знаходиться у перспективі.

Електрохімічні датчики також можуть бути застосовані в системах для аналізу ґрунту в реальному часі. Традиційно, іон-селективні електроди використовуються для визначення pH і активності багатьох іонів в ґрунтових розчинах. Обладнання для картографування кислотності або лужності ґрунту на ходу - це одна з новітніх розробок, що вже почата використовуватись комерційно. Така технологія дозволяє одночасне вимірювання електропровідності і pH ґрунту. При цьому pH визначається приблизно кожні 10 секунд шляхом прямого контакту між вологою пробою ґрунту і чутливими мембранами електродів. Результат таких індивідуальних вимірів може мати більшу похибку ніж лабораторні виміри. Проте, значне збільшення проб (до 10 на гектар) з відносно низькою вартістю суттєво покращує якість і економічність

картограм. Одночасне визначення інших іонів знаходиться на стадії наукових розробок.

Слід також і відмітити, що у різних країнах розпочато роботу із створення приладів для спрощення і здешевлення агрохімічного аналізу ґрунту. Зокрема, фахівці флагманів електронної промисловості - США і Японії у 1993 р. розпочали створення оптичних (безконтактних) датчиків для визначення за допомогою ЕОМ вмісту N, P, K у ґрунті. Крім того, розроблялись опосередковані шляхи, наприклад, через урожайність вирощуваної культури на окремих ділянках поля. Для цього збиральний комбайн обладнується електронним приладом для перманентного (фр. Permanent, постійний, безперервний) визначення урожайності культури, яка збирається, і її по координатного запису в бортовий комп'ютер. Картографування урожайності полів дає змогу знизити трудові й фінансові витрати на проведення агрохімічного аналізу для застосування диференційованого удобрення ґрунту у кілька разів.

Разом з тим необхідно зауважити, що застосування таких опосередкованих шляхів проведення агрохімічного аналізу ґрунту забезпечує тільки часткове зниження масштабності даної проблеми, але не її розв'язання. Одним із кардинальних рішень щодо аналізу ґрунту на N, P, K є розробка англійської фірми “KRM”. Цим способом визначення вмісту азоту, фосфору і калію в ґрунті здійснюється шляхом фотографування полів у інфрачервоних променях на спеціальну плівку з літака або супутника Землі.

Досягли значних успіхів і розробники оптичного приладу для проведення агрохімічного аналізу. Проблему, яку поки що не вдалося розв'язати американським і японським фахівцям, розв'язали англійські і китайські.

Прилад, відзначений золотою медаллю на Паризькій виставці у 1998 р., створила англійська фірма “Challenge Agriqulture”. Це оптичний числовий прилад, який шляхом порівняльного вимірювання у двох точках відбитого світла вибраної смуги спектру забезпечує визначення вмісту в ґрунті N, P, K та інших елементів. Він може обробляти більше 30 параметрів і запам'ятовувати 50 значень. Через 4 роки прилад аналогічного призначення розробили і китайські фахівці. Він побудований на основі транзисторів, перетворювачів, фотодатчиків та інших електронних елементів.

Супутниковий моніторинг посівів; дрони для моніторингу посівів

Супутникова система навігації забезпечує вимірювання відстані, часу та визначає місцеположення необхідного об’єкта в будь-якому місці Земного шару (не включаючи приполярні області) майже за любої погоди, а також в космічному просторі поблизу планети.

На сьогоднішній день існує 5 навігаційних супутникових систем, а саме:

ГЛОНАС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система) - Росія .

GPS (Глобальна система позиціонування (ГСП) — супутникова система навігації США.

ГАЛІЛЕО (Європейська Навігаційна Супутникова Система) - Європа.

Бейдоу (Навігаційна Супутникова Система) - Китай.

IRNSS — індійська регіональна навігаційна супутникова система) - Індія.

ГЛОНАСС - це російська супутникова навігаційна система, аналог Американської супутникової системи GPS, що дозволяє з високою точністю визначати координати будь-яких об'єктів (зокрема рухомих), забезпечених спеціальними приймачами (ГЛОНАСС приймачі), на суші, воді і в повітряному просторі. Принцип визначення положення в повітряному просторі заснований на вимірюванні відстаней до точок з відомими координатами. З шкільного курсу геометрії відомо, що для визначення координат об'єкту в просторі потрібно знати відстані до 4 точок з відомими координатами. В ролі точок прив'язки виступають навігаційні супутники, які безперервно передають сигнали точного часу. Швидкість розповсюдження електромагнітних коливань постійна і рівна швидкості світла. Навігаційна система обчислює затримки в проходженні сигналу і визначає відстань до кожного супутника. Періодично супутники передають інформацію про параметри своїх орбіт, яку навігаційне устаткування використовує для визначення координат об'єкту.

Система ГЛОНАСС не є новинкою. Ще в 1996 році система була введена в експлуатацію Міністерством оборони Російської федерації. На жаль, у той час держава не надала громадянам можливість користування супутниковою навігацією, а військові з часом зіткнулися з проблемою браку фінансування підтримки системи в робочому стані. Велика частина з майже 40 запущених супутників вийшли з ладу за різних причин. Відсутність підтримки держави і неможливість комерційного застосування призвели до того, що на початку нового тисячоліття система ГЛОНАСС виявилася непрацездатною.

У систем ГЛОНАСС і GPS (Navstar) багато спільного. У обох навігаційних системах використовуються однакові принципи визначення координат і близькі частоти сигналів. Основні відмінності полягають в параметрах орбіт супутників (супутники ГЛОНАСС виводяться на меншу висоту, і їх орбіти забезпечують прийом сигналу у високих широтах) і спосіб кодування інформації в супутникових сигналах.

Більшість зарубіжних виробників вже освоїли випуск суміщених (GPS/ГЛОНАСС) приймачів, які мають дещо кращі характеристики, тоді як устаткування, що використовує тільки одну систему поступається функціональними можливостями. Схоже, що в цьому напрямі рухаються і вітчизняні виробники навігаційного устаткування.

Супутникова навігаційна система GPS.

Супутникова навігаційна система GPS була спочатку розроблена США для використання у військових цілях. Інша відома назва системи - «Navstar». Як відомо, назва «GPS» є скороченням, що переводиться як Глобальна Навігаційна Система. Ця назва повністю характеризує призначення системи - забезпечення навігації на всій території Земної кулі.

GPS - це супутникова навігаційна система, що дозволяє з високою точністю визначати координати будь-яких об'єктів (зокрема рухомих), забез-

печених спеціальними приймачами (GPS приймачі) на суші, воді і в повітряному просторі. В данийчас системою GPS може скористатися будь-який охочий у будь-який час (24 години в добу, 7 днів в тиждень, 365 днів в році) на більшій частині Землі (виняток становлять полярні області). Використовуючи навігаційні сигнали системи OP8, будь-який користувач може визначити своє поточне місцеположення з високою точністю. Така точність багато в чому стала можливою завдяки крокам Американського уряду, який в 2000 році зробив систему GPS доступною і відкритою для цивільних користувачів. Раніше за допомогою спеціального режиму виборчого доступу (SA) до сигналу, що передається вносилися штучні перешкоди, що знижували точність позиціонування до 70-100 метрів. З 1 травня 2000 року цей режим був відключений, і точність підвищилася до 3-10 метрів.

Основними перевагами системи GPS є простота використання, надійність приймального устаткування, висока точність визначення координат і швидкості. Висока надійність GPS-приймачів обумовлена особливістю методу визначення положення об'єкту. У приймальній апаратурі немає електронних компонентів, зміна параметрів яких (із-за старіння або зміни умов експлуатації) могла б стати причиною зменшення точності. Всі необхідні, для обчислення координат, дані устаткування отримує з сигналу, переданого навігаційними супутниками.

У систему GPS входять більше 24 супутників, рівномірно розподілених по орбітах навколо Землі. Теоретично у будь-який момент часу з точки на поверхні Землі можна спостерігати половину загальної кількості супутників. Тобто GPS приймач може одночасно отримувати сигнал від 12 супутників. У реальності частина супутників знаходиться низько над горизонтом, або сигнал від них екранується перешкодами і приймач отримує інформацію тільки від 5...9 супутників. Ця кількість достатня для визначення координат з високою точністю.