

Д. І. КУНДЕРЕНКО, А. В. ПУГАЧ, В. В. ЖУКОВСЬКИЙ

ДО ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ МОДЕЛЕЙ ТОЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У ВИРОБНИЧИХ МАСШТАБАХ

У статті задля масштабування найкращих підходів на виробничому рівні проаналізовані типові підходи до вимірювання ущільнення ґрунту разом із оглядом поширених технічних можливостей виробників. Студіюються сучасні технології, пов'язані з обробкою ґрунту, такі як аспірації щодо точності сигналу GPS, який використовується у точному сільському господарстві. Двома найпопулярнішими технологіями в Україні для тестування ущільнення ґрунту є «Top Soil Mapper» і «CTS-1000». Принцип роботи приладів різний, найчастіше виробники використовують їх незалежно один від одного. Прості математичні розрахунки з урахуванням часу, необхідного для збору достовірних даних для формування технічних завдань з обробки ґрунту зі змінною глибиною і масштабування цього процесу до рівня вітчизняного виробництва, демонструють недоцільність використання поширеного механічного методу. При цьому сенсорна технологія має свої обмеження. Вперше в статті розглядаються переваги сумісного використання «Top Soil Mapper» і «CTS-1000». Моделі ущільнення ґрунту, представлені в статті, включають: 1. Підхід з використанням дуже дрібної сітки для подальшої візуалізації, представлення та інтерполяції даних з ущільнення ґрунту із подальшим використанням задля створення автоматичних завдань з обробки ґрунту із змінною глибиною, як показує практика, забезпечує хороший набір даних, які можуть бути використані як стандарт. Водночас такий підхід займає багато часу, і тому його масштабування у виробничих обсягах не є можливим. Прикладом є те, що виробнику з земельним банком у 1000 полів знадобиться близько 3 років для тестування всього земельного банку, а виробничі потреби вимагають провести обмір на всіх полях протягом двох-трьох місяців (у залежності від погоди і сівозміни); 2. Підхід з використанням секторів з невеликими, середніми та великими секторними розбивками для подальшої візуалізації, представлення та інтерполяції даних з ущільнення ґрунту із подальшим використанням задля створення автоматичних завдань обробки ґрунту із змінною глибиною, ранжується від повної виробничої неефективності у контексті необхідного часу до прогалин у зборі достатніх даних, оскільки найбільш поширений підхід до обробки даних (для подальшої інтерполяції) базується на недоведеному припущенні, що місце вимірювання й є центром зони. Якщо при найменшій можливій розбивці на сектори ця похибка мінімальна, то в інших випадках збільшення сектору автоматично знижує цінність отриманої інформації; 3. Підхід, в якому зони вимірювання ущільнення ґрунту базуються на інших параметрах, не є доказовим та не має наукового обґрунтування.

Ключові слова: точне землеробство, ущільнення ґрунту, інтерполяція даних, геолокація, система координат.

Д. И. КУНДЕРЕНКО, А. В. ПУГАЧ, В. В. ЖУКОВСКИЙ

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ МОДЕЛЕЙ ТОЧНОЙ ДИАГНОСТИКИ УПЛОТНЕНИЯ ПОЧВЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МАСШТАБАХ

В статье с целью масштабирования наилучших подходов на производственном уровне осуществлен анализ типичных подходов к измерению уплотнения почвы наряду с распространенными техническими возможностями производителей. Рассмотрены современные технологии, связанные с обработкой почвы, как например ожидания относительно точности GPS сигнала, применяемого в точном сельском хозяйстве. Двумя наиболее популярными технологиями в Украине для измерения уплотнения почвы являются «Top Soil Mapper» и «CTS-1000». Принцип действия приборов является разным, чаще всего производителями они используются независимо друг от друга. Простые математические расчеты, принимающие во внимание сроки, необходимые для сбора достоверных данных для формирования технических заданий для обработки почвы с переменной глубиной и масштабирование этого процесса на отечественный производственный уровень, демонстрирует неуместность применения распространенных механических методов. В это же время сенсорные технологии имеют свои ограничения. В статье впервые рассмотрены преимущества совместного использования «Top Soil Mapper» и «CTS-1000». Модели уплотнения почвы, представленные в статье, включают: 1. Подход с использованием очень мелкой сетки разбивки поля на секторы для дальнейшей визуализации, представления и интерполяции данных уплотнения почвы с последующим использованием в создании автоматических заданий проведения обработки почвы с переменной глубиной, как выяснилось, предоставляет хороший набор результативных данных, которые могут быть использованы в качестве стандарта. Но в то же время данный подход требует длительного времени, а поэтому его масштабирование в производственных объемах не является реализуемым. В качестве примера можно привести, что производителю, обладающему банком земли в 1000 полей, потребуется около 3 лет для тестирования всех полей, а производственные потребности состоят в необходимости провести измерения на всех полях в течение двух-трех месяцев (в зависимости от погоды и севооборота). 2. Подход с использованием секторов с малой, средней и большой разбивкой на секторы для дальнейшей визуализации, представления и интерполяции данных уплотнения почвы с последующим использованием в создании автоматических заданий проведения обработки почвы с переменной глубиной ранжируется от полной производственной неэффективности в контексте необходимого времени до наличия пробелов в сборе достаточного количества данных, поскольку наиболее распространенный подход к обработке данных (для дальнейшей интерполяции) строится на недоказанном предположении, что место проведения измерения является центром зоны. Если в случае с минимально возможной разбивкой на секторы, эта разница будет минимальной, то в других случаях увеличение сектора, автоматически уменьшает ценность полученной информации. 3. Подход, в котором зоны для проведения измерения уплотнения почвы базируются на основе других параметров не является доказательным и не обладает научным обоснованием.

Ключевые слова: точное земледелие, уплотнение почвы, интерполяция данных, геолокация, система координат

D. KUNDERENKO, A. PUHACH, V. ZHUKOVSKYY

TO THE ISSUE OF CREATING MODELS OF PRECISE SOIL COMPACTION DETECTION FOR PRODUCTION SCALE USE

Typical approaches to test soil compaction, along with technical possibilities are assessed with a purpose of scaling best approaches in production. Modern soil works related technologies, GPS accuracy aspirations for precision agriculture are addressed. Two most popular technologies in Ukraine to measure soil compaction are «The Top Soil Mapper» and «CTS-1000», although they function differently, most commonly are used independently. Simple mathematical calculations bringing together timing needed to gather reliable data to form variable depth soil ripping machinery and scale of

© Д. І. Кундеренко, А. В. Пугач, В. В. Жуковський, 2021

Вісник Національного технічного університету «ХПІ».

Ukrainian production demonstrate irrelevance of applying typical mechanical methods. At the same time, sensor technologies have their own limitations. Thus, this article introduces the benefits of the mutual use of «The Top Soil Mapper» and «CTS-1000». Soil compaction models presented in the article include: 1. Smallest possible grid approach of soil compaction data presentation and interpolation for further use to create variable depth soil works assignment proves to provide a very good set of results and can be used as a standard, but at the same time it consumes so much time that production scaling is not achievable. As an example we can state that a grower with 1000 fields would need about 3 years to test all the fields, when production needs are to test all the fields within two or three months (depending on weather and crop rotation). 2. Small, midsize and large grid approach of soil compaction data presentation and interpolation for further use to create variable depth soil works assignment proves to vary from being still time inefficient to having gaps to gather enough data as main approach of any data processing for further interpolation makes an unproven assumption that the sample location is a center of a zone. In case with a smallest possible grid, that difference would be minimal, with a larger distance difference can be significant. 3. Depending on detecting zones to test compaction based other parameters does not prove to work and lacks scientific background. Thus it has been suggested to combine use of «Top Soil Mapper» and «CTS-1000»

Keywords: precision agriculture, soil compaction, data interpolation, geolocation, system of coordinates.

Вступ. Ущільненість ґрунтів створює відчутні економічні втрати [1] з боку агро-виробника. Йдеться не лише про погіршення стану полів та недоотримання урожаю, достатньо коштовним для сільськогосподарського виробника є техніка для глибинного обробітку ґрунту, недешевим є сам подальший обробіток.

З огляду на різні етіології ущільнення, можемо констатувати, що використання належної діагностики ущільнення ґрунту є актуальним. Виробники в Україні традиційно використовують різні методології діагностики, проте найбільш поширеними у вітчизняних умовах є пенетрометр та сенсорні технології.

Серед пенетрометрів великим попитом користується автоматичний прилад американського виробництва CTS-1000 [2], а серед сенсорних технологій доволі популярним є прилад австрійського виробництва Top Soil Mapper [3].

Традиційно ці технології використовуються окремо, при цьому, як було виявлено нами при практичних дослідженнях, таке агрономічне застосування створює низку багатоманітних проблем. Частина проблем викликана недоліками самих приладів, а інша частина – зумовлена практикою використання. Наприклад, інтерполяція отриманих дослідних даних (незалежно від приладу) ущільнення ґрунту для подальшої трансляції у карту завдань диференційованої глибини обробітку відбувається на основі необґрунтованого та недоказового припущення, що точка геолокації проведеного вимірювання є «центром» зони ущільнення ґрунту.

Таким чином, можемо відзначити, що на фоні відсутності надійного механізму виокремлення точок для проведення контактного виміру ущільнення відбору, доволі актуальним є створення моделі точної діагностики ущільнення ґрунту для використання у виробничих масштабах. Отже, нами було помічено, що:

1. Виробник, який використовує пенетрометр для визначення ущільнення ґрунту для отримання наукових, доказових та надійних даних буде змушений робити надмірну кількість контактних замірів із дуже дрібною сіткою, проте це неможливо реалізувати із виробничої точки зору. Додаткова складність полягає в особливості введення сільськогосподарської діяльності – у виробника існує дуже вузький часовий проміжок для проведення вимірів (між збиранням урожаю та наступним обробітком), відтак виникає потреба проводити цю операцію на багатьох полях одночасно. В реаліях

українського виробництва часто робиться компроміс та проводиться недостатній збір даних для інтерполяції.

2. Виробник, який використовує неконтактні сенсорні технології визначення зон ущільнених шарів ґрунту, не отримує інформації про глибину та ступень ущільненості.

Відтак констатуємо відчутну потребу у конструюванні такого новітнього підходу – сумісного використання сенсорів обох типів, який 1) масштабується у виробничих обсягах, 2) надає достатньо даних для інтерполяції здобутих даних задля подальшого перетворення у карту завдань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З огляду на те, що ми конструємо моделі сумісного використання двох західних технологій, були проаналізовані переважно англійські джерела, які присвячені виробничим складностям, які вирішують зазначені прилади.

Р. Хадер [4] систематизував винесення виробничих рішень у кризових умовах. Класичне визначення винесення управлінських рішень у кризових умовах передбачає власне застосування менеджменту реакції, як про це пише вітчизняна дослідниця І. Нечаєва [5]. Разом з цим зазначимо, що рішення у сфері сільського господарства неминуче будуть містити різний ступінь власне менеджменту реакції. Частково це зумовлено особливостями галузі. Наприклад, погодні умови передбачити неможливо, а такі ринкові складові бізнесу як вартість пального або вартість самої сільськогосподарської культури є факторами, прогнозування яких також є часто складним. Г. Мор [6] ототожнив складові кризового менеджменту, які можна застосовувати у сільськогосподарській галузі.

Е. Селіг [7] виокремив виклики механічної (контактної) перевірки ущільнення ґрунтів ще у далекому 1971 році, проте, оскільки його опис не містить опису сенсорних технологій, його наукові розвідки актуальні й у наш час. М. Картер та Е. Грегорович [8] описали відмінності між «ущільненням ґрунту» та «підлуженим шаром», проте з виробничої точки зору відмінність між ними не є релевантною.

М. Копецький [1] описав особливості застосування сенсорних технологій визначення ущільнення ґрунту.

Особливої уваги заслуговує публікація К. Лі [9], в якій автор розглядає особливості винесення

управлінських рішень на підставі сучасних технологій задля імплементації точного землеробства.

Однак поза увагою всіх зазначених авторів лишилось створення моделі точної діагностики ущільнення ґрунту для використання у виробничих масштабах, що власне й формує мету статті.

Таким чином **постановка завдання** поєднує у собі міждисциплінарне дослідження, яке знаходиться на перетині кількох галузей – математики, агрономії та менеджменту та полягає у створенні стратегічно виправданих моделей точної діагностики ущільнення ґрунту для винесення управлінських рішень у виробничих масштабах.

Передумови конструювання виробничих моделей. Прилади «CTS-1000» та «Top Soil Mapper» вимірюють один й той самий агрономічний показник – «ущільнення» ґрунту. Разом з цим серед відмінностей зазначимо технологію та спосіб збереження даних.

«Top Soil Mapper» по суті зберігає геолокацію та лише одну змінну, що стосується ущільнення: наявність або відсутність. Технічно прилад є сенсором, який вимірює електромагнітну індукцію. Отримані дані конвертуються в кілька показників (окрім ущільнення ґрунту прилад визначає й інші показники, які є нерелевантні для нашої задачі). Відтак ми маємо показник, отриманий безконтактним шляхом. Прилад прикріплюється до транспортного засобу, який із заданою швидкістю здійснює об'їзд поля. Існує два поширених способи використання приладу. Задля виключно збору інформації з подальшим використанням, прилад чіпляється на транспортний засіб високої прохідності (див. рис. 1).

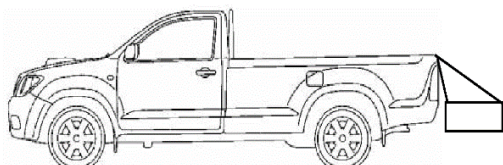


Рис. 1. Приклад кріплення приладу до транспортного засобу

За бажанням можливе фронтальне приєднання до трактору (див. Рис. 2). У такому випадку сенсор по ISO BUS зв'язується із ґрунтообробним причіпним механізмом (як із змінною, так й постійною глибиною обробітку) та задає команду на глибину обробітку кожного окремого диска або борони (в залежності від приладу).

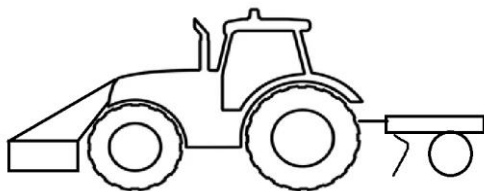


Рис. 2. Приклад використання приладу з трактором

Отримана сенсором інформація зберігається на бортовому комп'ютері та за допомогою зовнішнього носія переноситься на ПК, що приєднаний до мережі

Інтернет. Дані у вигляді файлу XML завантажуються у хмарний сервіс, обробляються та перетворюються у карту, на якій кожний з показників, що було виміряно «Top Soil Mapper», подається в інтерполяції. Головним недоліком «Top Soil Mapper» є те, що ущільнення не вимірюється фізичним способом, а насправді вимірюються інші показники, які конвертуються в інтерпольовану карту ущільнення та у карту створення завдань для ґрунтообробних одиниць техніки, а також карту для техніки із змінною нормою внесення (добрив, пестицидів, та ін. хімічних сполук).

«CTS-1000» – є автоматичним пенетрометром, який вимірює ущільнення фізичним способом. Перевагою «CTS-1000» є константна сила втискання (для довідки – у ручному пенетрометрі сила втискання залежить від фізичної форми та «настрою» оператора приладу). Супротив втисканню у ґрунт й вимірює прилад з кроком у 1 см. Дані записуються у смартфон, який використовується як контролер приладу (з'єднання між приладом та телефоном відбувається за допомогою технології Bluetooth). Головними недоліками «CTS-1000» є те, що 1) для контролю приладу та запису геолокації точки відбору використовується GPS модуль мобільного телефону, який не надає необхідної точності сигналу. (Для точного землеробства – стандарт точності – 2 см, а польове використання приладу іноді дає похибку у 20 метрів, що абсолютно не припустимо для використання у точному землеробстві); 2) визначення точок відбору (особливо при першому обстеженні поля) є проблематичним.

Типовим використанням цього приладу є 5 тестувань на полі у формі букви W.

Виробник дозволяє завантажити Excel файл з отриманими даними з ущільнення ґрунту, де міститься унікальний ідентифікатор проби, географічні координати та до 60 колонок з числовими значеннями ущільнення з кроком в 1 см. Зазначимо, що виробник дозволяє обрати одиницю вимірювання.

Користувач може бачити інформацію з кожного вимірювання у графічний спосіб (див. рис 3).

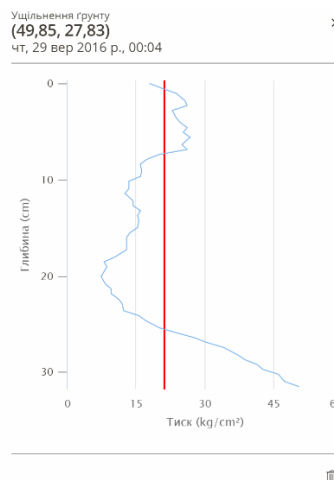


Рис. 3 – Приклад відображення інформації автоматичним пенетрометром

Зауважимо, що попри інформативність, такі дані складно перетворити на автоматизований виробничий процес.

Інший спосіб виведення інформації – це зазначення на карті земельної ділянки точок відбору інформації (див. рис. 4).



Рис. 4. Приклад відображення проведених вимірів ущільнення автоматичним пенетрометром

Відтак ця подача даних, хоч і візуально інформативним чином подає дані, однак не сприяє автоматизації процесу. Додатково зауважимо, що відстань між кількома показниками з наявним ущільненням верхнього шару та відсутністю ущільнення складає менше 100 метрів, що свідчить про необхідність щільного відбору.

Технічна складова конструювання виробничих моделей. Додаткові технічні складності полягають у тому, що прилади використовують відмінні між собою (а також між ґрунтообробною технікою) системи географічних координат, тому узгодження даних потребує додаткового перерахунку із врахуванням, що допустиме відхилення у точній агрономії – 2 см. Інформація, що отримана з сенсорних технологій стосовно ущільнення – це дані із однією зміною та географічним розташуванням. А інформація, отримана з автоматичного пенетрометру, з врахуванням зчитування та записування даних з кроком 1 см., – це 60 шарів ступенів ущільнення із заданою кваліметричною величиною.

Сучасна техніка дозволяє задавати різну глибину обробітки ґрунту за потребою. Для цього використовуються технологія передачі GPS сигналу (який традиційно підсилюється РТК станціями) для всього технічного транспорту, що рухається строго заданим маршрутом по полю. При цьому новим стандартом якості стає максимальне відхилення від маршруту у 2 см. Команда, яка задається приладу на глибину обробітки традиційно називається «завданням». У більшості випадків РТК станція зв'язана з ґрунтообробним механізмом за допомогою ISO шини.

Реалії українського агровиробництва. У реаліях агровиробництва в Україні використовуються кілька підходів: 1) задана кількість точок на полі, які базуються виключно на геометрії поля без врахування агрономічних показників (наприклад, 5 точок на полі, які за розташуванням нагадують літеру «М»); 2) зони, визначені іншими агрономічними показниками (NDVI вегетації, інтерполяції карт урожайності попередніх років, інтерполяція результатів хімічного аналізу ґрунту).

Згідно відкритих джерел, складно встановити «середній» розмір одного поля. Це може бути від 60га до 100 га. Якщо застосувати 100 га як середній розмір поля, тоді найбільші агровиробники мають приблизно такий банк землі та кількість полів: Укрлендфармінг – біля 550 тис. га (5500 полів); Кернел – біля 540 тис. га (5400 полів); Агропросперіс – біля 400 тис. га (4000 полів); МХП – біля 350 тис. га (3500 полів); Астарт-Київ – біля 250 тис. га (2500 полів); Continental – біля 220 тис. га (2200 полів); Агротон – біля 150 тис. га (1500 полів); ІМК – біля 124 тис. га (понад 1000 полів); Harveast – біля 120 тис. га (понад 1000 полів); Епіцентр-Агро – біля 120 тис. га (понад 1000 полів).

Всі ці агрохолдинги, як й інші агровиробники, мають одночасно у вузький коридор часу між збиранням урожаю та обробітком ґрунту перевірити ущільнення. Технології, які використовуються мають бути надійними, проте водночас швидкими.

Моделі проведення виміру ущільнення ґрунту.

Розглянемо модель дуже дрібної сітки відбору для представлення та подальшої інтерполяції даних задля створення завдання з обробітку ґрунту (з перемінною глибиною) на основі такої практики виробника, коли застосовується дуже дрібна сітка відбору. У такому випадку транспортний засіб із «CTS-1000» пересувається по полю та визначення ущільнення відбувається кожну задану кількість метрів. В цій моделі «Top Soil Mapper» не використовується. За умов імплементації цієї моделі 1) ми робимо припущення, що це дуже надійний, але непродуктивний (а відтак нереалістичний) підхід створення карти зон ущільнення для подальшої трансляції у карту завдань; 2) ми робимо припущення, що передбачаємо наступне: що у виробника немає «зон ущільнення».

Проведемо простий математичний розрахунок на уявному «типовому» полі розміром 950 метрів на 700 метрів, якщо за «дрібну сітку» приймається сектор у 50 метрів, таких секторів на заданому полі буде 266. В цілому втрата часу на проведення кожного контактного виміру ущільнення приладом «CTS-1000» займає 5 хв., відтак лише на проведення 266 вимірювань знадобиться 1330 хвилин. При цьому, змієподібний об'їзд поля потребуватиме наступного маршруту $266 \times 50 = 13300$ метрів (понад 13 км). З врахуванням, що швидкість пересування по полю складає 20 км/год лише на об'їзд поля знадобиться 266 хвилин. Відтак на проведення 266 вимірювань знадобиться $1330 + 266$ хвилин. У підсумку на полі доведеться провести 1596 хв., що більше однієї доби. Незважаючи на доволі точну картину ущільнення, використання такої моделі у виробничих масштабах не є реальним. Якщо транслювати ці математичні розрахунки на агровиробника, то підприємству в банку землі якого знаходиться 1000 полів та яке витрачає 24 години на тестування одного поля, знадобиться понад 3 роки для тестування всіх полів.

Розглянемо моделі з дрібною, середньою та великою сіткою. У такому випадку ми збільшуємо сектор з 50 квадратних метрів до 100, 150 та 200

метрів відповідно, що означає 66, 30 або 17 вимірювань на полі зазначеного розміру. Прості математичні дії доводять, що ані 66, ані 30 п'ятихвилинних зупинок без врахування пересування поля не є продуктивним підходом. При цьому 17 вимірювань однозначно не надає потрібної для точної агрономії точності. Констатуємо, що такий підхід для виробника не є стратегічним.

Розглянемо **модель в якій точки для визначення ущільнення** за допомогою пенетрометра **визначаються** не геометрією поля, а **на основі інших агрономічних даних**, представлених інтерпольованим чином. Це може бути карта урожайності попередніх років, може бути карта забезпечення певним хімічним елементом (див. рис. 5). Цей спосіб також не є ані науковим, ані стратегічним через низку причин: 1) методи інтерполяції (або апроксимації даних), якою користувався сторонній провайдер послуг можуть бути хибними; 2) зазвичай немає прямої залежності (а іноді навіть кореляції) цих «інших» показників та ущільненості ґрунту; 3) метод здобуття «цих інших даних» може бути хибним або мати помилки.

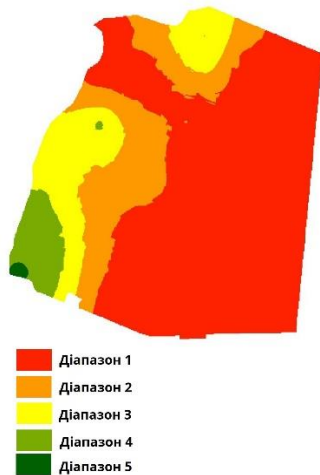


Рис. 5. Приклад інтерполяції даних

Розглянемо **модель**, коли задля створення завдання з обробітку ґрунту (з перемінною глибиною) ми поєднуємо **використання двох приладів одночасно**: транспортний засіб (який має закріплений «CTS-1000» та «Top Soil Mapper») (див. рис. 6) пересувається по полю з заданою швидкістю, наближеною до максимальної, рекомендованою виробником «Top Soil Mapper», при цьому зупинка для здійснення механічного виміру здійснюється лише у тих місцях, в яких сенсорний прилад визначив наявність ущільнення. Така практика відходить від поширеного геометричного способу визначення місць проведення тестування, а відштовхується від потреби.

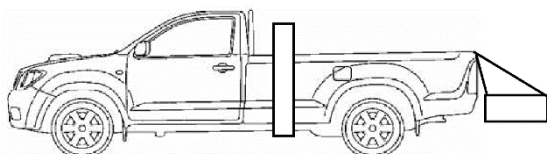


Рис. 6. Приклад кріплення обох приладів до транспортного засобу

Винесення стратегічних рішень. Серед причин виникнення ущільнення ґрунту можна виокремити природні та техногенні. Звісно, ми не можемо запобігти природним причинам, проте застосування вимірювання надасть виробникові фактичну інформацію щодо впливу невдалого обробітку ґрунту та колісного трафіку. З огляду на відкриття ринку землі, відстеження якісних угідь суттєво впливає на вартість землі. Окрім цього перехід на точне землеробство суттєво зменшує втрати виробника, проте вимагає встановлення РТК станцій, GPS модулів та систем паралельного водіння на всьому рухомому транспорті, який має доступ до полів.

Винесення оперативних рішень. Типово виокремлюють наступні фази прийняття управлінських рішень: 1) виявлення проблеми (у нашому випадку це наявність, кількість та глибина ущільнених шарів ґрунту); 2) аналіз попередньо отриманих даних; 3) вироблення варіантів рішення (у нашому випадку це тип обробітку або внесення коректив у план сівозміни); 4) вибір оптимального рішення; 5) перетворення рішення на ефективну дію [0; 0; 0].

Вважаємо, що сумісне використання двох приладів зможе автоматизувати перших три кроки. За потребою можна автоматизувати кроки 4 та 5, для цього виробнику слід обрати один з поширених критеріїв винесення рішення у кризовій ситуації - критерій Вальда; критерій «максимакс»; критерій Гурвіца; критерій Севиджа.

Висновки. Відтак моделі, коли застосовується «дрібна», «середня» та «велика» сітка відбору надають ненадійні та недостатні дані для інтерполяції, в результаті чого застосування такої карти завдань призведе до недообробітку або зайвого обробітку у різного ступеню. До того ж «дрібна» та частково «середня» сітка не є досяжними, з огляду на виробничі потреби та може застосуватися тільки у якості наукових розвідок. Підхід, коли «зони» для перевірки ущільнення визначатимуть треті сторони виявляється ненадійним та не визначає реальні зони ущільнення. Підхід, коли вимірювання «CTS-1000» здійснюється лише у точках, визначених «Top Soil Mapper» за очікуваннями надає надійні дані для інтерполяції, такий підхід виявляється дуже ефективним за часом та підлягає масштабуванню у виробничих обсягах, оскільки карта завдань обробітку ґрунту враховує виробничі потреби.

Подальшого дослідження заслуговують пошуки ще більшої автоматизації маршруту та точок проведення контактних вимірів ущільнення ґрунту, зокрема доведення залежності (або кореляції) показників, які можна отримати з дрону або супутнику для пришвидшення процесу.

Список літератури

1. Kopecky M., Funktionen: WAS macht der Topsoil Mapper (TSM)? Website, 2012. URL: <http://www.geoprospectors.com/de/produkteleistungen/landwirtschaftswirtschaft/> / Geoprospectors

2. CTS-1000. *Amity Crop management*. Website, 2021. URL: <https://www.amitytech.com/crop-management-tools/soil-compaction-testing/>
 3. *Topsoil mapper*. Website, 2021. URL: <https://www.topsoil-mapper.com/>
 4. Huder R. *Crisis Decision Making. Disaster Operations and Decision Making*. John Wiley & Sons. 2012, pp.19–37. URL: doi:10.1002/9781118178539.ch2
 5. Нечаєва І. Особливості прийняття управлінських рішень, їх оцінка та оцінювання в умовах кризи. *Economics Analysis*, Вип. 29, 2019, с.156-163
 6. Moore, G. E. (1996). Understanding Crisis Decision Making, *Defense Technical Information Center*, 1996. URL: doi:10.21236/ada309428
 7. Selig, E. T. *The Soil Compaction Process and Methods of Measurement*. SAE Technical Paper Series., 1971. URL: doi:10.4271/710513
 8. Carter M. R., Gregorich E.G., *Compaction and Compressibility. Soil Sampling and Methods of Analysis*. CRC Press, 2007. pp. 805–816. URL: doi:10.1201/9781420005271-70
 9. Li, Q. *Decision making under uncertainties for renewable energy and precision agriculture*. URL: doi:10.31274/etd-180810-4983
- References (transliterated)**
1. Kopecky M., Funktionen: *WAS macht der Topsoil Mapper (TSM)?*. Website, 2012. Available at: [http://www.geoprospectors.com/de/produkte-leistungen/landwirtschaftwirtschaft/Geoprospectors\(ger\)](http://www.geoprospectors.com/de/produkte-leistungen/landwirtschaftwirtschaft/Geoprospectors(ger))
 2. CTS-1000. *Amity Crop management*. Website, 2021. Available at: <https://www.amitytech.com/crop-management-tools/soil-compaction-testing/> (eng)
 3. *Topsoil mapper*. Website, 2021. Available at: <https://www.topsoil-mapper.com/> (eng)
 4. Huder R. *Crisis Decision Making. Disaster Operations and Decision Making*. John Wiley & Sons. 2012, pp.19–37. Available at: doi:10.1002/9781118178539.ch2 (eng)
 5. Nechaeva I., Osoblyvosti pryjnjattja upravlinsjkykh rishenj, jikh ocinka ta ocinjuvannja v umovakh kryzy [Feature of managerial decision making, its evaluation and assessment in under crisis]. *Economics Analysis*, Issue 29, 2019, pp.156-163 (ukr)
 6. Moore, G. E. (1996). Understanding Crisis Decision Making, *Defense Technical Information Center*, 1996. Available at: doi:10.21236/ada309428 (eng)
 7. Selig, E. T. *The Soil Compaction Process and Methods of Measurement*. SAE Technical Paper Series., 1971. Available at: doi:10.4271/710513 (eng)
 8. Carter M.R., Gregorich E.G., *Compaction and Compressibility. Soil Sampling and Methods of Analysis*. CRC Press, 2007. pp. 805–816. Available at: doi:10.1201/9781420005271-70 (eng)
 9. Li, Q. *Decision making under uncertainties for renewable energy and precision agriculture*. Available at: doi:10.31274/etd-180810-4983

Надійшла (received) 11.02.2021

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кундеренко Даниїл Іванович (Кундеренко Даниил Иванович, Danuil Kunderenko) – здобувач вищої освіти, студент IV курсу, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна; e-mail: kunderenko_ak17@nuwm.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1824-3644>

Пугач Арсен Вікторович (Пугач Арсен Викторович, Arsen Puhach) – здобувач вищої освіти, студент IV курсу, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна; e-mail: puhach_ak17@nuwm.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0597-6451>

Жуковський Віктор Володимирович (Жуковский Виктор Владимирович, Zhukovskyy Viktor) – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет водного господарства та природокористування, доцент кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики; м. Рівне, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7088-6930>; e-mail: v.v.zhukovskyy@nuwm.edu.ua