

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДИК АГРОЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТИВ В УКРАЇНІ ТА КРАЇНАХ ЄС

Петро Сивулька, аспірант

*Львівський національний університет природокористування
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., Україна
e-mail: petr1111@gmail.com*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2024.28.209>

Сивулька П. Порівняльний аналіз методик агроекологічної оцінки машинно-тракторних агрегатів в Україні та країнах ЄС

У статті наведено порівняльний аналіз підходів, методик та нормативних баз агроекологічної оцінки машинно-тракторних агрегатів (МТА) в Україні (Східна школа) та країнах ЄС (Західна школа, на прикладі ФРН). Суттєві відмінності під час використання важких тракторів класів 3–6 і проблеми ущільнення та деградації аграрних угідь зумовлюють актуальність розвитку вітчизняної школи та нормативної бази в аспекті гармонізації з ЄС. Зокрема щодо неоднозначності використання питомого тиску в контактні колеса з ґрунтом як єдиного нормативного показника агроекологічної оцінки МТА, відсутності вітчизняної нормативної бази щодо оперативної оцінки фізико-механічних характеристик конкретних земель (пенетрометри – за практикою ЄС) та врахування коліс різних типорозмірів передньої та задньої осей і додаткове ущільнення ґрунту колесами задньої осі під час руху однією колією.

Опрацьовано пропозиції з гармонізації вітчизняної нормативної бази з практикою ЄС щодо оперативної оцінки характеристик ґрунту за допомогою прийняття відповідного стандарту ISO як ДСТУ та розвиток агроекологічної оцінки МТА з урахуванням послідовності проходження коліс передньої і задньої осей, різних типорозмірів передніх і задніх шин, впливу навісних та причіпних знарядь.

Встановлено потребу подальшого розвитку та вдосконалення методик дослідження й оцінки ефекту ущільнення ґрунту за умови послідовного проходження коліс передньої і задньої осей, впливу навісного й причіпного обладнання на динаміку перерозподілу навантажень по осях та відповідного ущільнення, аналітичної оцінки впливу коліс різних типорозмірів на передній та задній осях та кратності проїзду.

Ключові слова: агроекологія, трактори, оброботок землі, ущільнення ґрунту, вміст вологи і повітря.

Syvulka P. Comparative analysis of the methods of agro-ecological assessment of machine-tractor units in Ukraine and EU countries

The article focuses on a comparative analysis of the approaches, methods, and regulatory frameworks for agro-ecological assessment of machine-tractor units (MTU) in Ukraine (the Eastern School) and EU countries (the Western School, specifically using Germany as an example). There are significant differences related to the increasing use of heavy tractors classified between 3 and 6, which raises urgent concerns about soil compaction and degradation in agricultural lands. This situation highlights the necessity for the development of a national framework in Ukraine that aligns with EU standards. One major issue identified is the ambiguity surrounding the use of specific wheel pressure as the sole regulatory indicator for the agro-ecological assessment of MTUs. Additionally, there is a lack of a national regulatory framework for the rapid assessment of the physical and mechanical properties of various soils, such as the use of penetrometers that align with EU practices. Other factors that need consideration include the varying sizes of front and rear axle wheels and the compaction caused by the rear axle during travel on a single track.

The article proposes harmonizing the national regulatory framework with EU practices through the adoption of relevant ISO standards as the national standard (DSTU). Furthermore, it offers suggestions for improving the agro-ecological assessment of MTUs by considering the sequence of wheel passage for front and rear axles, the different sizes of front and rear tires, and the effects of mounted and trailed implements.

The need for ongoing development and enhancement of methods for studying and evaluating soil compaction is emphasized, particularly during the sequential passage of wheels from the front and rear axles. This includes assessing the impact of mounted and trailed implements on load redistribution along the axles, analyzing how wheel size variations affect compaction, and monitoring the frequency of wheel passage.

Keywords: agro-ecology, tractors, tillage, soil compaction, moisture and air content.

Постановка проблеми. Вплив МТА на фізико-механічні характеристики сільськогосподарських угідь – тільки один із аспектів агро-екології загалом, що став, однак, особливо відчутним упродовж останніх 30–35 років, з розвитком і масовим упровадженням значно потужніших і важчих МТА та інтенсифікацією процесів обробітку ґрунту [1–2]. Агро-екологічні дос-

лідження впливу нового покоління МТА, значно продуктивніших, але і у 2–3 рази важчих тракторів, що домінували до того, розгорнулись практично з початком використання тракторів Т-150К та К-700 у СРСР [3] та на одне-два десятиліття раніше з появи аналогічних тракторів класу 3–6 у Західній Європі і США [4]. Природно, що інформаційна замкнутість і політичні

протистояння зумовили суттєві відмінності в методиках агроекологічної оцінки МТА у Східній (срер, згодом Україна) та Західній (країни ЄС) наукових школах.

Постановка завдання. Тренд України до євроінтеграції зумовлює доцільність порівняльного аналізу та гармонізації вітчизняної методології та нормативної бази з країнами ЄС.

Виклад основного матеріалу. Інтенсивність машинного обробітку сільськогосподарських угідь (і втрати, зменшення урожайності від ущільнення ґрунту) взаємопов'язана з дотриманням сприятливих агротермінів/тривалості тих чи інших видів обробітку ґрунту, недотримання яких теж спричиняє зменшення – недобір урожаю. Очевидно, що використання більш потужних МТА з більшою шириною обробітку угідь дозволяє відчутно скоротити терміни, вкластись у найбільш сприятливі і зменшити відповідний потенційний недобір урожаю. З іншого боку, збільшення потужності і ваги МТА неминуче збільшує тиск від коліс чи гусениць на землю, спричинює її ущільнення і, відповідно, теж спричинює недобір урожаю (та повільну деградацію орних земель [1-5]). Поточна економічна вигода мінімізації втрат від недотримання агротермінів стимулює зростаюче розповсюдження більш потужних і важчих МТА (наразі класів 3-5т порівняно з ще донедавнім у часи срер домінуванням класів 0,8–1,4 т – МТЗ/ЛТЗ та гусеничних, з меншим питомим тиском на ґрунт – ДТ 75/Т 74 класу 3). Тенденція зростання потужностей і маси МТА в аграрному секторі очевидна [6] і з певним запізненням щодо США та Західної Європи вона ставала реальністю ще у 1980-х рр. і в Україні/СРСР.

Загалом необхідно зазначити, що дослідження впливу ущільнення сільськогосподарських земель тракторами розпочалися ще перед Другою світовою війною, фактично на початках масового розповсюдження МТА в аграрному секторі, однак основи сучасної методології цих досліджень у Західній Європі заклав проф. В. Зьене (W. Soehne) уже на початку 1950-х років [7-9]. Зрештою і в колишньому срер у той же період розпочалися дослідження руху колісних та гусеничних машин бездоріжжям та ґрунтовими дорогами, а також будівництва автодоріг, зокрема і ґрунтових, що утворювали значну частку від загальної мережі автодоріг. Фактично проф. Біруля А. К. та проф. Сіденко В. М. (ХАДІ, зараз ХНАДУ), не без впливу наявного у тому ж місті тракторного заводу ХТЗ, розгорнули дослідження і щодо ущільнення сільськогосподарських угідь МТА [10], що базувались на теоретичних засадах механіки

ґрунтів, найбільш ґрунтовно опрацьованих у срер проф. Цитовичем А. М. [11].

Необхідно зауважити, що наукові школи дослідження прохідності та ущільнення ґрунтів колісними і гусеничними машинами щодо військової автотехніки (ВАТ) та тракторів і автомобілів в аграрному секторі як в срер, так і зрештою за кордоном, розвивались паралельно, зокрема, очевидно, через певну інформаційну закритість військової тематики та різних цільових пріоритетів.

У срер у 1980 р. було створено координативну раду при Всесоюзній академії сільськогосподарства (ВАСХНИЛ) з проблеми ущільнення технікою аграрних угідь і визначено головні наукові організації з цієї проблеми. Необхідно зазначити, що за результатами цих робіт у 1986 р. були опрацьовані та прийняті (серед перших у міжнародній практиці) законодавчі нормативні акти – три державні стандарти ГОСТ, що визначали методи оцінки впливу МТА на ущільнення ґрунтів, та допустимі, порогові значення питомого тиску колісних і гусеничних рушіїв МТА на сільськогосподарські угіддя (серед ініціаторів і співавторів цих стандартів були і українські науковці, насамперед академік НААН України, проф. Медведєв В. В. [2]). Однією з рекомендацій розробників цих ГОСТів було обмеження використання тракторів К 700, менше – і Т 150К, на низці операцій обробітку ґрунтів [3]. У 2006-2008 рр. основні положення даних ГОСТ із певними доопрацюваннями були покладені і в основу відповідних національних стандартів України [12-14]. Однак оцінка відповідності цій нормативній базі, принаймні поки що, не входить до переліку обов'язкових при сертифікації/ допуску до експлуатації нових на ринку України вітчизняної та зарубіжної техніки. Водночас, як свідчать сучасні дослідження [15-16], абсолютна більшість нових потужних колісних тракторів класів 3 і 5, (зокрема і Т 150К / Т170К), що використовуються крупними агрохолдингами в Україні, не відповідають вимогам вищевказаних ДСТУ на переважаючій частині сільськогосподарських угідь.

Загалом допустимі максимальні тиски на ґрунт коліс МТА, визначені з диференціацією від пір року (весна і літо/осінь), а також залежно ще від двох чинників – вологості ґрунту у верхньому шарі 0-30 см (в долях від найменшої об'ємної вологомисткості НВ) – 5 рівнів та питомої ваги (щільності) ґрунту у верхньому шарі 0-10см – 2 різні рівні для сезонів весна і літо/осінь [12]. Залежно від різновиду ґрунту за гранулометричним складом задано значення НВ (у %) – від 14 до 40 %. Середній тиск коліс на

грунт (площа контакту навантаження на колесо) корегується коефіцієнтом нерівномірності розподілення тиску за площею контакту колеса з ґрунтом, що визначається за довідковими таблицями. Другим аспектом певної невизначеності є метод оцінки вмісту вологи у верхньому шарі ґрунту глибиною від 0 до 30 см, що є одним з визначальних показників родючості ґрунту [17] та звично може бути різною на поверхні та на глибині 30 см, а також щодо єдиної методики оцінки, де прийняті три стандарти ДСТУ ISO 10573, 11461, 16586 з різними методами й інструментарієм, однак практично не придатні для польових умов і оперативної оцінки на місці. Оперативним вирішенням проблеми є непряма оцінка вмісту вологи в ґрунті за допомогою супутників чи дронів, що базується на відбитті електромагнітного випромінювання в певному діапазоні – зокрема в системі EOSDA Crop Monitoring [17].

Іншим аспектом практичної роботи з ДСТУ [12] є оперативна оцінка щільності ґрунту, що звично донедавна оцінювалась лабораторно шляхом відбирання проб (метод ріжучого кільця Н. А. Качинського). Вітчизняна нормативна база в плані визначення і контролю щільності ґрунту – ДСТУ 4745 неповна, більш деталізована щодо процедури оцінки щільності ґрунту у будівництві – ДСТУ Б В 2.1-21; 2007. Безперечно, у цьому плані актуальним є нові, оперативні методи оцінки [18]. Зі щільністю взаємопов'язана інша механічна характеристика – твердість, і впродовж останніх двох десятиліть в аграрній сфері активні пенетрометри (твердоміри), що оперативно, на місці, дозволяють визначити твердість ґрунту в кількісному вимірі за рахунок вбудованого електронного блоку з показом значення [19]. Необхідно зазначити, що практика використання пенетрометрів, ще чисто механічних, для оцінки твердості ґрунту, як опорної поверхні для військової автотехніки (ВАТ), відома ще з часів Другої світової війни і була впроваджена інженерним корпусом армії США й досі збереглась із часів «ленд-лізу» у інженерних частинах ЗСУ [20; 21]. Звично, що це значно оперативніший метод порівняно з нормативним (за ДСТУ 5096 – твердоміром Рев'якіна, відповідні прилади уже виробляються і в Україні). Відомі й перші наукові дослідження ґрунтів в Україні з використанням сучасного пенетрометра [22].

Детальні дослідження у сфері агроecологічної оцінки ущільнення і деградації ґрунтів МТА проводяться і у країнах ЄС, що теж констатують переущільнення сільськогосподарських ґрунтів, тим паче, що інтенсивне використання важких тракторів нового покоління почалось там раніше. Враховуючи лідируючу

роль у ЄС власне ФРН у плані обсягів виробництва МТА (зрештою і ВАТ) та проблему скорочення площ сільськогосподарських угідь у зв'язку з будівництвом та розвитком інших об'єктів інфраструктури, що обумовлює обережне та акуратне ставлення до використання аграрного потенціалу і його розвитку, доцільно розглянути розвиток досліджень щодо ущільнення і деградації угідь з-за МТА на прикладі цієї країни.

Насамперед необхідно зазначити, що у 1998 р. прийнято федеральний закон щодо охорони власне сільськогосподарських земель та у період 1998-2001 рр. – блок державних стандартів ФРН – DIN. Визначені всі польові (DIN 19682 – у 10 частинах) та лабораторні (DIN 19683 – у 9 частинах) методи оцінки фізико-механічних характеристик ґрунтів, окремо виділені оцінка щільності та твердості ґрунтів (DIN 11272, DIN 19688), однак прямий аналог ДСТУ щодо порогових параметрів ущільнення сільськогосподарських угідь фактично відсутній. У цьому плані, однак, опрацьовані нормативи німецького об'єднання інженерів (VDI) [23], як галузевий стандарт, та відповідні дослідження і публікації на цю тему [24]. Звично, що підходи і агроecологічна оцінка МТА суттєво відрізняються і не акцентують увагу на питомому тиску на ґрунт, приділяючи увагу зміні щільності та пористості (з розмежуванням вмісту вологи та повітря) ґрунту, як базових чинників урожайності. Але загалом проблема переущільнення аграрних ґрунтів є предметом ретельних досліджень та опрацювання відповідних рекомендацій державними установами, починаючи від Міністерства сільського господарства та наукових установ. На рис. 2 представлено еволюцію зміни навантажень на ґрунт зернозбиральними комбайнами за період з 1960-х рр. (але і вказано зміну ширини захвату та продуктивності) [25]. Практично констатовано більш ніж дворазове збільшення індекса інтенсивності навантаження на ґрунт (у тонно-кілометрах на 1 гектар) при майже чотириразовому збільшенні повної маси типових зернозбиральних комбайнів та одночасному збільшенні ширини захвату жатки з 3 до 7,5 м. Збільшення розмірності шин на відповідних моделях (див. рис.1), однак, не компенсує зростання тиску на ґрунт, що й обумовлює відповідно збільшення ущільнення та деградацію ґрунту.

Вплив останнього (щодо оптимальної щільності з умов агрономії) на зменшення урожайності, згідно з даними [25], представлено на рис. 2. Як впливає з результатів польових досліджень [38], збільшення щільності ґрунту на 0,05 г/см куб. зумовлює падіння врожайності на незначних 3 %, однак на 0,1 г/см куб. уже на

8%, а при зростанні щільності ґрунту уже на 0,2 г/см куб. (що характерно для сучасних важких МТА) – уже на значні, недопустимі втрати – 18 %. Загалом подібні результати констатують і у вітчизняних дослідженнях та публікаціях [2-3; 16].

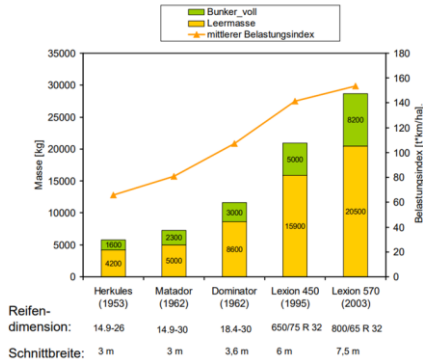


Рис. 1. Еволюція навантаження на ґрунт зернозбиральними комбайнами [25]. Індекс навантаження ($t \cdot \text{км/га}$) – права ордината; розмірність шин – 14.9-26 – до 800/65R32; ширина захвату – від 3 до 7,5 м; маса комбайна – споряджена/жовта; маса завантаженого бункера із зерном – зелена (кг)

Fig. 1. Evolution of soil load by combine harvesters [25]. Load index ($t \cdot \text{km/ha}$) - right ordinate; tyre size - 14.9-26 - up to 800/65R32; working width - from 3 to 7.5 m; combine weight - equipped/yellow; weight of loaded grain bin - green (kg)

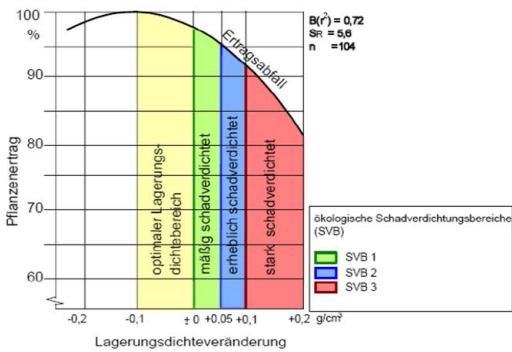


Рис. 2. Вплив ущільнення ґрунту на зменшення урожайності (згідно з дослідженням [25], де: по осі ординат – зміна врожайності, %; по осі абсцис – зміна щільності ґрунту, г/см^3)

Fig. 2. The effect of soil compaction on yield reduction (according to the study of [25], where: on the ordinate axis - change in yield, in %; on the abscissa axis - change in soil density, in g/cm^3)

Ущільнення ґрунту має й довгострокові наслідки – так званих підорних шарів (підшви) ґрунту, що практично не піддаються механічній обробці (оранці, культивуванні), але мають вплив на розвиток кореневих систем сільськогосподарських культур, а, відповідно, і на урожайність наступних сезонів. На рис. 3, як приклад, представлено результати відповідного дослідження [26] щодо зміни тиску в ґрунті/ущільнення на глибину залежно від навантаження

на колесо при незмінному тиску повітря в шині 1,6 бар (тут Radlast – навантаження на колесо, Tiefe – глибина, Bodendruck – тиск в ґрунті). Вплив тиску повітря в шині надзвичайно суттєвий (насамперед зміна площі контакту шини з опорною поверхнею) [27], при незмінному навантаженні на колесо 4 т (при тиску в шині 0,75 бар і 3,0 бар) (рис. 4).

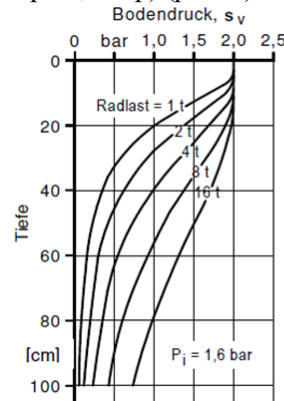


Рис. 3. Вплив навантаження на колесо на глибину ущільнення [26]

Fig. 3. Effect of wheel load on compaction depth [26]

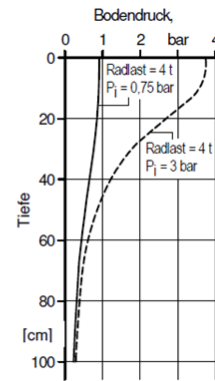


Рис. 4. Вплив тиску в шині на розподіл навантаження в ґрунті за глибиною [27]

Fig. 4. Influence of tire pressure on soil load distribution by depth [27]

Спільною рисою досліджень ущільнення сільськогосподарських ґрунтів, як в ЄС, так і в США, є використання пенетрометрів для оперативної оцінки твердості ґрунту і власне з конусним наконечником щодо міцності – твердості ґрунту як опорної поверхні коліс, що давно є стандартизованою процедурою для військової автотехніки НАТО [20; 21]. Власне конусний наконечник дозволяє враховувати не тільки опір вертикальному навантаженню, що є базовим для статичної механіки ґрунтів (очевидною у сфері будівництва) – модуль деформації E – (модуль Юнга), що вимірюється циліндричним наконечником з плоскою основою, але й за рахунок кута конуса також і опір зсуву ґрунту у горизонтальній площині, що є неминучим елементом взаємодії колеса з опорною поверхнею, що деформується. Звично, що отримані значення опору ґрунту продавлюванню конусного наконечника уже не є показником, що характеризує тільки твердість у вертикальному напрямі, а уже комбінованим значенням з опором зсуву у горизонтальній площині – у військовій термомеханіці це так званий конусний індекс CI (cone index) [20; 21], на базі значення якого для конкретного бездоріжжя і визначається прохідність та потенційна мобільність руху ВАТ. Необхідно зазначити, що ця методологія (так зв. WES – методика Інженерного корпусу

армії США) є значно простішою і ефективнішою порівняно з методикою, що була прийнята для ВАР у СРСР та досі є нормативною у пострадянських державах з використанням модуля Е, опору горизонтальному зсуву, коефіцієнту внутрішнього тертя і тощо [10; 11; 28]. Оцінка фізико-механічних характеристик ґрунтової чи піщаної поверхні пенетрометрами є стандартизована у міжнародному (добровільному) стандарті ISO [19] і прийнята як національна нормативна база у країнах ЄС, США тощо, зокрема з 2019 р. і у РФ, однак, на жаль, поки що не в Україні.

WES – методика віднедавна почала успішно використовуватись у лісгосподарській сфері в Європі, зокрема у Фінляндії [28; 29], Чехії [30] та згодом у розташованій неподалік Фінляндії [31]. Необхідно зауважити, що як у військовій, так і в лісгосподарській сферах представлення характеристик ґрунту, як опорної поверхні, є простішим і обмежується питанням прохідності та мобільності руху, визначальними для чого є взаємопов'язані твердість та вологість. З умов агротехнологій швидкісні режими руху МТА є обмеженими в діапазоні доволі низьких швидкостей, питання прохідності теж не актуальні – акцент на зміну пористості ґрунту, вмісту води і повітря внаслідок переущільнення в колії коліс. Водночас необхідно констатувати, що методи дослідження взаємодії шин/коліс машин з ґрунтом у аграрній сфері менш розвинуті порівняно з військовими, а, віднедавна і з лісгосподарськими сферами. В Україні, як і в країнах СНД, фактично відсутня сучасна нормативно опрацьована методика оперативної оцінки фізико-механічних характеристик ґрунту аграрних угідь та відповідності технічних характеристик конкретних моделей МТА. Актуальність проблеми переущільнення аграрних земель сучасними МТА, втім, як підтверджують результати сучасних нещодавніх досліджень в Україні, тільки посилюється [15-16; 32]. Детальне дослідження можливостей зменшення питомого тиску в контактї шин з опорною поверхнею, проведене нещодавно д. т. н. Ребровим О. Ю., засвідчує можливості відчутного розширення ареалу угідь з умов агроecології і нормативних обмежень, однак загалом не знімає проблеми переущільнення земель для наявного парку МТА класів 3-5 т [15]. Результати дослідження засвідчили, що тільки 10 % з типуажу тракторів цього класу відповідають вимогам агроecології на 60 % території України, 75 % типуажу – тільки на 25 % території, а весь наявний типаж 15 основних виробників у ЄС та США (понад 600 моделей і модифікацій) – тільки на 3 % території [32]. З проведеного аналізу можливостей використання сис-

тем централізованого регулювання тиску в шинах – зміна площі контакту з опорною поверхнею (ОП) (типу Fendt VarioGrip чи Mitas AitCell [34]), а також систем регулювання розподілу зчіпної ваги трактора між переднім та заднім ведучими мостами (типу Fendt VarioPull) чи регульованого баласту (типу EZ Ballast – John Deere) можна досягнути для сучасних енергонасичених універсально-просапних тракторів класу 3 т зниження максимального тиску на ґрунт на 8-40 кПа, що дозволяє розширити на 14 % ареал використання площ в Україні без порушення агроecологічних вимог [12] щодо допустимого максимального тиску МТА на ґрунт [33].

Звісно, підбір шин, їхнє баластування та регулювання тиску повітря, системи регулювання розподілу навантажень на осі фактично є заходами вдосконалення уже сформованих конструкцій тракторів. Однак і питання конструктивного синтезу, компоновання трактора тягового класу 3т з умов власне агроecології є вкрай проблемним з умов забезпечення відповідного значення сили зчеплення коліс з ОП, що при відомих фізико-механічних характеристиках ґрунтів визначальним чином забезпечується насамперед за рахунок відповідної ваги самого трактора. Очевидно, що перехід на нове покоління колісних тракторів з більш ніж удвічі збільшенням класу тяги (із звичних 1,4 т колісних МТЗ, ПМЗ до 3,0 т – ХТЗ Т150К тощо) зумовив і відповідне зростання спорядженої, власної маси трактора, як умови забезпечення відповідного запасу сили зчеплення коліс з типовими ґрунтами, достатніми для реалізації проектного класу тяги з врахуванням сумарної сили опору рухові на регламентованих швидкостях руху з умов агротехнологій.

На рис. 5 за результатами аналізу [34] представлено статистичний аналіз залежності експлуатаційної маси колісних тракторів різних класів тяги виробництва країн ЄС, СНД та США, де ломаною лінією виділено конкретні моделі МТЗ.

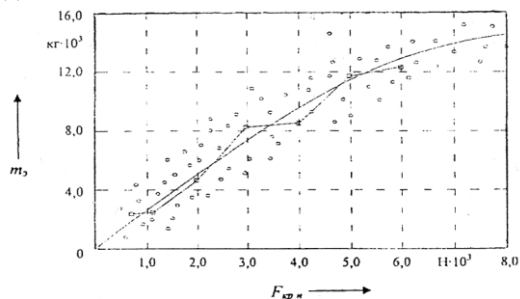


Рис. 5. Узагальнена залежність експлуатаційної маси колісних тракторів (m) від класу тяги (F) [34]

Fig. 5. Generalised dependence of the operating weight of wheeled tractors (m) on the traction class (F) [34]

Західноєвропейська та північно-американська школи агроекології МТА з проведеного огляду і аналізу відрізняються від вітчизняної/СНД насамперед через:

- відсутність однозначного домінування тиску в контактній шини з ґрунтом як визначального показника МТА з умов агроекології;
- акцент в агроекологічній оцінці МТА на зміни щільності ґрунту, пористість та, відповідно, вміст вологи і повітря як визначальних показників змін урожайності ґрунту;
- оперативна оцінка реальних фізико-механічних характеристик конкретного поля, як правило, пенетрометрами з конусним наконечником, що надає комплексну оцінку опору ґрунту вертикальній деформації та деформації зсуву, що більш наближене до реалій взаємодії колеса з опорною поверхнею, що деформується;
- дослідження проводяться на більшу глибину, як правило, до 1 м, і більше уваги надається проблемі утворення підорного шару ґрунту – незворотного ущільнення нижче звичної глибини механообробки (40-50 см), та його рекультивації;
- практично всі дослідження проводяться стосовно комплексів МТА – з навісним або причіпним обладнанням, що суттєво впливає на зміну навантажень на ґрунт ходовою системою та пробуксовування ведучих коліс через додатковий опір руху в результаті взаємодії робочих органів обладнання з ґрунтом.

Відсутність акценту на питомий тиск у контактній шини з ґрунтом, як це зроблено з часів срср і в Україні [12-14], обумовлено фактом різних глибин та периметру ущільнень ґрунту за однакового значення тиску в контактній шини для різних типорозмірів шин та відповідних навантажень, що опубліковано ще одним з основоположників західної школи агроекології МТА – W. Soehne [17] (рис. 6).

Визначальною відмінністю Західної наукової школи у сфері оцінки техногенного

впливу МТА на ущільнення і родючість сільськогосподарських угідь є акцент на зміни щільності ґрунту та його пористість, включно вміст повітря та вологи, як визначальні чинники родючості [1-3; 36-38]. Порогові значення щільності/пористості ґрунту (зокрема об'ємний вміст повітря, вологи) були визначені ще у 1970 – на початку 1980-х рр. – дослідження W. Czeratzki [37] та H. Petelkau [37]. Відповідне значення вологості різних видів ґрунту з умов агротехнологій Західної і Східної наукових шкіл практично ідентичні. Однак емпіричні залежності щодо оцінки впливу коліс МТА на ущільнення ґрунту відчутно відрізняються, зрештою, як і оцінки ґрунту як опорної поверхні для МТА.

Висновки. Очевидна необхідність гармонізації агроекологічної оцінки МТА з практикою країн ЄС, що дає повнішу характеристику впливу МТА на зміну характеристик ґрунту, що формують урожайність. Фактично відсутня і нормативна база оперативної оцінки твердості ґрунту, як опорної поверхні для колісних та гусеничних машин, що обумовлює прийняття міжнародного добровільного стандарту ISO 22476-1 в якості ДСТУ. Вітчизняні ДСТУ 4498, 4521 та 4977 доцільно доповнити нормами щодо щільності та пористості (вмісту вологи та повітря) з диференціацією для трьох основних базових ґрунтово-кліматичних зон, адже агроекологічна оцінка МТА тільки за значеннями питомого тиску на ґрунт далеко неповна. Потребують розвитку й методи дослідження та оцінки в аспекті врахування різного ефекту ущільнення ґрунту при послідовному проходженні коліс передньої й задньої осей, вплив навісного, причіпного устаткування на динаміку перерозподілу навантажень на осі та відповідного ущільнення, аналітичної оцінки впливу коліс різних типорозмірів на передній та задній осях та кратності проїзду.

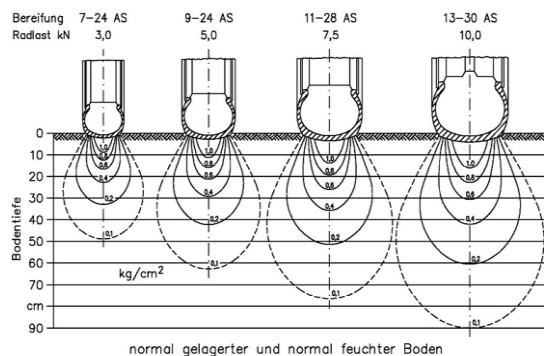


Рис. 6. Залежність навантаження на ґрунт (kg/cm^2) при однаковому тиску в контактній шини з ОП від розмірності шин (7-24S...13-30S) та відповідного навантаження на шину (3,0...10,0 kN) згідно з [17]. (Bodentiefe – глибина ґрунту)

Fig. 6. Dependence of the soil load (kg/cm^2) at the same pressure in the tyre contact with the soil on the tyre size (7-24S...13-30S) and the corresponding tyre load (3.0...10.0 kN) according to [17]. (Ground Depth)

Бібліографічний список

1. Куценко О. М., Писаренко В. М. Агроекологія. Київ: Урожай, 1995. 254 с.
2. Медведєв В. В. Екологізація в конструюванні та експлуатації землеробських машинно-тракторних агрегатів. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 10. С. 39-45.
3. Кашбулганов Р. А., Панасюк А. Н., Липкань А. В. Методика вибору енергетических средств в технологиях растениеводства по экологическим, энергетическим и экономическим критериям. *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019. № 2(99). С. 139-148.
4. Надикто В. Т., Величко О. В. Прогноз розвитку енергонасиченості сільськогосподарських тракторів. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2015. Вип.1. С. 146-151.
5. Ксєневич И. П., Скотников В. А., Ляско М. И. Ходовая часть – почва – урожай. Москва: Агропромиздат, 1985. 304 с.
6. Froehlich O. K. Druckverteilung im Baugrunde. *Springer Verlag*. Wien, 1934. 178 p.
7. Soehne W. Das mechanische Verhalten des Ackerbodens bei Belastungen, unter rollenden Raedern sowie bei der Bodenbearbeitung. *Grundlagen der Landtechnik*. 1951. No 1 (1). Pp. 87-94.
8. Soehne W. Die Verformbarkeit des Ackerbodens. *Grundlagen der Landtechnik*, 1952. No 2 (3). P. 51-59.
9. Soehne W. Druckverteilung im Boden und Bodenverformung unter Schlepperreifen. *Grundlagen der Landtechnik*. 1953. No 2 (5). Pp. 44-52.
10. Бабков В. Ф., Бируля А. К., Сиденко В. М. Проходимость колесных машин по грунтам. Москва: Автотрансиздат 1959. 326 с.
11. Цытович Н. А. Механика грунтов. Изд. 4. Москва: Госстройиздат, 1963. 311 с.
12. ДСТУ 4521:2006. Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунт. Київ: Держспоживстандарт, 2006. 8с.
13. ДСТУ 4977:2008. Техніка сільськогосподарська мобільна. Методи визначення максимального напруження в ґрунті під дією ходових систем. Київ: Держспоживстандарт, 2008. 10 с.
14. ДСТУ 4428:2005. Техніка сільськогосподарська мобільна. Методи визначення дії ходових систем на ґрунт. Київ: Держспоживстандарт, 2005. 10 с.
15. Ребров О. Ю. Розподіл допустимого тиску на ґрунт ходових систем колісних тракторів за територією України. *Вісник НТУ «ХП»*. Серія «Математичне моделювання в техніці та технологіях». 2018. № 27. Харків: НТУ «ХП». С. 110-116.
16. Білецький В. Р. Переуцільнення ґрунту рушіями мобільної сільськогосподарської техніки. Житомир: ДААУ, 2000. 43 с.
17. EOSDA Crop Monitoring. URL: [https:// eos.com /uk/blog/volohist-gruntu](https://eos.com/uk/blog/volohist-gruntu)
18. LFG – малогабаритний вимірювач щільності ґрунту – HLR. URL: [https:// industry.hlr.ua / bulding-materials-testing/ control-rfzestva-story-place/lfg](https://industry.hlr.ua/bulding-materials-testing/control-rfzestva-story-place/lfg)
19. Wong Y. J. Terramechanics and off road vehicle engineering. *Second Ed.* Butterworth. Ondon, 2010. 482 p.
20. Грубель М. Г., Крайник Л. В. Прохідність військових автомобілів: монографія. Київ: Професіонал, 2023. 182 с.
21. Іванишин В.В., Рудь А.В., Мошенко І.О. Визначення переуцільнення ґрунтів у господарствах західної частини лісостепу України. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2017. Вип. 27. С. 146-158.
22. VDI-Richtlinie 6101. Maschineneinsatz unter Beruecksichtigung der Befahrbarkeit landwirtschaftlich genutzter Boeden. *VDI Verlag*. Duesseldorf, 2007. 39 p.
23. Tijink F. G. J., Spoor G. Technische Leitlinien zur Vorbeugung von Bodenschadverdichtung. *Zuckerindustrie*. 2004. No 129/ 9. Pp. 647–652.
24. Frielinghaus D., Petelkau H., Seidel K. Schadverdichtungen in Ackerboeden – Entstehung, Folgen, Gegenmassnahmen 14. *Wissen. Fachtagung Landwirtschaftliche Fakultaet der Universitaet Bonn*, 5. Dezember 2001. 88 s.
25. Chamen W. C. T. et al. Preventiob strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. Part.2: Equipment and field practices. *Soil Till. Resume*. 2003. No 47. Pp. 161-174.
26. Tijjink F.G.J., van der Linden J.P. Engineering approaches to prevent subsoil compaction in cropping systems with sugar beet. *Advances in Geoecology*. 2000. No 32. Pp. 442-452.
27. 19. ISO 22476-1:2012. Geotechnical investigation and testing. Fiekd testing. Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test.
28. Saarlahti M., Antilla T. Rut depth model for timber transport on moraine soils. *Procedings of the 13 ISVTS Conference*, September 1999, Munich: Germany. Pp. 29-37.
29. Saarlahti M. Soil interaction model. *Univercity of Helsinki, Departament of forest resource management*, Np.QLK5-1999-00991. 2002. 86 p.

30. Marusiak M., Neruda J. Dynamic soil pressures Caused by travelling forest machines. *Croat. Journal Forest. Engineering*. 2018. No 39. Pp. 233-245.
31. Хитров Е. Г., Хахина А. М., Григорьев И. В., Григорьева О. И., Никифорова А. И. Расчет тягово- сцепных свойств колесных лесных машин с использованием WES – метода. *Лесотехнический журнал*. 2016. № 3, 2. С. 196–202.
32. Ребров О. Ю., Кальченко Б. І., Макаров В. А., Якунін М. С., Бучко І. Г., Реброва О. М., Артюшенко О. В., Леленко О. М. Оціночний аналіз дії на ґрунт ходових систем колісних сільськогосподарських тракторів. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія Автомобіле- та тракторобудування*. 2022. № 1. С. 36–43
33. Ребров О. Ю. Наукове обґрунтування підвищення ефективності колісних рушіїв сільськогосподарських тракторів на енергоємних технологічних операціях обробітку ґрунту: дис. ...д-ра техн. наук. Харків, НТУ «ХПІ», 2021. 423 с.
34. Зезетко Н. И. Эксплуатационная и конструктивная массы проектируемого колесного трактора 4К4. *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2014. № 2 (43). С. 26-36.
35. Агейкин Я. С. Проходимость автомобилей. Москва: Машиностроение, 1981. 230 с.
36. Czeratzki W. Die Ansprueche der Pflanzen an den physikalischen Bodenzustand. *Landbauforschung Voelkenrode*. 1972. No 22 (1). Pp. 29-36.
37. Petelkau H., Seidel H. Rompreibilitaet von Bodenproben unterschiedlicher Substrate bei stufenweiser uniaxialer Belastung in Abhaengigkeit vom Wassergehalt. *Bodenkunde*. 1982. No 26 (6). Pp. 389-393.
38. Sommer C. Bodenschonende und Bodenschuetzende Pflanzenproduktion – dargestellt an Beispielen der Bodenbearbeitung. *Landtechnik*. 1986. No 41, Heft 9. Pp. 236-243.

Стаття надійшла 20.05.2024