

УДК 631.5

Обґрунтування наукових методів раціонального комплектування машинно-тракторних агрегатів у складі яких трактори з безступеневою коробкою переми́ни передач

О.Д. Калюжний, К.Г. Сировицький, С.М. Васюк, А.Р. Коваль

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка (м. Харків, Україна)
ВП «Слов'янський технікум Луганського національного аграрного університету»
(м. Слов'янськ, Україна)*

Комплектування, або як часто його називають, агрегатування, зводиться в основному до знаходження оптимального співвідношення між кінематичними параметрами робочих машин і швидкісними режимами роботи двигуна трактора. В цілому висновок про правильність вибору тієї чи іншої передачі необхідно з урахуванням маневрових характеристик трактора і кінематичних параметрів робочої машини. Із збільшенням ширини захвату агрегату пропорційно підвищується його продуктивність, а для посівних машин, обприскувачів і ряду інших – підвищується якість виконання роботи, внаслідок зменшення площі поля яка піддається дії ходових систем. При цьому ширина захвату агрегату обмежується, з однієї сторони потужністю двигуна трактора, а з другої – погіршенням маневровості на поворотах і переїздах. Швидкість руху агрегату повинна встановлюватися з урахуванням якості роботи. В багатьох випадках, швидкість, яка визначається по енергонасиченості трактора, не може бути реалізована внаслідок агротехнологічних або фізіологічних обмежень. Економічні обмеження швидкості машинного агрегату обумовлені зміною енерговитрат на виконання процесу, експлуатаційної надійності машин в складі агрегату, а також деяким погіршенням використання часу зміни. В кожному окремому випадку швидкісні режими роботи необхідно уточнювати з урахуванням фізико-механічних властивостей ґрунтів, стану поверхні поля, фаз розвитку рослин, вологості ґрунту і інших факторів які впливають на якість роботи. Раціональне поєднання ширини захвату і швидкості руху агрегату залежить головним чином від техніко-економічних показників роботи.

Ключові слова: агрегат, комплектування, оптимальність, безступенева трансмісія, швидкість руху, ширина захвату, потужність двигуна.

Актуальність. Обґрунтування і впровадження у виробництво наукових методів раціонального комплектування і використання машинно-тракторних агрегатів – являється однією із головних задач машиновикористання в землеробстві.

Стан питання. Комплектування, або як часто його називають, агрегатування, зводиться в основному до знаходження оптимального співвідношення між кінематичними параметрами робочих машин і швидкісними режимами роботи двигуна трактора.

Для визначення кількості машин в агрегаті застосовують різні методи експериментальний, розрахунковий. При цьому найбільш точним методом являється розрахунковий, який дозволяє в найбільшій мірі враховувати технічні, експлуатаційні і технологічні можливості агрегатів в конкретних умовах їх використання.

Кількісний склад машин в агрегаті в значній мірі залежить від співвідношення тягових властивостей трактора і опору робочих машин, які вибирають з урахуванням агротехнологічних вимог до виконання даної операції в заданих агрокліматичних умовах. Ці вимоги являються

передумовою якісного складу машин в агрегаті і допустимого діапазону їх швидкостей руху.

Осереднені величини питомого тягового опору знаходять на основі довідкових матеріалів для машин даного типу. Визначають можливу, в заданих умовах, силу тяги трактора, користуючись його тяговими характеристиками.

Якщо дані про тягові параметри трактора в заданих умовах відсутні, розрахунок слід провести, виходячи із номінальної потужності двигуна. В такому випадку спочатку визначають рушійну силу та силу опору перекочування, і із їх співвідношення знаходять силу тяги трактора. В залежності від поставленої задачі номінальну потужність двигуна необхідно приймати з урахуванням впливу вірогідного характеру навантаження (коефіцієнту варіації). Розраховують теоретичну максимальну ширину захвату агрегату. Визначають кількість машин в агрегаті (або кількість робочих органів). Виявляють необхідність застосування зчіпки, вибирають її тип і по довідковим даним встановлюють її зчіпну вагу. Розраховують повний опір робочої частини агрегату. Виконують перевірку розрахованого агрегату по сту-

пеню використанню сили тяги трактора. Середній розрахунковий рівень використання сили тяги з урахуванням вірогідного характеру опору і можливого короткочасного його підвищення повинен бути завжди менше одиниці.

Якщо на даній передачі трактора ступінь завантаження його тягового зусилля знаходиться за межами оптимального, то необхідно перевірити раціональність комплектування агрегату на іншій передачі, швидкість руху на якій не виходить за межі допустимої по агротехнічним і іншим вимогам. В цілому висновок про правильність вибору тієї чи іншої передачі необхідно з урахуванням маневрових характеристик трактора і кінематичних параметрів робочої машини [1, 2].

Відповідність параметрів агрегату, перш за все виробничим умовам застосування та ширині захвату, – є передумовою високої продуктивності агрегату. Із збільшенням ширини захвату агрегату пропорційно підвищується його продуктивність, а для посівних машин, обприскувачів і ряду інших – підвищується якість виконання роботи, внаслідок зменшення площі поля яка піддається дії ходових систем, зменшується кількість стикових міжрядь, поліпшуються умови технологічного обслуговування агрегату і скорочується кількість персоналу по його обслуговуванню. При цьому ширина захвату агрегату обмежується, з однієї сторони потужністю двигуна трактора, а з другої – погіршенням маневровості на поворотах і переїздах [1].

Альтернативою збільшенню ширини захвату, при достатній потужності двигуна, являється застосування комбінованих агрегатів.

Швидкість руху агрегату повинна встановлюватися з урахуванням якості роботи. В багатьох випадках, швидкість, яка визначається по енергонасиченості трактора, не може бути реалізована внаслідок агротехнологічних або фізіологічних обмежень.

В цілому підвищення швидкості руху машинних агрегатів має такі обмеження: технічні, агротехнологічні, фізіологічні і економічні.

Технічні обмеження обумовлені впливом в основному трьох факторів: перемінність енергоємності процесу; перемінність кінематичних параметрів агрегату; перемінність надійності і безвідмовності працюючого агрегату. Так, при збільшенні швидкості руху агрегату опір машин зростає, але тягові можливості трактора обмежені потужністю двигуна. Крім того, при збільшенні швидкості погіршуються кінематичні показники і динамічна стійкість агрегату, збільшується радіус повороту, довжина траєкторії повороту, відповідно зростає ширина поворотної смуги.

Фізіологічні обмеження робочої швидкості машинного агрегату обумовлені погіршенням умов праці оператора.

Економічні обмеження швидкості машинного агрегату обумовлені зміною енерговитрат на виконання процесу, експлуатаційної надійності машин в складі агрегату, а також деяким погіршенням використання часу зміни.

Всі ці фактори визивають уповільнення зростання продуктивності з підвищенням швидкості руху. Якість виконання технологічного процесу вносить свої обмеження в можливості зміни швидкісних режимів. Найкраща якість виконання роботи досягається в певних межах швидкісного режиму. Це характерно для всіх технологічних процесів, але для деяких із них діапазон швидкісних режимів більш широкий (обробіток ґрунту дисковими знаряддями), а для інших - більш вузький (обробіток міжряддя культур). В кожному окремому випадку швидкісні режими роботи необхідно уточнювати з урахуванням фізико-механічних властивостей ґрунтів, стану поверхні поля, фаз розвитку рослин, вологості ґрунту і інших факторів які впливають на якість роботи.

Впровадження комплексу заходів, що призводять до зменшення впливу факторів, які перелічені вище, дозволяє збільшити швидкість руху агрегатів у виробничих умовах до 25 - 35%, що створює умови для переходу від середніх швидкостей 5 - 7 км/год. до підвищених – 9 - 15 км/год. [3].

Маневрування швидкостями руху трактора доцільно виконувати в діапазоні допустимих швидкостей руху агрегату у відповідності з агротехнічними вимогами з метою раціонального використання тягового зусилля трактора, збільшення продуктивності і економічності агрегату. Необхідність в маневруванні швидкостями обумовлено тим, що в процесі роботи агрегату навіть на одному і тому ж полі змінюються умови його роботи: змінюється вологість і фізико-механічний склад ґрунту, агрофон, рельєф і т. ін. Ці зміни впливають на тяговий опір знарядь, які входять в склад агрегату а також на величину тягового зусилля трактора. Різні агрофони обумовлені відповідним питомим тяговим опором, Наприклад, тільки від зміни агрофону тяговий опір плуга може змінюватися на 50% [3]. Крім того, при маневруванні швидкостями руху агрегату необхідно пам'ятати, що перехід з однієї передачі на іншу не повинен створювати значних витрат непродуктивного часу.

Постановка проблеми. Приведений метод розрахунку в тій чи іншій мірі являється приблизним, і тому їх можна застосовувати тільки для попереднього визначення складу агрегату. В багатьох випадках, а особливо при роботі з ене-

ргонасиченими тракторами, оптимальний ступінь завантаження двигуна трактора доцільно забезпечувати не тільки за рахунок ширини захвату агрегату (кількісний склад машин), а також за рахунок підвищення швидкості його руху. Раціональне поєднання ширини захвату і швидкості руху агрегату залежить головним чином від техніко-економічних показників роботи. Багатоступінчаті коробки передач сучасних тракторів з можливістю переключати передачі на ходу, дозволяють змінювати швидкісний режим роботи трактора в широких межах, маневруючи в залежності від умов роботи.

Для того, щоб забезпечити вибір передачі по можливості близької до раціональної, необхідно застосовувати безступеневі коробки передач з автоматичним включенням тієї чи іншої передачі в залежності від змінного (в процесі роботи) опору робочих машин [4].

Залежності зміни тягового опору трактора, його опору переміщення, буксування від необхідної потужності по швидкості, показників маси агрегату по ширині захвату, кінематичних показників дають можливість знаходити оптимальне співвідношення між параметрами і режимами роботи агрегату.

Підвищення експлуатаційної ефективності мобільних енергетичних і технологічних засобів потребує проведення пошуку нових більш прогресивних технологічних процесів і відповідних їм конструктивних рішень по робочим механізмам машин із перемінною шириною захвату, удосконалення ходових систем, підвищення рівня технологічної налагодки машин і на цій основі значного підвищення експлуатаційної надійності мобільних агрегатів [5, 6].

В сучасних умовах ринок сільськогосподарської техніки поповнився тракторами із безступеневою коробкою переміни передач (КПП), до якої відноситься «Vario». При цьому керування двигуном та коробкою переміни передач здійснює електронна система трактора, яка постійно підтримує задану швидкість руху на протязі робочого ходу.

Враховуючи особливості конструкції КПП трактору, з урахуванням цього, розрахунок складу агрегату матиме такі особливості: діапазон агротехнічно-допустимих швидкостей робочої машини узгоджується із діапазоном швидкостей руху трактора, які забезпечує коробка «Vario», з урахуванням найбільшого коефіцієнта корисної дії безступеневої коробки передач, а нормальну силу тяги розраховують по коефіцієнту використання номінальної сили тяги.

Оптимальне агрегування – це раціональне поєднання робочої швидкості й ширини захвату машинного агрегату, при якому забезпечується

економний режим роботи трактора в зоні максимального значення тягового ККД з використанням потужності біля 90%.

Використання тракторів з безступеневою коробкою перемінних передач були проаналізовані, по критерію максимальна продуктивність, в роботі В.І. Мельника [1] с точки зору вибору оптимального агрегату.

В запропонованій роботі автори розглядають можливість оптимального комплектування агрегату в залежності від використання потужності двигуна трактора.

Результати досліджень. При комплектуванні агрегату мається обмеження по швидкості його руху інтервалом агротехнічне допустимих робочих швидкостей V_{lim} для с.-г. машин, які виконують технологічну операцію. Це обмеження, для тракторів з ступеневою коробкою передач Т-150; ХТЗ-171-21; ХТЗ-172-21 дозволяє рухатись тільки на 1-ої передачі, при виконанні оранки вітчизняними плугами. Обмеження при оранці інтервал допустимих робочих швидкостях для плугів оснащених культурними, гвинтовими або напівгвинтовими відвалами, які найбільш якісно виконують оранку знаходиться у межах до 7 км/год. При виконанні технологічних операцій по обробітку ґрунту плоскорізами–розпушувачами ($V_{lim} = 7 - 10$ км/год.), культиваторами плоскорізами ($V_{lim} = 8 - 12$ км/год.) [2, 3] трактори Т-150; ХТЗ-171-21; ХТЗ-172-21 можуть рухатись на 1-ї; 2-ї та 3-ї передачах, а трактор Т-150К на 1-ї та 2-ї передачах. Комплектування агрегатів перелічених агрегатів по швидкісному режиму не представляється можливим оптимізувати, за рахунок того що на першій передачі коефіцієнт використання тягового зусилля трактора низький, а на другій перевищує одиницю. Остається одне – виконувати роботу на першій передачі. Варіювання швидкістю руху агрегату обмежені. Це призводить, у кінцевому результаті, до зниження продуктивності агрегату.

При виконанні робіт агрегатами, в склад яких входить трактор з безступеневою коробкою перемінних передач FENDT VARIO різної модифікації, варіювання швидкісним режимом роботи значно спрощується за рахунок можливості зміни швидкості руху агрегату на всьому діапазоні обмеження.

Послідовність обґрунтування швидкісного режиму роботи та ширини його захвату виконується у такій послідовності, на прикладі оранки.

Тягове зусилля, яке повинен розвивати трактор, визначаємо із залежності:

$$P_T = \frac{R_a}{\eta_p}, \quad (1)$$

де: η_p – ступінь використання тягового зусилля.

Розрахувати потужність, яка витрачається двигуном трактора на подолання сили опору сільськогосподарської машини:

$$N_T = \frac{P_T V_P}{3,6}, \text{ кВт.} \quad (2)$$

Потужність, яка витрачається двигуном трактора на подолання сили опору кочення по заданому агрофоні:

$$N_f = \frac{P_f V_P}{3,6}, \text{ кВт} \quad (3)$$

де: P_f – сила опору кочення, яка визначається за формулою:

$$P_f = G_{\text{тр}} f_{\text{тр}} \cos \alpha, \text{ кН} \quad (4)$$

де: $G_{\text{тр}}$ – вага трактора, кН.

Потужність, яка витрачається двигуном трактора на подолання сили опору що виникає при подоланні підйому:

$$N_\alpha = \frac{P_\alpha V_P}{3,6}, \text{ кВт} \quad (5)$$

де: P_α – сила опору що виникає при подоланні підйому:

$$P_\alpha = G_{\text{тр}} \sin \alpha, \text{ кН} \quad (6)$$

Потужність, яка витрачається двигуном трактора на привід його трансмісії:

$$N_{\text{тр}} = N_{\text{еф}} (1 - \eta_{\text{тр}}), \text{ кВт} \quad (7)$$

де: $\eta_{\text{тр}}$ – коефіцієнт корисної дії безступеневої коробки передач «Vario» в залежності від швидкості руху трактора. $N_{\text{еф}}$ – ефективна потужність двигуна, кВт, яка визначається за формулою:

$$N_{\text{еф}} = \frac{P_{\text{руш}} V_P}{3,6 \eta_{\text{тр}}} \quad (12)$$

де: $P_{\text{руш}}$ – рушійна сила, кН, яка визначається за формулою:

$$P_{\text{руш}} = P_T + (P_f \pm P_\alpha) \quad (8)$$

Сумарна фактична потужність, яка витрачається на подолання сил опору при виконанні технологічної операції агрегатом:

$$N_\Phi = N_T + N_f + N_\alpha + N_{\text{тр}}, \text{ кВт} \quad (9)$$

Ступінь використання ефективної потужності двигуна:

$$\eta_N = \frac{N_\Phi}{N_{\text{ен}}}, \text{ кВт} \quad (10)$$

де: $N_{\text{ен}}$ – номінальна ефективна потужність

двигуна трактора, кВт, (із технічної характеристики трактора).

У випадку коли коефіцієнт використання потужності трактора має значення $\eta_N \geq 0,98$, треба зменшити швидкість руху трактора в межах агротехнічно допустимих швидкостей, та перерахувати значення потужностей які витрачаються на подолання сил опору, що діють на трактор.

Методика розрахунку складу тягового агрегату, енергетичною частиною якого являється трактор «FENDT VARIO» розроблена, опрацьована і пройшла тестування на кафедрі «ОТС імені Т.П. Євсюкова». Для зручності користування методичними **ВКАЗІВКАМИ** наведені довідкові дані: «Технічна характеристика трактора FENDT VARIO», обладнаних двигунами MAN різної потужності; параметри коробки переміни передач і посилання на довідкову літературу.

Висновки

1. Обґрунтування і впровадження у виробництво наукових методів раціонального комплектування і використання машинно-тракторних агрегатів, в склад яких входять закордонні енергозасоби, є актуальним.

2. Метод що запропонований в статті відрізняється від класичного, тим що, адаптованість тракторів із безступеневою коробкою переміни передач, до якої відноситься «Vario», до виконання механізованих робіт слід оцінювати завантаженістю агрегату по потужності двигуна трактора а не по тяговому зусиллю.

Література

1. Иофинов С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка. – 2-е издание, перераб. и доп. / С.А. Иофинов, Г.П. Лышко. – М.: Колос, 1984. – 351 с.
2. Машинное использование в землеробстве / За ред. В.Ю. Ильченка і Ю.П. Нагірного. – Київ: Урожай, 1996. – 384 с.
3. Киртбая Ю.К. Резервы в использовании машинно-тракторного парка / Ю.К. Киртбая. – М.: Колос, 1976. – 256 с.
4. Погорілий В.Л. Перспективний тракторний парк України для різних технологій / В.Л. Погорілий // Техніка АПК. – 2005. – №12. – С. 11-12.
5. Мельник В.І. Ефективність використання техніки на полях з різною довжиною гону / В.І. Мельник, С.А. Чигрина // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ. – Вип. 75, том 2. – Харків. – 2008. – С.42 - 45.
6. Мельник В.І. Размер поля как фактор снижения потребности в моторном топливе / В.І. Мельник, С.А. Чигрина // Праці ТДАТУ – Вип. 8, Т.6. – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – С. 163 - 172.

Аннотация

**Обоснование научных методов рационального комплектования
машинно-тракторных агрегатов в составе трактора
с бесступенчатой коробкой перемены передач**

А.Д. Калюжный, К.Г. Сыровицкий, С.Н. Васюк, А.Р. Коваль

Комплектование, или как часто его называют, агрегатирования, сводится в основном к нахождению оптимального соотношения между кинематическими параметрами рабочих машин и скоростными режимами работы двигателя трактора. В целом вывод о правильности выбора той или иной передачи необходимо с учетом маневренных характеристик трактора и кинематических параметров рабочей машины. С увеличением ширины захвата агрегата пропорционально повышается его производительность, а для посевных машин, опрыскивателей и ряда других – повышается качество выполнения работы, вследствие уменьшения площади поля которая подвергается воздействию ходовых систем. При этом ширина захвата агрегата ограничивается, с одной стороны мощностью двигателя трактора, а с другой – ухудшением маневренности на поворотах и переездах. Скорость движения агрегата должна устанавливаться с учетом качества работы. Во многих случаях, скорость, которая определяется по энергонасыщенности трактора не может быть реализована вследствие агротехнологических или физиологических ограничений. Экономические ограничения скорости машинного агрегата обусловлены изменением энергозатрат на выполнение процесса, эксплуатационной надежности машин в составе агрегата, а также некоторым ухудшением использования времени смены. В каждом отдельном случае скоростные режимы работы необходимо уточнять с учетом физико-механических свойств грунтов, состояния поверхности поля, фаз развития растений, влажности почвы и других факторов которые влияют на качество работы. Рациональное сочетание ширины захвата и скорости движения агрегата зависит главным образом от технико-экономических показателей работы.

Ключевые слова: агрегат, комплектование, оптимальность, бесступенчатая трансмиссия, скорость движения, ширина захвата, мощность двигателя.

Abstract

**Justification of rational scientific methods of acquisition tractor units as part
of the tractor with a continuously variable transmission**

A.D. Kalyzhniy, K.G. Sirovitskiy, S.N. Vasjuk, A.R. Koval

Acquisition, or as it is often called, unitization, is primarily reduced to finding the optimal relationship between the kinematic parameters of working machines and high-speed modes of operation the tractor engine. Overall conclusion about the correctness of the choice of a particular transmission is needed to meet the maneuvering characteristics of the tractor and kinematic parameters of working machine. With increasing width of the unit increases in proportion to its performance, and for sowing machines, sprayers and some other higher quality of work, due to the reduction of the size of a field which is exposed to navigation systems. This working width is limited on one side by the power of the engine of the tractor and deterioration of maneuverability on turns and crossings. The speed of movement of the unit must be installed with quality work. In many cases, the speed, which is determined by emergency cheese tractor cannot be implemented due to agro-technological or physiological limitations. Economic speed limit machine units due to a change in energy consumption for the execution of operational reliability of machines in the unit, as well as some deterioration in the use of time shifts. In each case high-speed modes of operation need to be clarified with respect to physical and mechanical soil properties, surface conditions, field, phases of plant development, soil moisture and other factors that affect the quality of the work. The rational combination of working width and speed of the unit depends mainly on the technical and economic indicators of work.

Keywords: aggregate, completing, optimal, continuously variable transmission, speed, capture width, engine power.

Представлено від редакції: В.І. Мельник / Presented on editorial: V.I. Melnik

Рецензент: М.П. Артьомов / Reviewer: M.P. Artyomov

Подано до редакції / Received: 14.04.2015