



Ефективність використання машин в землеробстві Efficiency of use machines in agriculture

УДК 631.3

Вибір оптимального режиму функціонування агрегату на основі динамічних параметрів

М.Л. Шуляк

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенка (Харків, Україна) mihail_shulyak@mail.ru.*

Необхідність вибору оптимального режиму функціонування МТА є однією з важливих задач сучасної науки. З великою ймовірністю можливо стверджувати що, методи оцінки тягово-динамічних і економічних властивостей потребують змін в умовах сучасного тракторобудування.

Рух агрегату, що встановився, розглядається в багатьох наукових роботах, без врахування, як коливання швидкості так і наявність прискорення при виконання технологічних операцій. Підхід до вибору режиму роботи МТА на основі статичних тягових або експлуатаційних характеристик свідомо вносить великі помилки, і як результат призводить до неможливості теоретичної оцінки оптимального режиму роботи МТА.

Рушійна сила, що створюється двигуном і взаємодією ходової частини з ґрунтом, коливається. Це обумовлено коливаннями крутного моменту двигуна, із-за нерівномірності подання палива і інших чинників, але головним чином змінами властивостей ґрунту в часі і просторі (шляху). Це змінні зчіпні властивості ґрунту, її щільність, вологість, різний макро- і мікрорельєф і так далі.

Рух, що встановився, треба розглядати як послідовність прискорень і уповільнень МТА. Надлишок або запас потужності використовується для розгону МТА. Оскільки додаткове підвищення швидкості веде до зростання опору і погіршення якості технологічної операції, можна стверджувати, що частина потужності витраченої двигуном на розгін МТА буде безповоротно втрачена. Для вибору оптимального режиму роботи МТА необхідно оцінювати динамічні втрати при русі, що встановився, виникаючі при коливанні дійсної швидкості руху і динамічної складової буксування. Для МТА, в складі яких функціонують машини змінної маси, запропонований динамічний метод, дозволить контролювати зміну режимів під час виконання технологічних операцій, та без втрати якості операції досягти більш ефективного їх використання.

Ключові слова: *прискорення трактора, тягово-динамічні властивості, експериментальні дослідження, тягова характеристика*

Постановка проблеми. Адаптація енергонасичених тракторів при виконанні заданої технологічної операції, без урахування зміни сил опору, в залежності від коливань швидкості і маси, зменшує ефективність, за рахунок не повного використання їх потенційних можливостей і додаткової витрати палива при роботі на режимах недозавантаження двигуна. Можливим напрямом вирішення даного питання є застосування систем керування, які можуть коригувати регулюючий вплив на тракторний агрегат, враховуючи коефіцієнти посилення тракторного агрегату по швидкості і масі, змінювати режими роботи двигуна; для цього необхідно розробити критерії вибору цього режиму в польових умовах.

Аналіз останніх досліджень. Відомо, що будь-які зміни швидкості призводять до додаткової витрати енергії машини. Однак у відомій літературі [1, 2], присвяченій енергетичній ефективності транспортно-тягових машин, дослідженню зазначеного питання не приділено належної уваги.

При сталому режимі швидкість V в середньому залишається постійною, але всередині циклу змінюється від максимальної V_{\max} до мінімальної V_{\min} , це оцінюють коефіцієнтом нерівномірності, що характеризує розмах коливань [3].

Відомо, що найменша витрата палива досягається при русі тракторного агрегату на гоні з постійною швидкістю [4]. Для досягнення цієї

умови необхідно розглянути МТА, як багатомірну систему з керованими параметрами, що впливають на коливання швидкості при режимі руху агрегату, що встановився.

В роботі [5] розглядаються загальні причини виникнення коливань швидкості та встановлений коефіцієнт k , який при рівномірному русі відповідатиме $k = 1$:

$$k = \frac{\dot{V}_{\delta 6}}{(\dot{V}_f + \dot{V}_\delta \pm \dot{V}_a \pm \dot{V}_w \pm \dot{V}_i + \dot{V}_{kp})}, \quad (1)$$

В випадку $k > 1$ отримуємо умову розгону, а при $k < 1$ – уповільнення МТА.

Встановлені фактори, що задають коливання миттєвої швидкості при русі агрегату, що встановився. Так як

$$m_{tp}, m_{cx}, \quad g = \text{const},$$

$$G_{az} = f\left(\frac{dm_{zp}}{dt} \cdot t\right)$$

чи $G_{az} = f(m_{zp}),$

з врахуванням

$$n_n = f(M_e),$$

а $\lambda_\theta = f(G_{az})$

коливання швидкості є функцією:

$$\Delta V_\theta = f(M_e, S_\theta, k_v, j, m_{zp}) \quad (2)$$

де M_e – ефективний момент двигуна; S_θ – дійсний шлях, що пройшов агрегат; k_v – значення питомого опору; m_{zp} – маса вантажу при застосуванні машин змінної маси.

Рух транспортно-тягової машини, що встановився, відбувається при постійному значенні середньої швидкості V_θ , а рівномірне – при постійному значенні миттєвої швидкості руху $V_{\theta i}$. Тобто при оцінці роботи МТА при русі, що встановився, приймають середнє значення швидкості на якомусь пройденому шляху S не враховуючи коливання швидкості, відповідно не оцінюючи втрати енергії, викликані цими коливаннями. Як підсумок цього ми отримуємо витрату палива, яка не відповідає витраті в реальній експлуатації.

Проводити оцінку додаткових енерговитрат доцільно робити по запропонованій в роботі [6] методиці. Для вирішення завдання визначення додаткових втрат енергії, обумовлених коливаннями тягової сили і сумарної сили опору руху, скористаємося методом парціальних прискорень. Шляхом інтеграції отримаємо

рівняння парціальних швидкостей (3), яке представимо у вигляді:

$$V = V_n + V_{pk} + V_{pc}, \quad (3)$$

де V_{pk}, V_{pc} – парціальні швидкості створювані змінами тягової сили P_k , та сумарною силою опору руху $P_{c\Sigma}$, відповідно:

$$V_{pk} = \frac{A_{pk}}{m \cdot \Omega} \cos(\Omega \cdot t); \quad (4)$$

$$V_{pc} = \frac{A_{pc}}{m \cdot \Omega_1} [\cos(\Omega_1 \cdot t + \Delta)]. \quad (5)$$

Парціальні швидкості V_{pk} і V_{pc} змінюються незалежно одна від одної за своїми законами, в чому проявляється принцип суперпозиції в механіці.

Падіння кінетичної енергії машини за один період коливання тягової сили буде дорівнювати:

$$\Delta W_{pk\max} = \frac{m}{2} (V_{pk\max}^2 - V_{pk\min}^2) = m \Delta V_{pk\max} \cdot \bar{V}, \quad (6)$$

де $\Delta V_{pk\max}$ – максимальна зміна парціальної швидкості, що створюється тяговою силою за один період її коливання.

Втрати енергії машини за час t , обумовлені коливаннями тягової сили P_k і сумарної сили опору руху $P_{c\Sigma}$:

$$\Delta W = \left(\frac{\Delta W_{pk\max}}{T_{pk}} + \frac{\Delta W_{pc\max}}{T_{pc}} \right) t, \quad (7)$$

$$\Delta W = \frac{A_{pk} + A_{pc}}{\pi} S. \quad (8)$$

Рівняння (8) дозволяє визначити додаткову витрату енергії машини, обумовлену коливаннями тягової сили і сумарної сили опору руху, за умови, що відомі амплітуди коливань A_{pk}, A_{pc} та дійсний пройдений шлях.

В роботі зазначено [7] енергетичні спектри або спектральні щільності кутових або лінійних коливань і прискорень, що дають вичерпну характеристику динамічної системи. За ними визначаються всі параметри плавності ходу, а в лінійній постановці питання дисперсії і середні квадратичні значення амплітуд коливань і частоти, при яких виникають їх максимальні значення. Вони дають можливість визначити, що є джерелом резонансних коливань системи – збудження або сама система.

Основна частина. Рушійна сила, що створюється двигуном і взаємодією ходової частини з ґрунтом, коливається. Це обумовлено коливаннями крутного моменту двигуна, із-за нерівномірності подання палива і інших чинників, але головним чином змінами властивостей ґрунту в часі і просторі (шляху). Це змінні зчіпні властивості ґрунту, його щільність, вологість, різний макро- і мікрорельєф і так далі.

Ще більше змінюються сили опору пересуванню агрегату внаслідок змінних властивостей оброблюваного матеріалу і неоднорідності властивостей робочих органів машин і їх регулювань.

Одночасно відбувається, хоча і плавніше, зміна приведеної маси агрегату із-за коливання кутової швидкості мас, що обертаються, у функції змінного подання або властивостей оброблюваного матеріалу, а також зміну наповненості бункерів, банок, насінневих ящиків машин. Спільна дія вказаних чинників призводить до змінних за знаком коливань прискорень при русі агрегату, викликаючи зміну його.

Рух агрегату, що встановився, розглядається в багатьох наукових роботах, без врахування, як коливання швидкості (рис. 1) так і наявність прискорення (рис. 2) при виконання технологічних операцій. Підхід до вибору режиму роботи МТА на основі статичних тягових або експлуатаційних характеристик свідомо вносить великі помилки, і як результат призводить до неможливості теоретичної оцінки оптимального режиму роботи МТА.

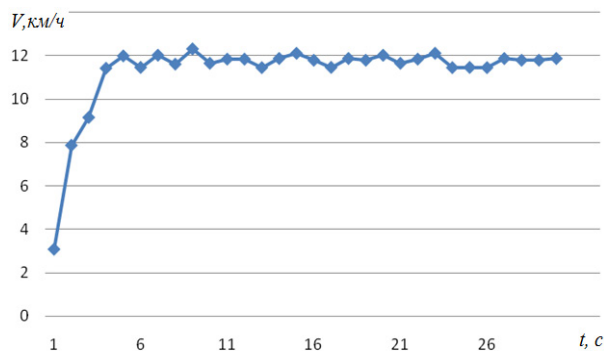


Рис. 1. Дійсна швидкість руху трактора ХТЗ-17221-09

Проаналізувавши результати досліджень швидкості та прискорення МТА при русі, що встановився можливо зробити висновок, що класичний підхід вибору режиму не враховує багато динамічних факторів.

Рух, що встановився, треба розглядати як послідовність прискорень і уповільнень МТА. При розгоні МТА потужність двигуна, підведена до коліс, витрачається на подолання сили опору коченню, сили аеродинамічного опору,

розсіюється в контакті ведучих коліс з дорогою внаслідок буксування останніх. Надлишок або запас потужності використовується для розгону МТА. Оскільки додаткове підвищення швидкості веде до зростання опору і погіршення якості технологічної операції, можна стверджувати, що частина потужності витраченої двигуном на розгін МТА буде безповоротно втрачена.

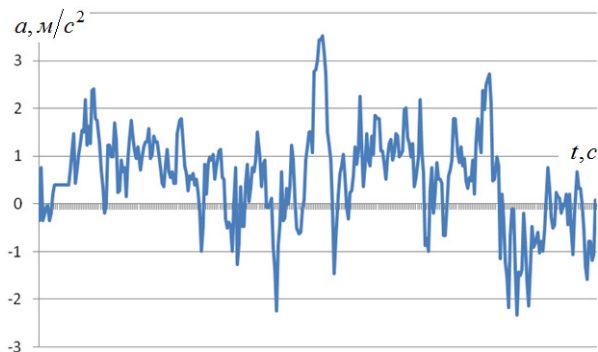


Рис. 2. Фрагмент коливань прискорення трактора ХТЗ-17221-09 (ось x)

Коливання швидкості рис. 1 перевищило допустимі межі 2% [3], а прискорення від середнього значення $a_{cp} = 0,47$ відхилилося більша ніж в 5 разів.

Тобто коливання прискорення під час виконання технологічної операції ведуть до погіршення, як її якості, так і паливно-економічних показників роботи агрегату в цілому. При дослідженні факторів, що викликають коливання миттєвої швидкості та прискорення було виявлено, що саме прискорення є результатом роботи всіх сил прикладених до агрегату.

Дослідження прискорення МТА в складі МТЗ – 80 та плуга ПЛН 3-35 дозволяють стверджувати, що на коливання прискорення при інших рівних умовах суттєво впливає режим роботи агрегату рис. 3. Для аналізу масивів даних, отриманих при дослідженні, можливо застосувати розподіл випадкової вірогідності, проте вона спирається на закон вірогідності, використання якого для практичних завдань майже виключено. Тут закон розподілу зазвичай невідомий, або відомий з точністю до деяких невідомих параметрів. Зокрема, неможливо розрахувати точне значення відповідних вірогідностей, оскільки не можна визначити кількість загальних результатів, або в різних дослідках вона різна. Тому вводиться статистичне визначення вірогідності. За цим визначенням вірогідність дорівнює відношенню числа випробувань, в котрих подія сталася, до загального числа здійснених випробувань. Така вірогідність називається статистичною частотою (табл. 1).

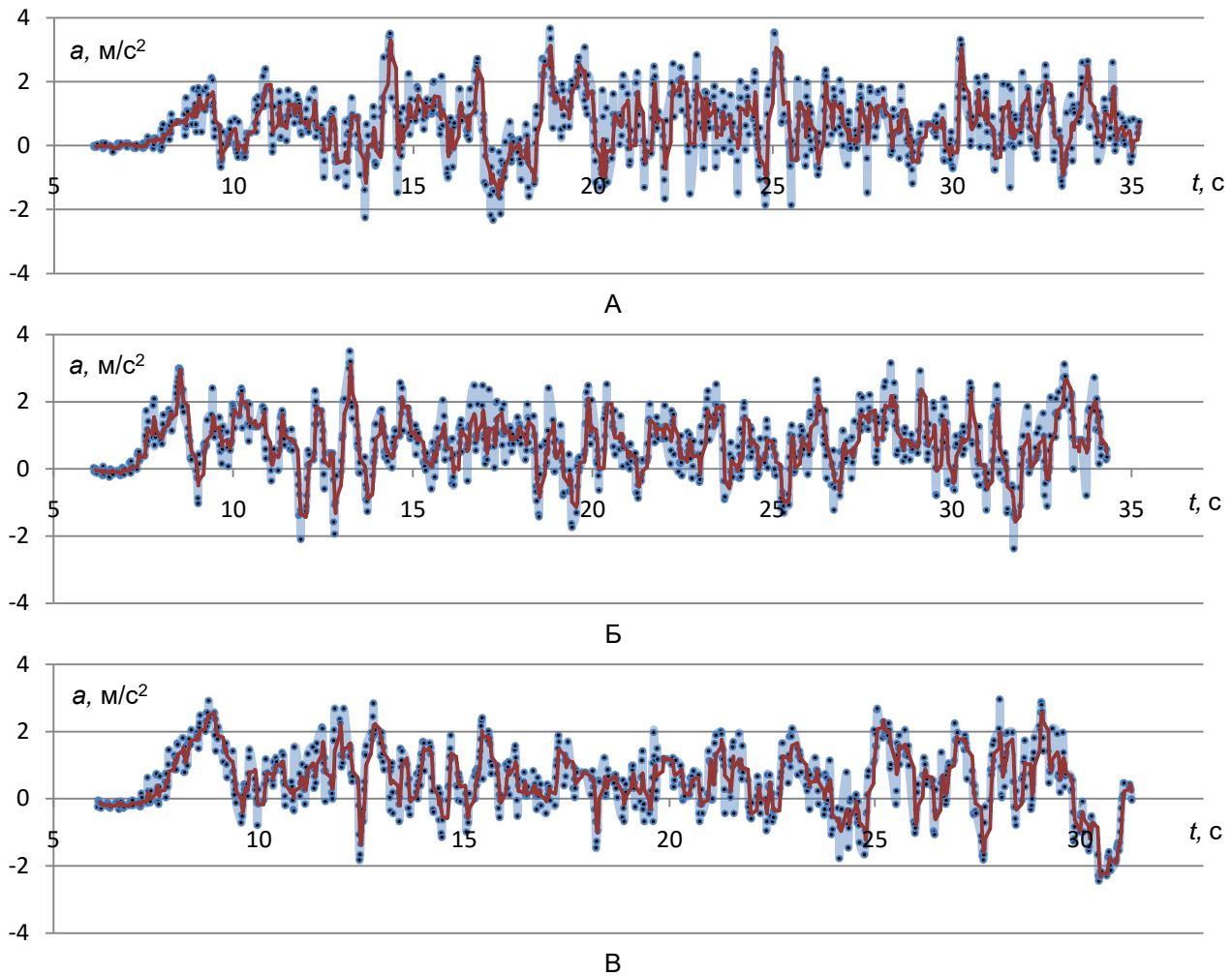


Рис. 3 Прискорення МТЗ – 80 та плуга ПЛН 3-35: А — перевантаження, робота двигуна на коректорній характеристиці; Б — недовантаження двигуна; В — номінальний режим роботи, вибраний по стандартним методикам

Таблиця 1. Статистичне визначення вірогідності розподілу прискорень МТА.

Прискорення МТА	Абсолютна частота	Відносна частота	Абсолютна частота	Відносна частота	Абсолютна частота	Відносна частота
	Режим недовантаження		Режим перевантаження		Оптимальний режим	
-3,5	5	0,003698	0	0	0	0
-3	6	0,004438	0	0	0	0
-2,5	3	0,002219	2	0,001671	0	0
-2	8	0,005917	11	0,00919	8	0,008782
-1,5	14	0,010355	21	0,017544	13	0,01427
-1	31	0,022929	39	0,032581	9	0,009879
-0,5	53	0,039201	74	0,061821	42	0,046103
0	221	0,193047	183	0,152882	241	0,264544
0,5	211	0,156065	219	0,182957	184	0,201976
1	288	0,213018	272	0,227235	149	0,163557
1,5	219	0,161982	165	0,137845	109	0,119649
2	143	0,105769	116	0,096909	78	0,08562
2,5	77	0,056953	57	0,047619	54	0,059276
3	27	0,01997	30	0,025063	18	0,019759
3,5	6	0,004438	8	0,006683	6	0,006586

Зв'язок між емпіричною функцією розподілу і функцією розподілу (теоретичною функцією розподілу) такий же, як і зв'язок між частотою здійснення і його вірогідністю.

Отримані результати розподілимо відносно інтервалу карманів (-3,5 - 3,5 значення прискорення) та отримаємо абсолютну та відносну частоту розподілу. З таблиці видно, що у випадку оптимального режиму роботи значення прискорення знаходиться діапазоні -0,5 - 0,5 в 51,2% (рис. 4,в), а для недовантаження та перевантаження 39,7 (рис. 4,б) і 38,8 (рис. 4,а) відповідно. Також слід звернути увагу на те, що прискорення в усіх режимах має в більшості випадків додатне значення – на це необхідно зважати при подальшому аналізі. При додатному значенні прискорення швидкість МТА повинна збільшуватися, та цього не відбувається, проте коливання її залежать від режиму (рис. 5). Вже зазначалося, що при розгоні МТА потужність двигуна, підведена до коліс, розсіюється в контакт з ведучих коліс з дорогою внаслідок буксування останніх.

Найменші коливання швидкості відповідають оптимальному режиму (рис. 5,а), як і передбачалося. Потрібно звернути увагу, що при виборі

режиму роботи МТА з врахуванням додаткових втрат, на основі динамічного фактору – прискорення, можливо в короткий строк перевірити багато варіантів, в тому числі на часткових швидкісних режимах. Відомо, що найбільш економічний режим роботи двигуна – це номінальний. Тому при виборі режиму роботи МТА необхідно прагнути використати потенційні можливості його двигуна на максимум.

Але прискорення не дозволяє встановити необхідність зменшення або збільшення завантаження двигуна, бо відхилення в обох напрямках призводять до збільшення коливань, тому встановлення режиму роботи займе більше часу, ніж потрібно. Потрібен додатковий фактор, що дозволить швидко встановити ступінь використання ефективної потужності двигуна. Таким фактором, який досить просто контролювати при експериментальних дослідженнях, є буксування рушіїв трактора. Відомо, що буксування є функцією прикладеної сили [8, 9], тому саме воно є тим необхідним параметром, що надасть більш повну характеристику завантаження двигуна трактора (рис. 6), а його динамічна складова доповнить характеристику по прискоренню.

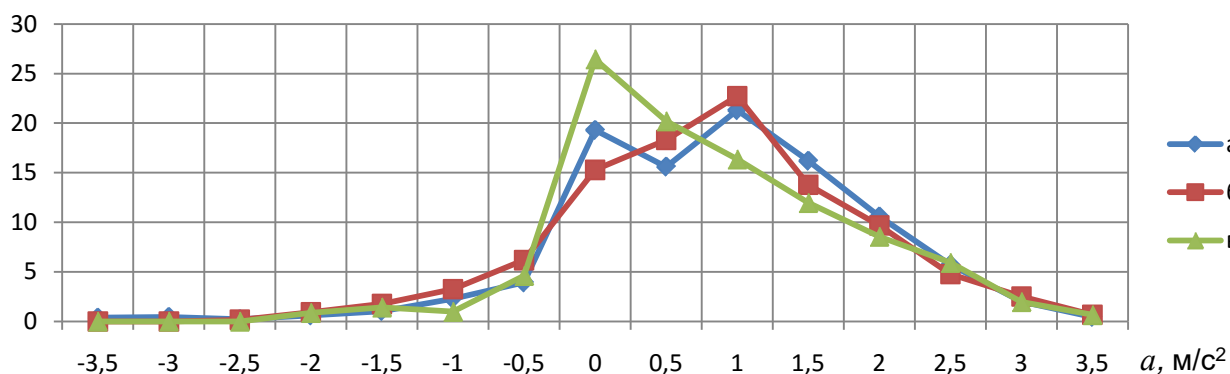


Рис. 4. Розподіл значення прискорень МТА в залежності від режиму роботи: а – режим перевантаження; б – режим недовантаження; в – оптимальний режим

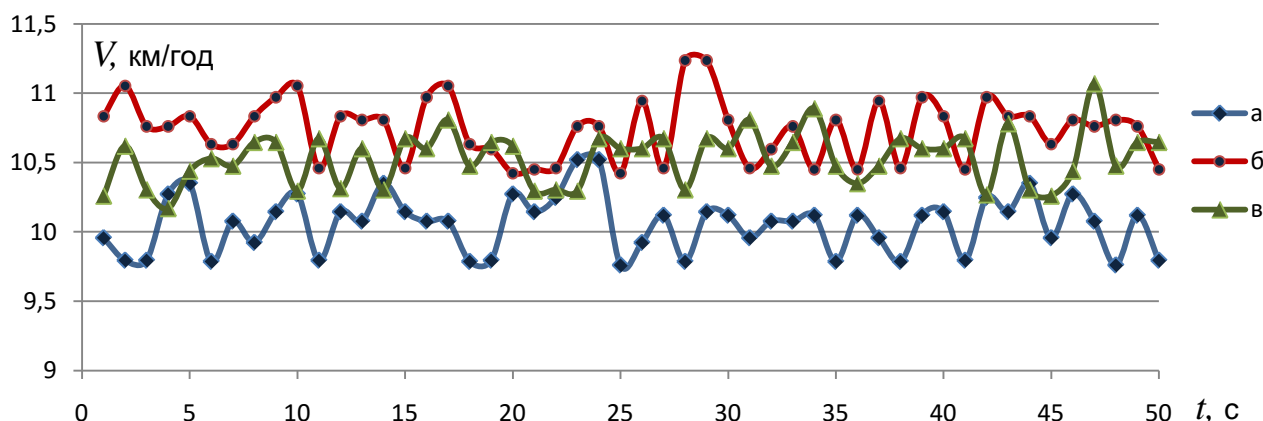


Рис. 5. Швидкість руху МТА при виконанні технологічної операції: а – перевантаження; б – недовантаження; в – оптимальний режим

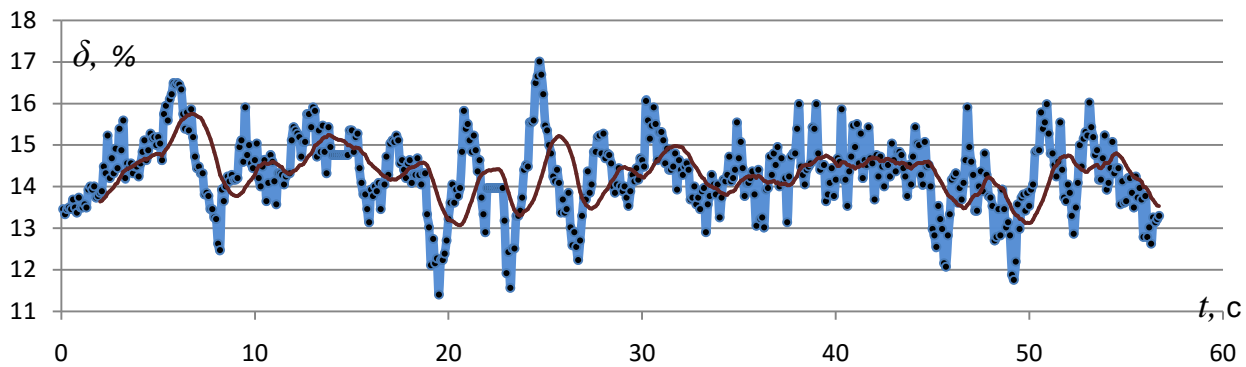


Рис. 6. Буксування рушіїв трактора МТЗ – 80 при виконанні основної обробки ґрунту (робота на VI передачі)

Застосування буксування другим діагностичним параметром зменшить кількість необхідних експериментів та дозволить після першого ж досліду встановити подальший напрям – зменшувати, чи збільшувати завантаження двигуна. А динамічна складова буксування відповість на питання куди витрачається сила, що задає додатне прискорення.

Середнє значення буксування рушіїв трактора в оптимальному режимі було на рівні 14 - 14,5 %, в режимі перевантаження 21 - 23 %, а в режимі недовантаження 7,5 - 8%. Проте слід зауважити, що в режимі недовантаження розмах коливань був більший ніж в оптимальному режимі, що дозволяє зрозуміти куди в цьому режимі витрачається надлишок сили.

Висновки.

1. Рух, що встановився, треба розглядати як послідовність прискорень і уповільнень МТА. Надлишок або запас потужності використовується для розгону МТА. Оскільки додаткове підвищення швидкості веде до зростання опору і погіршення якості технологічної операції, можна стверджувати, що частина потужності витраченої двигуном на розгін МТА буде безповоротно втрачена.

2. Для вибору оптимального режиму роботи МТА необхідно оцінювати динамічні втрати при русі, що встановився, виникаючі при коливанні дійсної швидкості руху і динамічної складової буксування.

3. Для МТА, в складі яких функціонують машини змінної маси, запропонований динамічний метод, який дозволить контролювати зміну режимів під час виконання технологічних операцій, та без втрати якості операції досягти більш ефективного їх використання.

Література

1. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте [Текст] / Н.Я. Говорущенко. – М.: Транспорт, 1990. – 135 с.

2. Гащук П.Н. Энергетическая эффективность автомобиля [Текст] / П.Н. Гащук. – Львов: Світ, 1992. – 208 с.

3. Важенин А.Н. Регулирование движения МТА [Текст] / А.Н. Важенин, Б.А. Арютов, А.В. Пасин // Трактора и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 2. – С. 28 - 29.

4. Лебедев А.Т. Энергозберігаючий режим руху тракторного агрегату на гоні [Текст] / А.Т. Лебедев, С.А. Лебедев // Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ: – Харків: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 107. – С. 5 - 11.

5. Шуляк М.Л. Колебание скорости МТА переменной массы при установившемся режиме движения [Текст] / М.Л. Шуляк // Motrol Commision of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, 2015. – Vol.17, № 7. – С. 23 - 29.

6. Подригало М.А. Оценка дополнительных энергетических потерь при установившемся режиме движения транспортно тяговых машин [Текст] / М.А. Подригало, Н.П. Артемов, Д.В. Абрамов, М.Л. Шуляк // Механіка та машинобудування «ХПІ». – Харків: ХПІ, 2015. – Вип. 9. – С. 98 - 107.

7. Шуляк М.Л. Вплив рельєфу несучої поверхні на коливання швидкості руху МТА [Текст] / М.Л. Шуляк // Вісник ТДАУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – Вип. 15, т. 3. – С. 149 - 156.

8. Лебедев А.Т. Опір перекошування колеса, що працює з буксуванням [Текст] / Лебедев А.Т., Калінін Є.І., Шуляк М.Л. // Сільськогосподарські машини: зб. наук. праць ЛНТУ. – Луцьк: ЛНТУ, 2015. – Вип. 32. – С. 109 - 116.

9. Ребров А.Ю. Анализ аналитических зависимостей для определения коэффициента буксования тракторных шин [Текст] / А.Ю. Ребров, В.В. Кучков // Харків: НТУ ХПІ. – 2012. – №. 64. – С. 22-25.

Аннотация**Выбор оптимального режима функционирования агрегата на основе динамических параметров****М.Шуляк**

Необходимость выбора оптимального режима функционирования МТА является одной из важных задач современной науки. С большой вероятностью можно утверждать, что методы оценки тягово-динамических и экономических свойств требуют изменений в условиях современного тракторостроения. Установившееся движение агрегата рассматривается во многих научных работах, без учета, как колебания скорости, так и наличия ускорения при выполнении технологических операций. Подход к выбору режима работы МТА на основе статических тяговых или эксплуатационных характеристик сознательно вносит большие ошибки и, как результат, приводит к невозможности теоретической оценки оптимального режима работы МТА.

Движущая сила, создаваемая двигателем и взаимодействием ходовой части с почвой, колеблется. Это обусловлено колебаниями крутящего момента двигателя, из-за неравномерности подачи топлива и других факторов, но главным образом изменениями свойств почвы во времени и пространстве (пути). Это переменные сцепные свойства почвы, ее плотность, влажность, разный макро- и микрорельеф и так далее.

Установившееся движение надо рассматривать как последовательность ускорений и замедлений МТА. Избыток или запас мощности используется для разгона МТА. Поскольку дополнительное повышение скорости ведет к росту сопротивления и ухудшению качества технологической операции, можно утверждать, что часть мощности, затраченной двигателем на разгон МТА, будет безвозвратно потеряна. Для выбора оптимального режима работы МТА необходимо оценивать динамические потери при установившемся движении, которые возникают при колебании действительной скорости движения и динамической составляющей буксования. Для МТА, в составе которых функционируют машины переменной массы, предложенный динамический метод позволит контролировать изменение режимов при выполнении технологических операций, и без потери качества операции достичь более эффективного их использования.

Ключевые слова: ускорение трактора, тягово-динамические свойства, экспериментальные исследования, тяговая характеристика.

Abstract**Selection of the optimal mode of functioning the unit based on dynamic parameters****M.L. Shuliak**

The need to select the optimum mode of functioning of the MTU is one of the most important problems of modern science. With high probability, it can be argued that the methods for estimating trailer dynamic and economic characteristics require changes in the modern tractor industry.

Steady motion of unit is regarded in many scientific works, excluding the oscillations of speed and the presence of acceleration during technological operations. The approach to the selection of the operating mode of MTU based on static traction or operating characteristics knowingly contributes big mistakes and as a result, makes it impossible to assess the theoretical optimum performance the MTU.

The driving force generated by the interaction of the engine and running gear with the soil varies. This is due to variations in the engine torque due to the unevenness of fuel and other factors, but primarily soil properties change over time and space (path). This variable coupling properties of the soil, its density, humidity, different macro and micro relief and so on.

Steady movement must be seen as a series of accelerations and decelerations the MTU. Excess or power supply is used to disperse the MTU. As an additional increase in speed leads to increased resistance and deterioration technological operation, it can be argued that part of the power consumed in the motor acceleration MTU will be permanently lost. To select the optimal operation of the MTU is necessary to assess the dynamic losses in steady motion, vibrations that occur when the actual vehicle speed and the dynamic component of slipping. For the MTU, a part of which operate the machine with variable mass, the proposed dynamic method allows to control mode change when the technological operations, and without any quality loss surgery to achieve a more effective use.

Keywords: acceleration of the tractor, traction and dynamic properties, experimental research, traction characteristics.

Представлено: Е.Е. Александров / Presented by: E.E. Aleksandrov

Рецензент: М.Г. Сандомирский / Reviewer: M.G. Sandomirskiy

Подано до редакції / Received: 16.09.2015