

Лебедєв А.Т.,

Калінін Є.І.

Харківський національний
технічний університет
сільського господарства
імені П.Василенка,
м. Харків, Україна,
E-mail: kalininhtusg@gmail.com

**ЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА
МОТОРНО-ТРАНСМІСІЙНОЇ
УСТАНОВКИ ТРАКТОРА**

УДК 629.3.014-235

В роботі досліджується моторно-трансмiсiйна установка трактора в безперервнiй енергетичнiй взаємодiї двигуна внутрiшнього згорання, трансмісії і робочої машини трактора. При цьому виділені передавальні і захисні властивості трансмісії, за якими оцінюється відповідність енергетичного потенціалу двигуна і енергоємності робочої машини, яка агрегується з трактором. Запропоновано оцінювати витрати енергії на дисипації за кількістю енергії, витраченої на тертя або буксування елементів трансмісії, не в певний час, а за проміжок часу. Виділено генеруючі і демпфуючі властивості моторно-трансмiсiйних установок трактора. Відзначено, що генеруючі властивості характеризують стан елементів трансмісії і не пов'язані з напрямком енергетичного потоку; а демпфуючі властивості, які визначаються інерційними, пружними елементами трансмісії, характеризуються зниженням амплітуди змінної складової моменту в прямому енергетичному потоці трансмісії.

Ключові слова: трансмісія трактора, дисипація енергії, енергетичний потенціал двигуна, енергоємність робочої машини

Вступ. При тенденції, що намітилася в останні роки, підвищення потужності тракторних двигунів внутрiшнього згорання і застосування різноманітних конструкцій трансмісій ставить проблему забезпечення ефективного їх функціонування як основних елементів тракторів. В умовах ринкової економіки первинне значення має їх оптимізація за енергетичними показниками.

Аналіз основних публікацій, досліджень. Енергетична оцінка елементів трактора (двигуна, трансмісії і т.п.) спрямована в основному на підвищення його енергозбереження [1, 2, 7]. При цьому у ряді робіт [3, 4] енергетична ефективність тракторів оцінюється за рівнем реалізації їх енергетичного потенціалу, який характеризує реактивні втрати потужності, викликані коливанням їх силових і кінематичних складових. Одночасно в даних роботах звернута увага на невирішену проблему витрат енергії на дисипативні явища двигуна і трансмісії трактора.

Метою даної роботи є дослідження енергетичних параметрів моторно-трансмiсiйної установки трактора при нестабільних навантажувальних режимах роботи двигуна.

Вирішення задачі. Моторно-трансмiсiйна установка (МТУ) призначена для передачі енергії двигуна рушіям трактора, регулювання його тягово-швидкісного режиму роботи, а також для забезпечення приводу робочих органів машин, що агрегуються. З енергетичної точки зору машинно-тракторний агрегат (МТА), основою якого є трактор, являє собою автономну систему, що складається з джерела енергії – двигуна внутрiшнього згорання (ДВ), споживача енергії – робочої машини (РМ) і перетворювача енергії – трансмісії (ТР) (рис. 1).



Рис. 1 – Машино-тракторний агрегат як енергетична система:

$M_{об}$ – крутний момент на валу ДВ; $\omega_{об}$ – частота обертання валу ДВ; $F_{т}$ – сила тяги на гаку трактора;
 v – швидкість руху МТА

За даною схемою суть енергетичного процесу МТА полягає в безперервній енергетичній взаємодії ДВ і РМ. При цьому від ДВ до РМ через ТР йде прямий енергетичний потік. У зворотному напрямку через ТР передається реакція навантаження на ДВ.

Враховуючи дві протилежно спрямовані взаємодії, які показані на рис. 1 стрілками, можна виділити основні властивості ТР, що пов'язані з енергетичним процесом – передавальні і захисні. Передавальні властивості характеризують проходження через ТР прямого енергетичного потоку від ДВ до споживача, захисні властивості сприяють створенню найкращого енергетичного режиму роботи ДВ.

Відомо, що продуктивність МТА за певний період часу залежить від кількості енергії $A_{рм}$, яка підведена до РМ:

$$W_a = \psi A_{рм}, \quad (1)$$

де ψ – коефіцієнт енергоємності технологічного процесу, який виконується МТА.

У той же час $A_{рм}$ залежить від кількості енергії A_n , виробленої ДВ, і втрат енергії ΔA при передачі через ТР до РМ:

$$A_{рм} = A_n - \Delta A. \quad (2)$$

Дана залежність характеризує вплив передавальних і захисних властивостей ТР на кількість енергії, що підводиться до РМ. При цьому передавальні властивості ТР впливають на кількість енергії, що підводиться від ДВ до РМ. Кількісно їх можна оцінити втратами енергії ΔA за розглянутий проміжок часу T безперервної роботи трактора на прямолінійній ділянці.

Захисні властивості ТР виконуються при узгодженні режиму роботи ДВ з РМ шляхом формування рівня і характеру зміни навантаження на валу ДВ. При цьому за допомогою ТР здійснюється вибір режиму роботи ДВ в залежності від моменту навантаження на РМ і згладжується або, навпаки, посилюється змінна складова моменту навантаження на валу ДВ.

До числа основних властивостей слід віднести і генеруючі властивості ТР. Ці властивості складаються, з одного боку, в здатності ТР або її ланок збуджувати змінну складову моменту, а з іншого – створювати резонансні явища.

Передавальні властивості необхідно поділяти на перетворюючі і демпфуючі. Такий поділ пов'язаний з тим, що в прямому енергетичному потоці є як постійна, так і змінна складові крутного моменту, а отже і потужності. Властивості ТР впливати на постійну складову енергетичного потоку є перетворюючими, а на змінну складову – демпфуючими.

Одночасно необхідно відзначити, що перетворюючі властивості ТР залежать від ефективності роботи системи управління, втрат на дисипацію, енергоємності забезпечення власних потреб. Ефективність роботи системи управління (регулювальні властивості) характеризується діапазоном регулювання по моменту і швидкості обертання та

його безперервністю. З енергетичної точки зору ці властивості визначають можливість реалізації робочою машиною енергії, яку виробив двигун. Інакше кажучи, ці властивості показують можливість приведення у відповідність енергетичного потенціалу ДВ і енергоємності РМ.

Крім того, властивості системи управління вельми важливі для забезпечення вимог технологічного процесу.

Під енергоємністю ΔA_0 власних потреб розуміється частина енергії ДВ, яка споживається допоміжними елементами, що забезпечують нормальну роботу ТР трактора (мастильний насос, вентилятор, генератор зарядки акумулятора і ін.). Вона може бути визначена розрахунком споживаної ними енергії, причому навантаження цих елементів вважають постійним.

Втрати на дисипації (дисипативні властивості) показують кількість енергії, витраченої на тертя або буксування елементів ТР за час спостереження T_0 . Ці властивості пов'язані з ККД силової передачі. Оскільки ККД для різних режимів роботи ТР має неоднакові значення, то найбільш правильно дисипативні властивості ТР визначати за кількістю енергії, виділеної в елементах ТР за час T :

$$\Delta A_t = \int_0^T N_t(1 - \eta_t) dt, \quad (3)$$

де $N_t = M_{\text{об}}^t \omega_{\text{об}}^t$ – миттєве значення потужності на валу ДВ; $M_{\text{об}}^t$ та $\omega_{\text{об}}^t$ – миттєві значення моменту і частоти обертання ДВ; η_t – миттєве значення ККД силової передачі.

Всі величини, що входять у вираз (3), отримують експериментально. Дисипативні властивості можна оцінити по середній вихідній потужності передачі $N_{\text{вихсер}}$ [5], яка визначається як математичне очікування функції, для якої відомий закон розподілу аргументу в діапазоні від $\omega_{\text{вих.мін}}$ до $\omega_{\text{вих.макс}}$:

$$N_{\text{вихсер}} = \int_{\omega_{\text{вих.мін}}}^{\omega_{\text{вих.макс}}} \varphi(\omega_{\text{вих}}) N_{\text{вих}}(\omega_{\text{вих}}) d\omega_{\text{вих}}, \quad (4)$$

де $\varphi(\omega_{\text{вих}})$ – щільність розподілу частоти обертання вихідного валу ТР; $N_{\text{вих}}(\omega_{\text{вих}})$ – функціональна залежність потужності на вихідному валу ТР від її частоти обертання.

Однак, може бути більш простий вихід. У загальному випадку раціональний тип ТР вибирається на основі сукупності її властивостей при рівних умовах, в тому числі з навантаженням трактора, а отже, і ТР.

При цьому немає необхідності виходити з однакової реалізації режиму навантаження у вигляді випадкової функції. Більш зручно ґрунтуватися на однозначності для порівнюваних варіантів ТР статистично впорядкованої навантажувальної діаграми.

Статистично впорядкована навантажувальна діаграма будується як ступінчаста функція, в якій всі значення, одержувані за час експерименту, розташовується за рівнем зменшення (рис. 2).

По вісі ординат відкладається відносний момент $M/M_{\text{макс}}$ (за базове значення приймається значення крутного моменту $M_{\text{макс}}$, що відповідає максимальному тяговому зусиллю трактора), по вісі абсцис – час перебування $T_{\text{пр}}$. Остання величина являє собою відносний час у відсотках, при якому була певна кількість того чи іншого значення моменту на валу силової передачі за весь час спостереження T_0 .

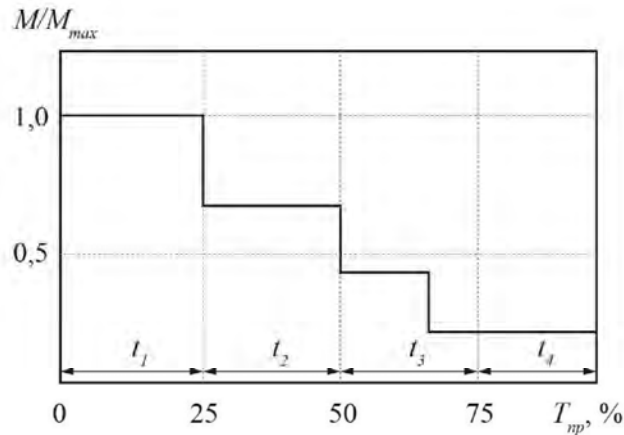


Рис. 2 – Статистично впорядкована навантажувальна діаграма моменту навантаження на валу силової передачі

Для визначення миттєвого значення ККД η_i , необхідні залежності $\eta = f(\omega_{вих})$ або $\eta = f(i)$ для альтернативних варіантів ТР. Слід зазначити, що при постійному значенні $\omega_{вих}$ криві $\eta = f(\omega_{вих})$ і $\eta = f(i)$ однакові (рис. 3).

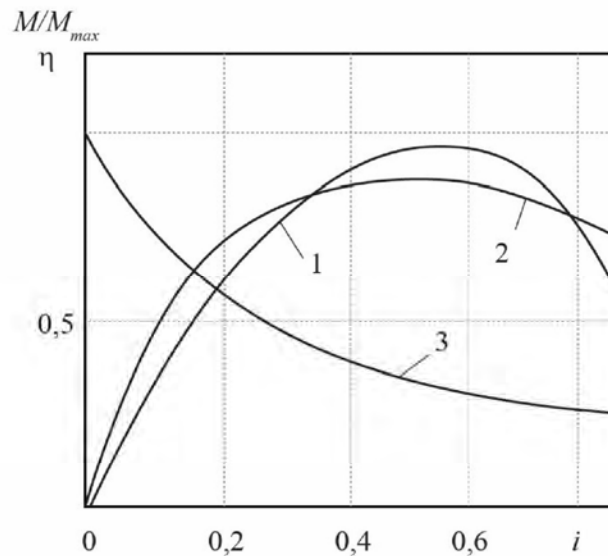


Рис. 3 – Залежність ККД η порівнюваних передач (1 та 2) і відносного моменту M/M_{max} (3) від передавального відношення i силової передачі

Зв'язок між статистично впорядкованою навантажувальною діаграмою і кривою $\eta = f(i)$ здійснюється за допомогою кривої $M_{вих} = f(\omega_{вих})$ або, в нашому випадку, $M/M_{max} = f(i)$ (крива 3 на рис. 3).

Втрати енергії за конкретний час перебування визначимо в наступному порядку.

Крім кривих, представлених на рис. 2 і 3, в якості вихідних даних необхідно мати значення моменту M_{max} і час спостереження T_0 .

Взявши значення M/M_{max} за відрізок часу t_1 (рис. 2) по кривій 3 (рис. 3) знаходимо значення частоти обертання вихідного валу $\omega_{вих} = \omega_{вх} i$. Для цього ж значення по кривій 1 або 2 знаходимо значення ККД, що відповідає даному режиму роботи ТР. Втрати енергії в ТР за час перебування t_1 ,

$$\Delta A_{t1} = M_{вих}^{(0)} \omega_{вих}^{(0)} \eta_{t1}^{-1} (1 - \eta_{t1}^{-1}) t_1, \quad (5)$$

де $M_{вих}^{(i)}$, $\omega_{вих}^{(i)}$ – момент і частота обертання на вихідному валу ТР в режимі роботи, який відповідає часу перебування t_i ; η_{i1} – значення ККД в цьому ж режимі.

Подібним чином будуть визначені ΔA_{i2} , ΔA_{i3} , ΔA_{i4} . Тоді за відрізок часу T втрати енергії:

$$\Delta A_i = \Delta A_{i1} + \Delta A_{i2} + \Delta A_{i3} + \Delta A_{i4}. \quad (6)$$

Таким чином, із застосуванням статистично впорядкованої навантажувальної діаграми кількісне визначення дисипативних властивостей зводиться до послідовного знаходження втрат енергії за відповідний час перебування, а потім до їх підсумовування.

Отже, інтеграл у виразі (3) замінюється сумою відповідно до виразу (6).

Переваги запропонованої методики визначення дисипативних властивостей в порівнянні з їх оцінкою на основі максимального ККД полягає в тому, що тут враховується не тільки значення ККД, але і час роботи з кожним його значенням. Так, на рис. 3 силова передача, яка відповідає кривій 1, має максимальне значення ККД більше, ніж у порівнюваного варіанту (крива 2). Однак по ΔA_i перший варіант може виявитися не кращим, якщо час перебування з навантаженнями, які відповідають найбільшому ККД, виявиться досить малим.

Моторно-трансмісійним установкам трактора властиві генеруючі і демпфуючі властивості [8, 9]. Генеруючі властивості не пов'язані з напрямком енергетичного потоку. Ці властивості характеризують локальний (в даний момент часу) стан елементів ТР. Демпфуючі властивості ТР характеризуються зниженням амплітуди змінної складової моменту в прямому енергетичному потоці ТР.

Джерело змінної складової – це, в основному, газові сили ДВ. Їх частота пропорційна частоті обертання ДВ і числу пар циліндрів. Амплітуда на вході силового приводу залежить від його вхідних динамічних параметрів. Ці властивості можуть незначно позначатися на енергетичних показниках трактора, в основному на міцність елементів МТУ.

Демпфуючі властивості ТР визначаються інерційними, пружними і дисипативними параметрами елементів ТР. Кількісно вони оцінюються коефіцієнтом демпфування моменту:

$$k_d = \Delta \bar{M}_{вих} / \Delta \bar{M}_{вх}, \quad (7)$$

де $\Delta \bar{M}_{вих} = \Delta M_{вих} / \Delta M_{вих.сер}$ – відносна зміна крутного моменту на виході ТР (знаходиться як відношення амплітуди змінної складової до середнього значення моменту на цьому валу); $\Delta \bar{M}_{вх} = \Delta M_{вх} / \Delta M_{вх.сер}$ – відносна зміна крутного моменту на валу ДВ, тобто на вході ТР (знаходиться як відношення амплітуди змінної складової до середнього значення моменту на цьому валу).

Як було відзначено, захисні властивості ТР формують рівень і характер зміни навантаження на валу ДВ. Відомо [5], що навантаження на гаку трактора, а отже, і на вихідному валу ТР можна розкласти в гармонійний ряд і представити у вигляді сімейства синусоїдальних складових різної частоти і амплітуди.

Таке уявлення дозволяє розділити навантаження на дві складові: динамічну і квазістатична. Під динамічною складовою навантаження будемо розуміти такий частотний діапазон навантажень, на який впливають інерційні, пружні і дисипативні характеристики елементів і в цілому ТР. До квазістатичної складової відносяться повільні зміни навантаження.

Виходячи з цього необхідно розділити захисні властивості на навантажують і фільтруючі.

Навантажуючі властивості характеризують ТР як об'єкт, що забезпечує згладжування квазістатичної складової навантаження, в результаті чого амплітуда квазістатичних змін навантаження на валу ДВ зменшується і при ідеальних захисних умовах стає постійною. Кількісну оцінку навантажувальних властивостей ТР слід проводити за коефіцієнтами k_M і k_n стабілізації моменту і швидкості:

$$k_M = (M_{\text{вх.мах}} - M_{\text{вх.мін}}) / (M_{\text{вих.мах}} - M_{\text{вих.мін}}), \quad (8)$$

$$k_n = (\omega_{\text{вх.мах}} - \omega_{\text{вх.мін}}) / (\omega_{\text{вих.мах}} - \omega_{\text{вих.мін}}). \quad (9)$$

Тут $M_{\text{вх.мах}}$, $M_{\text{вих.мах}}$, $\omega_{\text{вх.мах}}$, $\omega_{\text{вих.мах}}$ – моменти і частоти обертання на вході ТР (на валу ДВ) і виході ТР при максимальному навантаженні на вихідному валу ТР; $M_{\text{вх.мін}}$, $M_{\text{вих.мін}}$, $\omega_{\text{вх.мін}}$, $\omega_{\text{вих.мін}}$ – моменти і частоти обертання на вході і виході ТР при мінімальному навантаженні на вихідному валу ТР.

Фільтруючі властивості характеризують ТР як інерційно пружну і дисипативну систему. Вони забезпечуються інерційними (момент інерції), пружними (динамічна податливість) і дисипативними (ККД) властивостями елементів ТР і їх відношенням. Кількість фільтруючих властивостей можна оцінити за коефіцієнтом $k_{\Delta M}$ і $k_{\Delta \omega}$ стабілізації динамічного навантаження по моменту і по швидкості:

$$k_{\Delta M} = \Delta \bar{M}_{\text{вх}} / \Delta \bar{M}_{\text{вих}}; \quad (10)$$

$$k_{\Delta \omega} = \Delta \bar{\omega}_{\text{вх}} / \Delta \bar{\omega}_{\text{вих}}. \quad (11)$$

Тут $\Delta \bar{M}_{\text{вх}} = \Delta M_{\text{вх}} / M_{\text{ср.вх}}$ та $\Delta \bar{\omega}_{\text{вх}} = \Delta \omega_{\text{вх}} / \omega_{\text{ср.вх}}$ – середня зміна моменту і частоти обертання на вході ТР, які знаходяться як відношення змінної складової моменту і швидкості до їх середнього значення на цьому валу; $\Delta \bar{M}_{\text{вих}} = \Delta M_{\text{вих}} / M_{\text{ср.вих}}$ та $\Delta \bar{\omega}_{\text{вих}} = \Delta \omega_{\text{вих}} / \omega_{\text{ср.вих}}$ – те ж саме, але для вихідного валу ТР.

Найбільш повно фільтруючі властивості оцінюються частотними характеристиками $k_{\Delta M} = F(f)$ і $k_{\Delta \omega} = F(f)$, загальний вигляд яких показаний на рис. 4.

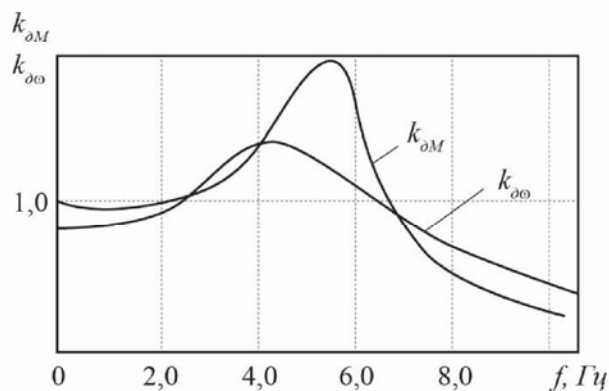


Рис. 4 – Загальний вигляд частотних характеристик на валу двигуна по моменту $k_{\Delta M}$ і частоті обертання $k_{\Delta \omega}$

Як бачимо, за допомогою частотних характеристик можна виділити частоти змінної складової навантаження, які не пропускаються ТР, пропускаються частково або повністю або, навіть, посилюються.

Такі характеристики особливо корисні на стадії проектування, так як отримана інформація дозволяє передбачити необхідні пристрої для поліпшення властивостей ТР.

Генеруючі властивості ТР, як було зазначено, неможливо пов'язати з спрямованими енергетичними взаємодіями – прямим енергопотокком або реакцією навантаження. Ці властивості характеризують локальний стан енергопередавальних елементів і вузлів ТР.

Властивості елементів або вузлів ТР збуджувати коливання назвемо збудливими, а властивості елементів створювати місцеві резонансні явища – резонуючими. Збудливими властивостями може володіти, наприклад, зубчаста пара при нерівномірному зачепленні. Як в сторону джерела, так і в бік навантаження від неї в цьому випадку будуть поширюватися коливання моменту, частота яких пропорційна частоті обертання даної зубчастої пари. Резонуючими властивостями може володіти елемент, який має, крім моменту інерції, істотну крутильне динамічну податливість. При цьому його власна частота може не збігатися з частотою змінної складової навантаження, але збігатися з частотою коливань, які збуджуються одним з елементів ТР.

Таким чином, при енергетичній оцінці моторно-трансмісійної установки трактора за критерієм енергозбереження необхідне вимірювання енергії двигуна, підведеної до робочої машини, і її втрати в трансмісії на дисипаційні явища.

Висновки. З підвищенням потужності тракторних двигунів внутрішнього згоряння і різноманітності конструкцій трансмісії, які є основною моторно-трансмісійної установки трактора, необхідна оцінка передавальних і захисних їх властивостей за енергетичним показником. При цьому передавальні властивості трансмісії оцінюються постійною складовою енергетичного потоку, демпфуючі – змінною складовою.

Запропоновано оцінювати енергетичну ефективність моторно-трансмісійної установки трактора за витратами енергії за певний проміжок часу. При цьому необхідно вимірювання енергії двигуна, підведеної до робочої машини, і її втрати в трансмісії на дисипації.

Література:

1. Взоров Б.А. Снижение расхода топлива сельскохозяйственными тракторами путем оптимизации режимов работы двигателей / Б.А. Взоров, К.К. Молчанов, С.В. Трепенков // Тракторы и сельхозмашины, – 1985. – №6. – С.10-14
2. Агеев Л.Е. Основы расчета оптимальных и допустимых режимов работы машинно-тракторных агрегатов / Л.Е. Агеев. – Л.: Колос, 1978. –290 с.
3. Погорельый Л.В. Устойчивость движения и энергетическая эффективность мобильных машинных агрегатов / Л.В. Погорельый. – М.: Доклады ВАСХНИЛ, 1980. – № 8.
4. Левцев А.П. Алгоритм расчета энергетического потенциала СХА [Текст] / А.П. Левцев, А.Г. Ванин, С.А. Мальцев, К.А. Миндров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2006. – № 4. – С. 28-31.
5. Барский И.Б. Динамика трактора / И.Б. Барский, В.Я. Анилович; Г.М. Кутьков. – М.: Машиностроение, 1975. – 325 с.
6. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 1977. – 479 с.
7. Калінін Є.І. Частотно-динамічна математична модель тракторного агрегату з передачею крутного моменту до рушіїв сільськогосподарської машини / Є.І. Калінін // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – 2015. – Вип. 156. – С. 327-334.
8. Калінін Є.І. Формування умови стійкості лінійної системи при випадкових збуреннях її параметрів / Є.І. Калінін, В.М. Романченко, Г.П. Юр'єва // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів – 2017. – № 7. – С. 100 -108.
9. Калінін Є.І. Дослідження перехідних процесів в коробці змінних передач мобільного енергетичного засобу / Є.І. Калінін, М.Л. Шуляк, І.О. Шевченко // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – 2016. – Вип. 168. – С. 73-79.

Summary

Lebedev A.T., Kalinin E.I. Energy evaluation of the tractor's power-transmission system

The paper examines the motor-transmission installation of the tractor in the continuous energy interaction of the internal combustion engine, transmission and the working machine of the tractor. At the same time, the transmitting and protective properties of the transmission have been singled out, according to which the conformity of the engine's energy potential and the energy intensity of the working machine, which is being aggregated with the tractor, is estimated. It is proposed to estimate the energy expenditure for dissipation by the amount of energy spent on friction or slippage of the transmission elements, not at a certain time, but over a period of time. Generating and damping properties of the tractor's motor-transmission units are singled out. It is noted that the generating properties characterize the state of the transmission elements and are not related to the direction of the energy flow; and the damping properties determined by the inertial, elastic elements of the transmission are characterized by a decrease in the amplitude of the variable torque component in the forward energy flow of the transmission.

Keywords: tractor transmission, energy dissipation, energy potential of the engine, energy consumption of the working machine

References

1. Vzorov B.A. Snizhenie rashoda topliva selskohozyajstvennymi traktorami putem optimizatsii rezhimov raboty dvigatelej / B.A. Vzorov, K.K. Molchanov, S.V. Trepenenkov // Traktory i selhozmashiny, – 1985. – №6. – S.10-14
2. Ageev L.E. Osnovy rascheta optimalnyh i dopustimyyh rezhimov raboty mashinno-traktornyh agregatov / L.E. Ageev. – L.: Kolos, 1978. –290 s.
3. Pogorelyj L.V. Ustojchivost dvizheniya i energeticheskaya effektivnost mobilnyh mashinnyh agregatov / L.V. Pogorelyj. – M.: Doklady VASHNIL, 1980. – № 8.
4. Levcev A.P. Algoritm rascheta energeticheskogo potentsiala SHA [Tekst] / A.P. Levcev, A.G. Vanin, S.A. Malcev, K.A. Mindrov // Traktory i selskohozyajstvennye mashiny. – 2006. – № 4. – S. 28-31.
5. Barskij I.B. Dinamika traktora / I.B. Barskij, V.Ya. Anilovich; G.M. Kutkov. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 325 s.
6. Gmurman V.E. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika / V.E. Gmurman. – M.: Vysshaya shkola, 1977. – 479 s.
7. Kalinin E.I. Chastotno-dinamichna matematichna model traktornogo agregatu z poredacheyu krutnogo momentu do rushiyiv silskogospodarskoyi mashini / E.I. Kalinin // Visnik HNTUSG im. Petra Vasilenka. – 2015. – Vip. 156. – S. 327-334.
8. Kalinin E.I. Formuvannya umovi stijkosti linijnoyi sistemi pri vipadkovih zbu-rennyah yiyi parametriv / Ee.I. Kalinin, V.M. Romanchenko, G.P. Yur'yeva // Tehnichnij servis agropromislo- vogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv – 2017. – № 7. – S. 100 -108.
9. Kalinin E.I. Doslidzhennya perehidnih procesiv v korobci zminnih peredach mobil-nogo energetichnogo zasobu / E.I. Kalinin, M.L. Shulyak, I.O. Shevchenko // Visnik HNTUSG im. Petra Vasilenka. – 2016. – Vip. 168. – S. 73-79.