

Лебедєв А.Т.,

Шуляк М.Л.

Харківський національний технічний
університет сільського господарства
ім. Петра Василенка, г. Харків,
Україна

E-mail: car_tractor@rambler.ru
mihail_shulyak@mail.ru

АКТИВНА І ПАСИВНА РОБОТА ТРАКТОРА НА ТРАНСПОРТНИХ РОБОТАХ

УДК 631.3.004.67

Необхідність розподілу виконуваної трактором роботи на активну (корисну) і пасивну (негативну) дозволяє підвищити ефективність їх використання в аграрному секторі. Доведено, що на транспортних роботах при агрегуванні трактора з напівпричепом і напівнавісними причепом більшу активну роботу має транспортний агрегат з напівнавісними причепом.

Для транспортно-технологічних агрегатів змінної маси при безперервному завантаженні / розвантаженні вантажу повна робота рушійної сили трактора при агрегуванні з напівпричепом не залежить від форми траєкторії руху центру мас вантажу, що перевозиться, а залежить від початкового і кінцевого його положення.

На зниження активної роботи транспортного засобу і відповідно на підвищення пасивної роботи істотно впливає нерівномірний його рух внаслідок нестабільності тягової сили трактора і опору його руху. Експериментально підтверджено, що при прямолінійному русі транспортного агрегату ХТЗ-17221+ТСП-16 (маса вантажу – 12 т) на твердій ґрунтовій дорозі на довжині 1000 м через нерівномірність його руху пасивна робота склала 3,2 МДж (еквівалент 0,07 кг дизельного палива), при русі з підворотами – відповідно 6,4 МДж (0,15 кг дизельного палива).

Ключові слова: трактор, транспортні роботи, нерівномірність руху, активна і пасивна робота

Постановка проблеми

В аграрному секторі транспорт займає важливе місце: він починає і завершує технологічні зв'язки між окремими станами робіт. У міру розвитку сільськогосподарського виробництва роль транспорту неухильно підвищується: якщо в даний час на кожен гектар ріллі припадає в середньому 45...50 т різних вантажів, то в найближчі роки очікується збільшення цього обсягу. Підвищення ефективності транспортних агрегатів може бути досягнуто при рішенні проблеми зниження пасивної (непродуктивної) і підвищення активної (корисної) роботи.

Аналіз останніх досліджень

Теоретична механіка [1] визначає роботу як фізичну величину, що характеризує перетворення енергії з однієї форми в іншу. Елементарна робота, що здійснюється силою \vec{F} на малому переміщенні $d\vec{r}$ точки M її прикладення, визначається рівністю $\delta A = (\vec{F}, d\vec{r}) = Fds \cos \alpha$, де ds – довжина шляху точки M ; α – кут між векторами сили і переміщення.

При цьому корисна (активна) робота визначається роботою рухомих сил за вираховуванням роботи, витраченої на подолання сил шкідливого опору, що характеризує некорисну (пасивну) роботу технічного об'єкта.

У дослідженнях [2, 3] виконувана тракторним агрегатом робота оцінюється за його енерговитратами, приймаючи за основний критерій ефективності мінімум прямих енерговитрат [4]. Проте, запропонована у даних роботах методика не враховує специфіку

тракторних агрегатів і не завжди придатна для прогнозування кількісних характеристик енерговитрат з високою ступеню точності. Крім цього, у даних роботах досліджуються тракторні агрегати при сталому русі і рекомендовані методики по оцінці їх енерговитрат неприйнятні для тракторних транспортних агрегатів. Насправді транспортні засоби працюють в основному тією чи іншою мірою нерівномірно, що зумовлено з одного боку профілем дороги, керуючими впливами, а з іншого – різного роду стохастичними процесами: обгони, гальмування, маневри і т.д.

Для транспортних засобів, зокрема автомобілів, доведено взаємозв'язок їх енергетики з нерівномірністю руху [5].

При цьому швидкість руху розглядається у вигляді змінення двох складових: плавне, швидке (осцилююче).

Осцилюючий рух автомобіля є в основному причиною його пасивної роботи.

Проводити оцінку додаткових енерговитрат транспортно-тягових машин доцільно робити по запропонованій в роботі [6] методиці, обумовлену коливаннями тягової сили трактора і сумарної сили опору руху, за умови, що відомі амплітуди даних коливань та дійсний пройдений шлях.

Аналіз відомих наукових робіт і публікацій по енергозбереженню мобільних машин показав, що витрати енергії даних машин істотно залежать від стабільності їх швидкісного режиму. Проблема підвищення енергозбереження тракторних транспортних агрегатів на основі зниження їх пасивної роботи не вирішена.

Мета дослідження

Обґрунтувати залежності активної роботи тракторних транспортних агрегатів при нерівномірному русі на прямолінійній і криволінійній ділянці дороги.

Основна частина

Цикл усталеного руху транспортного засобу на прямолінійній ділянці дороги зазвичай розглядається при стабільності дії тягової сили F на шляху S , що діють під кутом α . Робота транспортного засобу при цьому визначається по залежності $A = FS \cos \alpha$ для трьох окремих випадків: $A_1 = FS$ при $\alpha = 0$, $A_2 = 0$ при $\alpha = 90^\circ$, $A_3 = -FS$ при $\alpha = 180^\circ$. При A_1 діюча тягова сила реалізується без втрат в корисну (активну) роботу; при A_2 тягова сила не реалізується в корисну роботу, а при A_3 дана сила реалізується в негативну роботу, створює опір руху транспортного засобу.

Зазвичай при русі транспортного засобу на прямолінійній ділянці дороги кут α змінюється в межах $0 < \alpha < 90^\circ$ залежно від номенклатури вантажів, різноманітності дорожньо-польових умов, способу агрегування з причепом і т.д. (рис. 1).

При порівнянні тракторних поїздів по даному рисунку можна очікувати більшу активну роботу при агрегуванні трактора з напівнавісними причепом ($\alpha = 0$), меншу – при агрегуванні з напівпричепом ($\alpha > 0$), що є наслідком пониженої активної тягової сили F_t .

На зниження активної роботи транспортного засобу і відповідно на підвищення пасивної роботи істотно впливає нерівномірний його рух. Це обумовлено зміною як тягової сили, так і сил опору руху транспортного засобу, що призводять до появи лінійних прискорень, що формують періодичні (коливальні) зміни його лінійної швидкості (рис. 2).

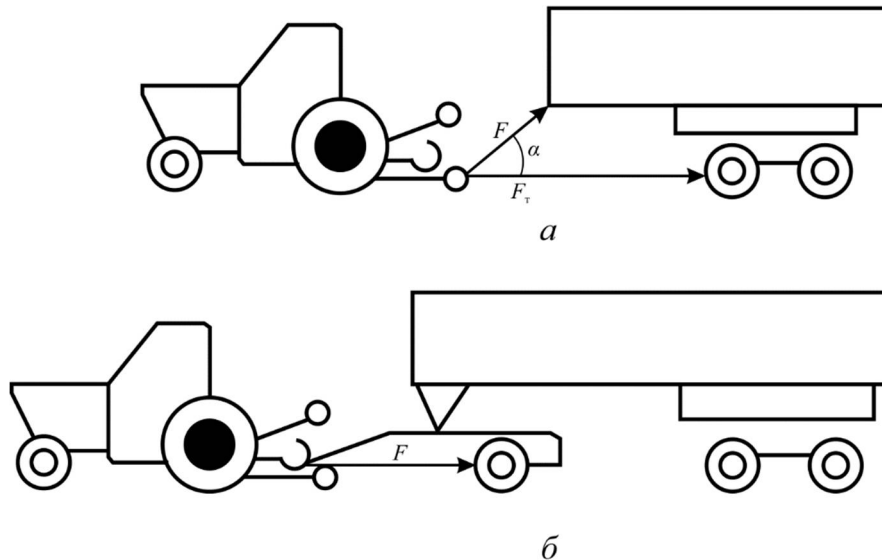


Рис. 1 – Схема дії тягової сили F при агрегуванні з напівприцепом (а) і напівнавісним причепом (б)

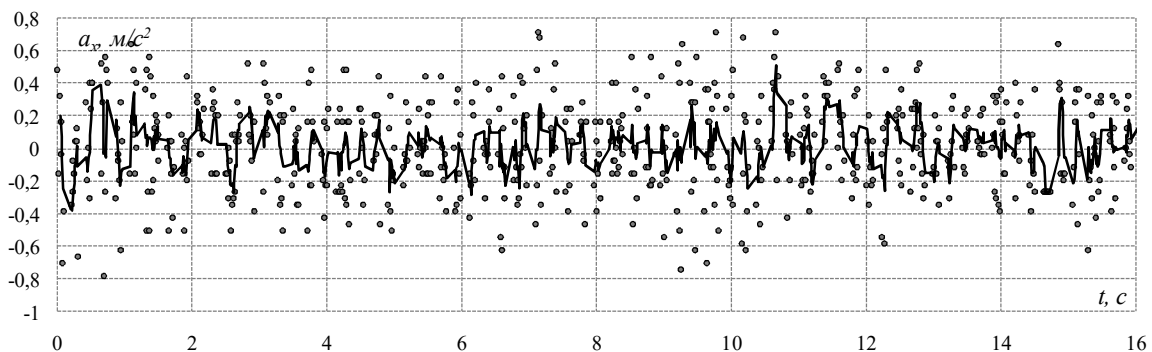


Рис. 2 – Лінійні прискорення нерівномірного руху по твердій ґрунтовій дорозі транспортного агрегату ХТЗ-17221 + напівпричіп ТСП-16 (маса вантажу – 12 т)

Як видно з даного графіка нерівномірний рух транспортного агрегату необхідно розглядати як послідовність прискорень і уповільнень його руху. Це обумовлено нерівномірністю крутного моменту двигуна, сил опору коченню і буксування коліс транспортного агрегату і т.д., що призводить до підвищених енерговитрат на рух транспортного агрегату.

Розглядаючи транспортний агрегат як матеріальну точку масою m рівняння його руху можна описати просторовою координатою x , яка змінюється в часі t :

$$x(t) = X(t) + \xi(t), \quad (1)$$

де $X(t), \xi(t)$ – відповідно плавно змінювана за часом координата $x(t)$ і малі осциляції навколо неї.

Очевидно, що середнє значення $\xi(t)$ за період $2\pi / \omega$ перетворюється в нуль. При цьому функція $X(t)$ змінюється на незначну величину, описуючи усереднений по швидким осциляціям «плавний» рух. Для даного випадку ефективна потенційна енергія системи визначається по залежності:

$$U_{en} = U + \frac{1}{2m\omega^2} \bar{f}^2, \quad (2)$$

де U – потенційне поле системи; f – швидко осцилюючі сили (риса над символом означає середнє значення); $\omega \gg 1/T$ – кругова частота; T – час руху.

Другий член даного рівняння являє собою по відношенню до поля U середню кінетичну енергію осциляційного руху

$$U_{\text{ек}} = U + \frac{m}{2} \bar{\xi}^2, \quad (3)$$

де $\bar{\xi}$ – середнє значення швидкості зміни осциляцій.

Таким чином, при нерівномірному русі транспортного засобу на прямолінійній ділянці дороги необхідно затратити додаткову енергію $m / 2 \bar{\xi}^2 = \bar{f}^2 / (2mw^2)$ на осциляційні рухи.

Якщо величина $\bar{\xi}$ або \bar{f} і w зумовлені будь-яким детермінованим процесом, то не є складним розрахувати величину додаткової енергії, обумовлену нерівномірністю руху транспортного агрегату на прямолінійній ділянці дороги.

Наприклад, при прямолінійному русі транспортного агрегату ХТЗ-17221 + напівпричіп ТСП-16 (маса вантажу – 12 т) на твердій ґрунтовій дорозі додаткові витрати енергії на довжині дороги 1000 м, розраховані по залежності (3) з урахуванням експериментальних значень складають 3,2 МДж. При енергетичному еквіваленті 1 кг дизельного палива 42,9 МДж додаткова витрата дизельного палива складає 0,07 кг.

При виконанні трактором транспортних робіт, наприклад при агрегуванні трактора з напівприцепом (рис. 3), лінія дії рушійної сили F завжди відбувається через фіксовану точку O з'єднання трактора з напівприцепом і нестабільні точки M_1 , M і M_2 (центр мас), положення яких визначається масою вантажу, що перевозиться, і розподілом його по об'єму кузова причепа.

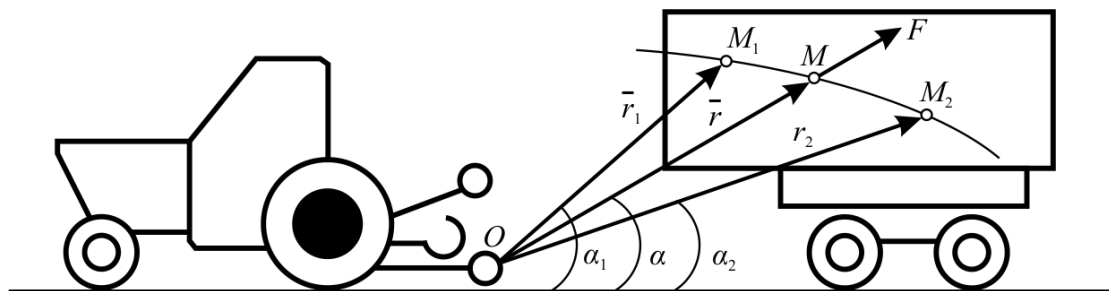


Рис. 3 – Схема дії рушійної сили трактора при агрегуванні з напівприцепом змінної маси

Робота сили F даного транспортного агрегату визначається при допущенні, що вона залежить тільки від відстані $|\vec{r}| = r$ точки M до нерухомого центру O $\vec{F} = \vec{F}(r)$.

Уявімо цю силу у вигляді $\vec{F} = F_r(r) \frac{\vec{r}}{r}$, де $\frac{\vec{r}}{r}$ – одиничний вектор, який має напрямок радіуса-вектора \vec{r} , $F_r(r)$ – проекція сили на напрямок \vec{r} .

Елементарна робота $F_r(r)$ визначається [1] по залежності:

$$d'A = \vec{F} \cdot d\vec{r} = F_r(r) \frac{\vec{r}}{r} \cdot d\vec{r}.$$

Враховуючи, що $r^2 = \vec{r} \cdot \vec{r}$ і, відповідно, $\vec{r} \cdot d\vec{r} = r \cdot dr$ отримуємо

$$d'A = F_r(r) dr. \quad (4)$$

Повна робота $F_r(r)$ дорівнює криволінійному інтегралу від елементарної роботи

сили $F_r(r)$, взятому уздовж дуги кривої M_1, M, M_2 , записується у вигляді

$$A = \int_{r_1}^{r_2} F_r(r) dr, \quad (5)$$

де r_1 і r_2 – модулі радіусів-векторів відповідно початкового і кінцевого положень рушійної сили, яка визначається центром мас вантажу, що перевозиться.

Координати центру мас M_1, M і M_2 залежать від маси вантажу, що перевозиться, і розподіл його по об'єму кузова. При цьому кут α (по рис. 3) має підвищене значення при повному завантаженні напівпричепа в порівнянні з його частковим завантаженням, тобто $\alpha_1 > \alpha_2$.

У цьому випадку частка активної роботи від повної роботи рушійної сили F знижена. Дане твердження справедливе при агрегуванні трактора з причепом. Повна робота рушійної сили (тягової) трактора буде корисною (активною) без витрат при $\alpha = 0$, тобто при агрегуванні трактора з напівнавісним причепом (по рис. 1, б).

При русі транспортного агрегату на криволінійній ділянці дороги його робота оцінюється за стійкістю на прямолінійній ділянці дороги шляхом короточасного впливу на рульове управління і на криволінійних ділянках дороги при тривалих поворотах при постійному впливі на рульове колесо. Для першого режиму руху транспортного агрегату, наприклад, трактори при агрегуванні з напівнавісними причепами (по рис. 1, б), траєкторія його руху описується в основному гармонійною кривою $f(x) = \sin \lambda$, де λ – кут відхилення поздовжньої осі транспортного агрегату від прямолінійного руху (рис. 4) [5].

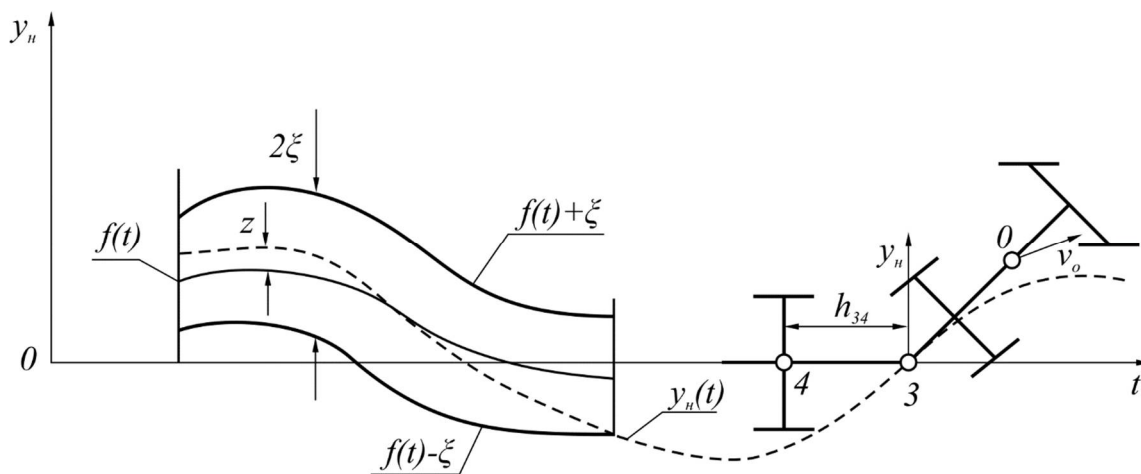


Рис. 4 – Схема руху трактора з напівнавісним причепом за гармонічною траєкторією $y_n(t)$

Для даного агрегату точка 3 постійно знаходиться на траєкторії $y_n(t)$ його кінематичного центру, а точка 4 – на траєкторії руху центру причепа.

Взаємозв'язок траєкторії $y_n(t)$ трактора і точки 4 причепа при рівномірній швидкості v_o руху транспортного агрегату описується рівнянням руху агрегату у вигляді:

$$\ddot{y}_n h^2 - \dot{y}_n^2 (\sin \lambda - y_n)^2 - (\sin \lambda - y_n)^2 = 0, \quad (6)$$

де $h = l_{3,4}$ – відстань між точками 3 і 4; y_n – відхилення від поздовжньої координати руху.

Рішення рівняння (6) при різних частотах і амплітудах гармонійної зміни траєк-

теорії підтвердило підвищений вплив параметра h на відхилення від курсу руху транспортного агрегату.

При досягненні одного (або кількох) функціонального параметра, наприклад швидкості руху, транспортний агрегат можна розглядати як керовану систему, математична модель якої записується в вигляді диференціального рівняння:

$$dx(t) / dt = F(t, x(t), u(t)), \quad (7)$$

де x – змінний функціональний параметр, що характеризує стан транспортного агрегату; u – функція управління; $F(t, x, u)$ – функція, задовольняє умовам існування рішення рівняння (7).

При управлінні подібною системою за критерієм стійкості функціонування необхідно забезпечити відхилення дійсної траєкторії руху $x(t)$ керованого функціонального параметра від заданої $f(t)$ в будь-який момент часу на величину, що не перевищує ξ (за рис. 4).

Для даної системи рівняння формується по залежностям

$$u = u(t, x(t) - f(t), u(t, 0)) = 0. \quad (8)$$

Позначивши $z = x - f$, система рівнянь (7) записується у вигляді

$$dx(t) / dt = F(t, z(t) + f(t)), u(t, z(t)) - df(t)dt. \quad (9)$$

Транспортний агрегат буде стабільно функціонувати, якщо залежність (8) обрана таким чином, що для довільного $\xi > 0$ при збуреннях η і неузгоджені δ (відмінність між функціями $x(t)$ і $f(t)$) існують такі $\delta > 0$ і $\eta > 0$, при яких з нерівностей

$$|z(t_0)| \leq \delta, \quad |F(t, f(t), 0) - df(t) / dt| \leq \eta, \quad t \geq t_0$$

випливає співвідношення:

$$|z(t)| \leq \xi, \quad t \geq t_0. \quad (10)$$

Таким чином, при управлінні тракторним агрегатом для забезпечення стійкості його функціонування необхідно забезпечити його роботу в межах $[f(t) - \xi]$ і $[f(t) + \xi]$.

Наведене твердження досить строго відповідає основним положенням теорії стійкості сформульовані О.М. Ляпуновим [6].

При оцінці роботи транспортного агрегату при стійкому русі на криволінійній ділянці шляху (підвороти, повороти) криволінійний шлях на нескінченно малій ділянці dS можна вважати прямолінійним, а рушійну силу F постійною. Тоді елементарна робота dA на шляху dS при швидкості руху v дорівнює

$$dA = FdS \cos(F, v). \quad (11)$$

Робота транспортного агрегату на кінцевому переміщенні дорівнює сумі елементарних робіт

$$A = \int_0^s F \cos(F, v) dS. \quad (12)$$

По цій залежності визначається робота транспортного агрегату на певній відстані дороги без підворотів і з підворотами. Наприклад, для забезпечення сталого руху транспортного агрегату ХТЗ-17221 + напівпричіп ТСП-16 (маса вантажу – 12 т) на твердій

грунтовій дорозі на відстані 1000 м було виконано 36 підворотів, що призвело до підвищення пройденого шляху до 1170 м і витрати дизельного палива на 0,15 кг в порівнянні з витратами при русі без підворотів. У даному випадку пасивна робота транспортного агрегату ХТХ-17221+ТСП-16 при перевезенні 12 т вантажу на відстань 1000 м складе 6,4 МДж.

Висновки.

1. Робота трактора на транспортних роботах розділяється на активну (корисну) і пасивну (негативну). При порівнянні тракторних поїздів з причепом, напівпричепом і напівнавісним причепом більш активну роботу має транспортний агрегат при агрегуванні трактора з напівнавісним причепом.

2. Повна робота рушійної сили трактора при агрегуванні з напівпричепом не залежить від форми траєкторії руху центру мас вантажу, що перевозиться, а залежить лише від початкового і кінцевого його положення.

3. При прямолінійному русі транспортного агрегату ХТЗ-17221+ ТСП-16 (маса вантажу – 12 т) на твердій ґрунтовій дорозі на довжині 1000 м пасивна робота склала 3,2 МДж (0,07 кг дизельного палива), при русі з підворотами – відповідно 6,4 МДж (0,15 кг дизельного палива).

Література

1. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики / С.М. Тарг. – М.: Наука, 1968. – 480 с.
2. Агеев Л.Е. Основы расчета оптимальных и допустимых режимов работы машинно-тракторных агрегатов / Л.Е. Агеев. – Л.: Колос, 1978. – 290 с.
3. Лебедев С.А. Эффективность использования по энергозатратам тракторов при основной обработке почвы / С.А. Лебедев, А.Н. Пипченко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 107 – С. 18 – 22.
4. Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве / А.Н. Никифоров и др. – М.: РИО ВИМ, 1995. – 95 с.
5. Рославцев А.В. Теория движения тягово-транспортных средств / А.В. Рославцев. – М.: УМЦ «ТриАДА», 2003. – 276 с.
6. Ляпунов А.М. Лекции по теоретической механике / А.М. Ляпунов. – К.: Наукова думка, 1982. – 632 с.

Summary

Lebedev A.T., Shuliak M.L. Active and passive job of tractors for transport work

The need for separation of the work performed by tractor to the active (useful) and passive (negative) to improve the efficiency of their use in the agricultural sector. It is proved that on transport operations when unitizing tractor with semi-trailer and semi-mounted trailer has a large active transport unit with semi-mounted trailer.

For transport and technological units of variable mass in continuous loading / unloading of cargo the total work force in driving the tractor with semitrailer aggregation does not depend on the shape of the trajectory of the mass movement of cargo center, but depends on the start and end of his position.

The decrease in the active operation of the vehicle and, accordingly, to increase passive operation significantly affects its irregular movement due to the instability of the traction force of

the tractor and its resistance movement. It is experimentally proved that the linear motion of the transport unit HTZ-17221 + TSP-16 (weight of cargo – 12 tons) on a hard dirt road over a distance of 1000 m due to non-uniformity of its motion passive job was 3.2 MJ (equivalent to 0.07 kg diesel fuel), with a tuck-in motion – 6.4 MJ respectively (0.15 kg of diesel fuel).

Keywords: tractor, transport works, uneven movement, active and passive job

References

1. Targ S.M. Kratkiy kurs teoreticheskoy mehaniki / S.M. Targ. – M.: Nauka, 1968. – 480 s.
2. Ageev L.E. Osnovy rascheta optimalnykh i dopustimyykh rezhimov raboty mashinno-traktornykh agregatov / L.E. Ageev. – L.: Kolos, 1978. – 290 s.
3. Lebedev S.A. Effektivnost ispolzovaniya po energozatratam traktorov pri osnovnoy obrabotke pochvy / S.A. Lebedev, A.N. Pipchenko // Visnik HNTUSG Im. P. Vasilenka. – Harkiv: HNTUSG, 2011. – Vip. 107 – S. 18 – 22.
4. Metodika energeticheskogo analiza tehnologicheskikh protsessov v selskohozyaystvennom proizvodstve / A.N. Nikiforov i dr. – M.: RIO VIM, 1995. – 95 s.
5. Roslavl'tsev A.V. Teoriya dvizheniya tyagovo-transportnykh sredstv / A.V. Roslavl'tsev. – M.: UMTs «TriADA», 2003. – 276 s.
6. Lyapunov A.M. Lektsii po teoreticheskoy mehanike / A.M. Lyapunov. – K.: Naukova dumka, 1982. – 632 s.