

УДК 621.869

В.М. Краснокутський

ОЦІНЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДУЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ

Розглянуті питання оцінювання кута підйому на максимальній швидкості, граничних кутів підйому і спуску, крену, поперечної стійкості, мінімального радіуса повороту засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів, побудованих за модульним принципом.

Вступ

Актуальним завданням є перехід від нероздільного агрегування засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів (ЗАТЗП) літальних апаратів (ЛА) Повітряних Сил (ПС) Збройних Сил (ЗС) України до побудови ЗАТЗП на базі колісних енергетичних модулів (ЕМ) [1]. Що дозволить:

1) більш раціонально у плані завантаженості кожної енергетичної частини на протязі року використовувати техніку та підвищити живучість ЗАТЗП в умовах бойових дій завдяки взаємозаміні ідентичних енергетичних частин;

2) значно зменшити номенклатуру запасних частин та штат обслуговуючого персоналу внаслідок уніфікації енергетичної частини більшості спеціальних агрегатів ЗАТЗП;

3) ремонтувати при виході з ладу ЗАТЗП окремо технологічний модуль (ТМ) чи енергетичний модуль (ЕМ), при цьому справний модуль при потребі може приєднуватися до іншого модуля та використовуватися для забезпечення польотів;

4) здійснити виробництво ЗАТЗП вітчизняною промисловістю.

Постановка задачі

ЕМ проектується, виходячи з необхідності забезпечення вимог усіх ТМ комплексу ЗАТЗП, та виконує два основних завдання:

- 1) транспортування ТМ до ЛА, що обслуговується;
- 2) забезпечення приводу ТМ.

Створення нових ЕМ є надто складним та трудомістким процесом, який пов'язаний з вирішенням цілої низки технічних проблем конструктивного та виробничого характеру. Раціональним шляхом вирішення цих проблем є орієнтація на вітчизняний шарнірно-з'єднаний ЕМ середньої потужності серії Т-155М, на базі якого пропонується створити сімейство модульних машин для аеродромно-технічного забезпечення польотів, що містить в собі до 20 типів ЗАТЗП. Спеціальне обладнання ЗАТЗП монтується на ТМ, який виконаний з використанням задньої піврама та заднього ведучого моста колісного трактора Т-155М. На рис. 1 наведений приклад УГЗС.М-К-Т155К. Отримане сімейство модульних енергетично-технологічних засобів буде відрізнятися збільшеною поздовжньою базою

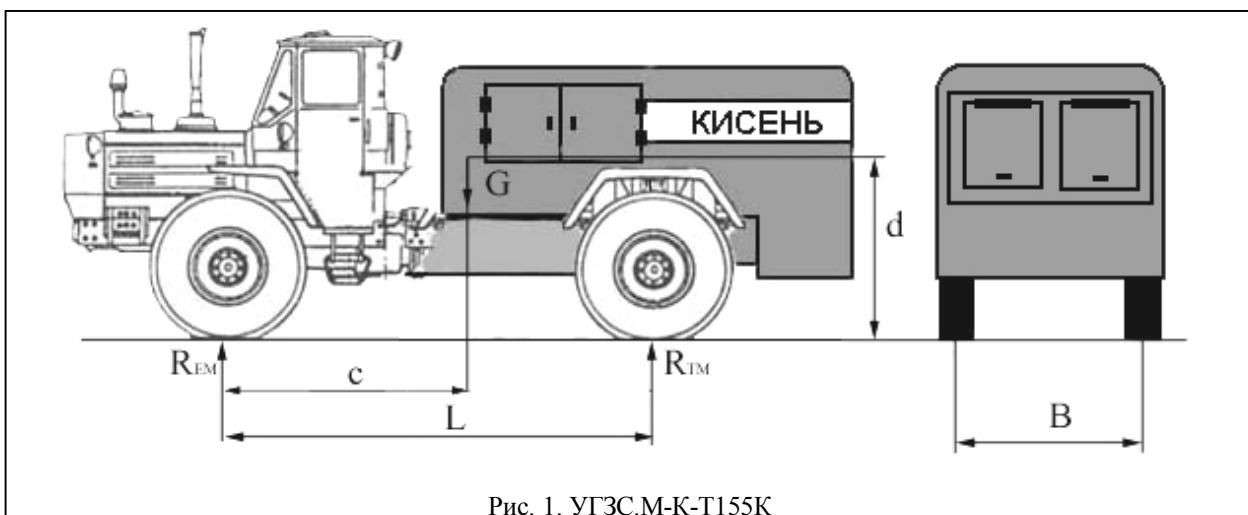


Рис. 1. УГЗС.М-К-Т155К

порівняно з дорожньо-будівельними модульними машинами. Тому виникає потреба в проведенні оцінювання динамічних характеристик модульних ЗАТЗП.

Аналіз літератури

В науково-технічній літературі побудова комплексу ЗАТЗП на базі ЕМ не розглядалась, але існує ряд робіт, присвячених проектуванню дорожньо-будівельних та сільськогосподарських машин за модульним принципом. Протягом тривалого серійного виробництва шарнірно-з'єднаного трактора Т-150К були спроби поширення сфери його застосування та поліпшення його експлуатаційних якостей. Вирішенню цих питань присвячені роботи [2, 3]. Дослідженням динамічної навантаженості дорожніх машин присвячені роботи [4, 5].

Мета статті – обґрунтування методики орієнтовного визначення динамічних характеристик модульної техніки, виходячи з параметрів існуючих ЗАТЗП та ХТЗ-155М, що необхідно для побудови комплексу ЗАТЗП за модульним принципом.

Основний матеріал

Необхідна потужність двигуна ЕМ, що розраховується, визначається з умов забезпечення заданої швидкості та необхідної енергозабезпеченості спеціального обладнання, що приводиться в дію (роздавальної коробки, генераторів, наддувних та хладонових компресорів тощо, які входять до складу ТМ ЗАТЗП).

При проектуванні модульного енергетично-технологічного засобу (МЕТЗ) одним із найважливіших параметрів, які визначаються на початку їх проектування, є вага та потужність двигуна. Нижче наведено методику розрахунку ваги МЕТЗ та необхідної потужності двигуна ЕМ ЗАТЗП.

1. Орієнтовна маса спеціального обладнання G_{Co} розраховується як різниця між масою ЗАТЗП і масою шасі $G_{ш}$, на якому вона була змонтована.

2. Масу ЕМ та ТМ визначимо, орієнтуючись на МЕТЗ ХТЗ-155М масою 8220 кг, яка розподіляється таким чином: маса ЕМ G_{EM} складає 5820 кг, а маса ТМ – $G_{TM} = G_{Co} + 2400$ кг.

3. Потужність двигуна ЕМ N_{EM} , Вт визначимо за формулою

$$N_{EM} = \frac{fGV_{max}}{270\eta_M\eta_{BKП}} + \frac{N_{TM}}{\eta_{ВП}}, \quad (1)$$

де f – коефіцієнт опору самопересуванню (для асфальту $f = 0,018$);

$G = G_{EM} + G_{TM}$ – вага МЕТЗ, кг;

V_{max} – максимальна швидкість руху, км/год (прийнемо $V_{max} = 60$ км/год);

$\eta_M = 0,9$ – механічний к.к.д. силової передачі;

$\eta_{BKП} = 0,95$ – коефіцієнт використання потужності;

N_{TM} – потужність, що потребує ТМ;

$\eta_{ВП} = 0,9$ – к.к.д. відбору потужності.

Ширину колії, поздовжню базу, координати центру тяжіння, розподіл маси по осях МЕТЗ визначимо, виходячи з габаритних розмірів спеціального обладнання існуючих ЗАТЗП та ЕМ ХТЗ-155М.

З дизельних двигунів, що виготовляються на Україні, за своїми технічними характеристиками для забезпечення потреб усіх ТМ найбільш підходить двигун Харківського заводу тракторних двигунів моделі СМД-62М потужністю 132,2 кВт з номінальною частотою обертання колінчатого вала $n_{дв} = 2100$ об/хв.

Динамічна характеристика дозволяє оцінити можливість пересування ЗАТЗП по дорогах з різними кутами підйому на різних передачах.

Трансмісія ЕМ аналогічна трансмісії ХТЗ-155М.

Передаточні числа такі:

головна передача $U_{ГП} = 4,44$;

колісний редуктор $U_{ГП} = 4,59$.

Швидкості руху для кожної передачі визначаються при радіусі кочення колеса $r_k = 0,725$ м за такою формулою.

$$V = 0,377r_k n_{дв} / U_{тр}, \text{ км/г}, \quad (2)$$

де $U_{тр}$ – передаточні числа відповідної передачі трансмісії.

Динамічний фактор розраховується за формулою

$$D = \frac{P_K - P_W}{G} = \frac{\mu_{кр} U_{тр} \eta_{тр} - P_W}{G}, \quad (3)$$

де P_K – дотична сила тяги, Н;

P_W – опір повітря, Н;

G – сила ваги, Н.

Між динамічним фактором і параметрами, що характеризують опір рухові тягача, є залежність

$$D = \psi \pm \delta_{вр} \frac{\gamma}{g}, \quad (4)$$

де ψ – коефіцієнт опору дороги;

$\delta_{вр}$ – коефіцієнт обліку обертових мас;

γ – лінійне прискорення машини;

g – прискорення вільного падіння.

Як питомий параметр динамічний фактор дозволяє проводити порівняльне оцінювання динамічних якостей різних машин незалежно від їх вантажопідйомності і маси.

Коефіцієнт опору дороги ψ дорівнює

$$\psi = f \cos \alpha + \sin \alpha, \quad (5)$$

де f – коефіцієнт опору кочення;

α – кут нахилу дороги.

Умовою можливості переміщення МЕТЗ на даній дорозі є

$$D > \psi. \quad (6)$$

За регулярною характеристикою двигуна СМД-62М отримаємо величини крутного моменту і потужності залежно від частоти обертання.

З урахуванням регуляторної характеристики двигуна отримаємо значення теоретичних швидкостей руху по передачах:

номінальна потужність $N_e = 180 \text{ к.с.} = 132,3 \text{ кВт}$;

частота обертання колінвала при номінальній потужності $n = 2100 \text{ об/хв.} = 35 \text{ об/с}$;

крутний момент при номінальній потужності $M_{кр} = 615 \text{ Нм}$;

максимальний крутний момент у діапазоні 1400...1550 про/хв. $M_{max} = 713 \text{ Нм}$.

Сила тяги для даної швидкості руху ЗАТЗП на базі ЕМ визначається за формулою

$$P_K = 3672 N \eta_{тр} / V = 3,2 N / V, \text{ кн.}, \quad (7)$$

де $\eta_{тр} = 0,875$ – к.к.д. трансмісії;

N – значення потужності, кВт;

V – швидкість руху, що відповідає даній частоті обертання колінвала двигуна, км/год.

Динамічний фактор розрахуємо як $D = P_K / G$ (опором повітря знехтумо). На рис. 2 наведені динамічні характеристики ЗАТЗП на базі ЕМ.

Граничний кут підйому, на якому може стояти загальмований ЗАТЗП не перекидаючись, визначається за формулою

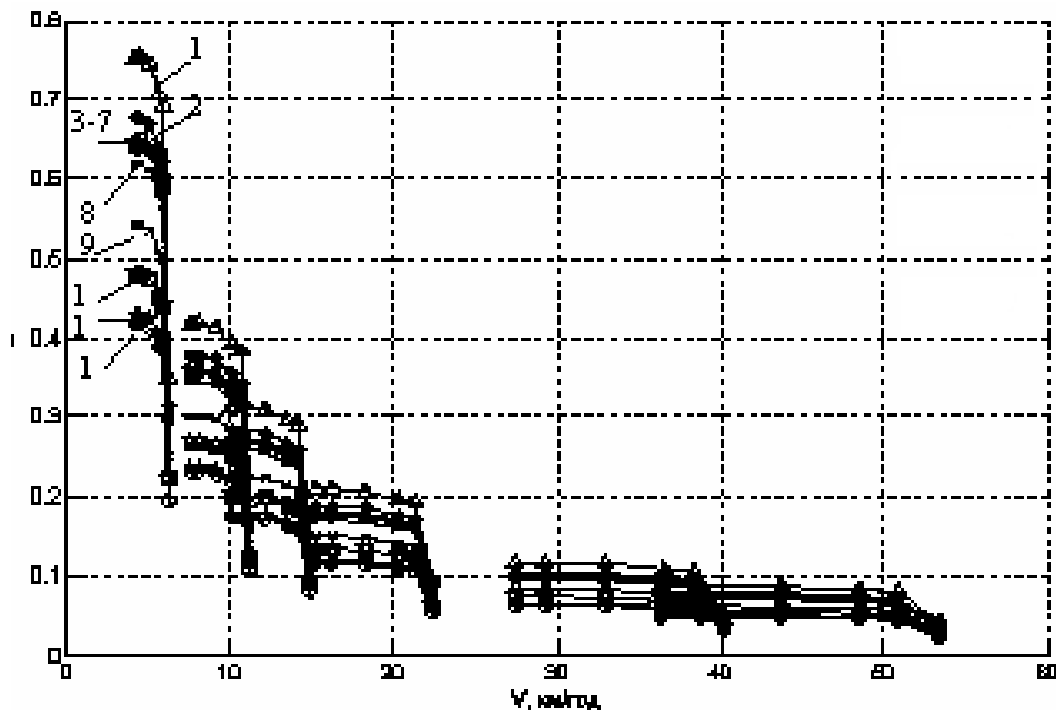


Рис. 2. Динамічний фактор ЗАТЗП:

- 1 – ЗСР (МЕТЗ зі спецобладнанням від заправника спеціальними рідинами);
- 2 – УМП (МЕТЗ зі спецобладнанням від уніфікованого моторного підігрівача);
- 3 – Д (МЕТЗ зі спецобладнанням від шнекороторного снігоочисника);
- 4 – УПГ (МЕТЗ зі спецобладнанням від установки перевірки гідросистем);
- 5 – АРА (МЕТЗ зі спецобладнанням від аеродромного рухомого електроагрегату);
- 6 – УГЗС.М-К (А)(В) (МЕТЗ зі спецобладнанням від уніфікованої газозарядної станції для роботи на газоподібному кисні (азоті та повітрі));
- 7 – ЕГУ (МЕТЗ зі спецобладнанням від електро-гідроустановки);
- 8 – ТпМ (МЕТЗ зі спецобладнанням від теплової машини);
- 9 – ПЗ (МЕТЗ з спецобладнанням паливо-заправника);
- 10 – АБК (МЕТЗ зі спецобладнанням від аеродромного багатоцільового кондиціонера);
- 11 – АКПМ (МЕТЗ зі спецобладнанням від аеродромної комбінованої поливомийної машини);
- 12 – В (МЕТЗ зі спецобладнанням від вакуумно-нагнітальної машини)

$$\alpha_{\text{під}}^{\text{lim}} = \arctg((L - c) / d), \quad (8)$$

де c – відстань центру ваги від осі заднього колеса в подовжньому напрямку;

d – відстань центру ваги від ґрунту по вертикалі.

Граничний кут спуску, на якому може стояти загальмований ЗАТЗП не перекидаючись, визначається за формулою

$$\alpha_{\text{сп}}^{\text{lim}} = \arctg(c / d), \quad (9)$$

де L – база тягача.

Подовжня стійкість тягача, граничні кути поперечного ухилу визначаються окремо для ЕМ та ТМ.

Для визначення кутів поперечного ухилу були визначені координати центру ваги кожного модуля.

Координати центру ваги щодо осі переднього моста ЕМ всіх ЗАТЗП такі: $l_1' = 245$ мм, $h_1 = 300$ мм.

Координати центрів ваги ТМ ЗАТЗП щодо осі заднього моста розраховуємо, виходячи з геометрії спеціального устаткування, яке буде розміщено на задній піврамі.

Величина граничного кута поперечного ухилу визначається виразом (рис. 3)

$$\text{tg}\beta' = \frac{A_2(0,5B + l_2 \sin \theta) - \sin \theta(G_1 l_2 + G_2 l_2')}{A_1 + A_3(0 < 5B + l_2 \sin \theta)}, \quad (10)$$

де $A_1 = \frac{h_r}{l_1 \cos \theta + l_2} \{G_1 \cos v [l_2 + (l_1 - l_2') \cos \theta] +$

$$+ G_2 l_1' \cos \theta (v - \theta)\} - G_2 (h_1 + h_2) \sin \theta \sin (v - \theta) + G_1 h_1 \cos v;$$

$$A_2 = \frac{G_1 (l_1 - l_1' + l_2 \cos \theta) + G_2 l_2' \cos \theta}{l_1 + l_2 \cos \theta};$$

$$A_3 = \frac{(G_1 + G_2) h_r + G_1 h_1 + G_2 h_2}{l_1 + l_2 \sin \theta} \sin \delta;$$

θ – кут між подовжніми осями симетрії ЕМ та ТМ (кут повороту ЗАТЗП);

v – кут між віссю коліс ЕМ без горизонтального шарніра й ухилом;

$h_r = 875$ мм – висота горизонтального шарніра;

G_1, G_2 – сила тяжіння ЕМ і ТМ;

ТМ має горизонтальний шарнір, що при горизонтальному положенні ЗАТЗП рівномірно розподіляє реакції між колесами. Граничний кут поперечного ухилу, на якому може стояти тягач не перекидаючись, визначається за формулою

$$\text{tg}\beta = 0,5B / (h_r + h_2). \quad (11)$$

Зробимо оцінювання максимально припустимих швидкостей при повороті тягача з різними радіусами повороту за умови не перекидання тягача. При цьому приймаємо, що поворот відбувається на рівній ділянці (рис. 4).

Тоді

$$R = 3075 / \text{tg}30^\circ = 5320 \text{ мм}. \quad (12)$$

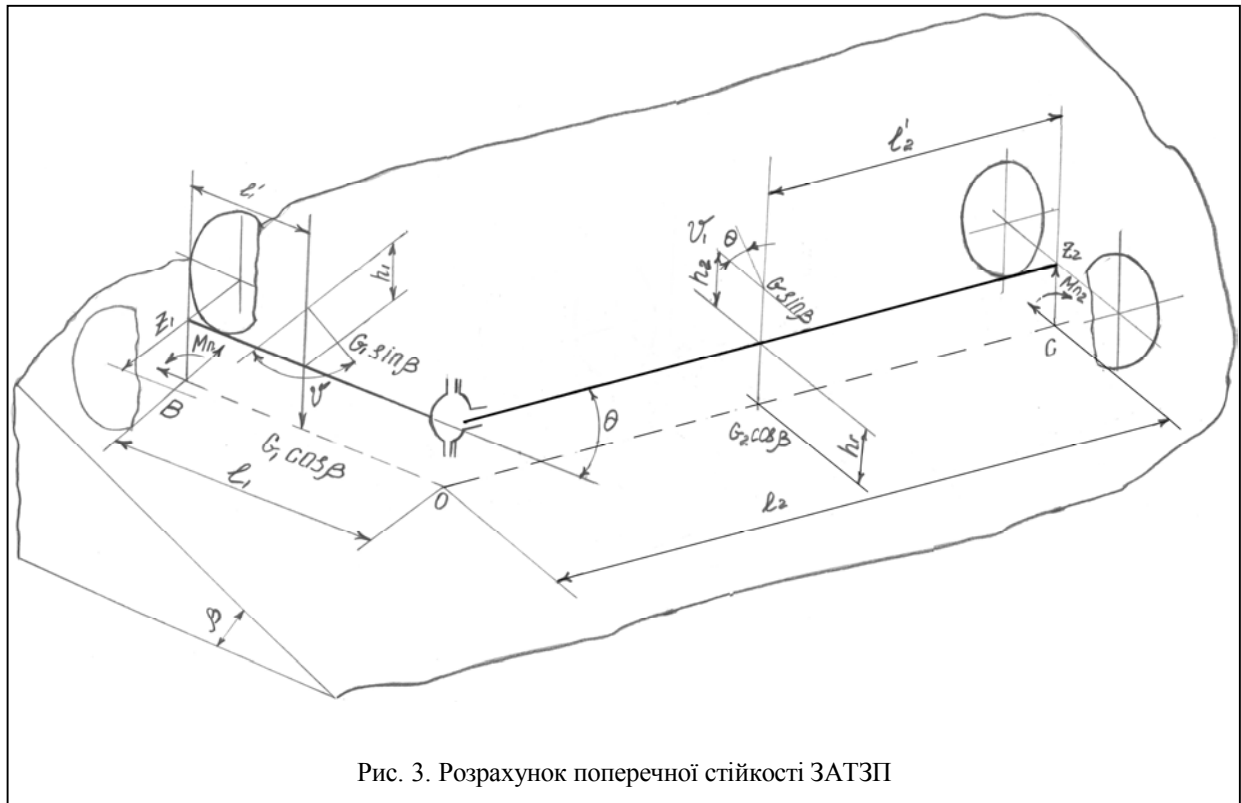


Рис. 3. Розрахунок поперечної стійкості ЗАТЗП

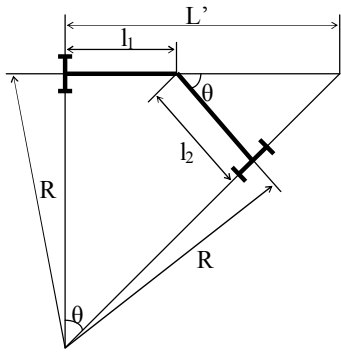


Рис. 4. Розрахунок мінімального радіуса повороту ЗАТЗП ($\theta = 30^\circ$ – максимальний кут злому рами)

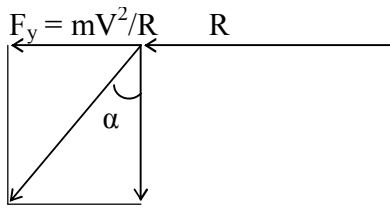


Рис. 5. Розрахунок швидкості ЗАТЗП під час повороту

Раніше показано, що кут стійкості тягача визначається стійкістю передньої секції.

При повороті стійкість визначається відхиленням рівнодіючої відцентрових сил і сил тяжіння від вертикалі (кут α на рис. 5):

$$\operatorname{tg} \alpha = mV^2 / RG_{\text{п.с}} = V^2 / gR. \quad (13)$$

З формули випливає, що кут α залежить від швидкості руху і радіуса повороту ЗАТЗП.

Для різних значень α і R визначимо граничні швидкості руху тягача при повороті. При $\alpha \geq \beta$ буде відбуватися перекидання ЗАТЗП (значення β визначено вище). Таким чином, з огляду на піддатливість шин, на твердість системи „передня–задня секція”, нерівність дороги, реальні швидкості при повороті не повинні перевищувати 4...5 км/г.

Висновки

Таким чином для комплексу ЗАТЗП були отримані наступні параметри:

1. Максимальний кут підйому, що може перебороти ЗАТЗП рухаючись на максимальній швидкості ($v = 50,9$ км/г по асфальті складає $1,5^\circ$).

2. Граничні кути підйому і спуску рекомендуються не більше 20° .

3. Граничні кути крену рекомендовані не більше 20° .

4. Поперечна стійкість ЗАТЗП визначається поперечною стійкістю передньої секції. Кут стійкості передньої секції складає $25^\circ 13'$ при прямолінійному положенні ЗАТЗП і $16^\circ 98'$ – при зламі рами на 30° .

5. При зламі рами ЗАТЗП на 30° і радіусі повороту 5,68 м гранична розрахункова швидкість при повороті не повинна перевищувати 4 км/г.

Визначені параметри повністю задовольняють вимоги до техніки ЗАТЗП. Таким чином, для ЗАТЗП, побудованих на базі колісних ЕМ як ЕМ, підходить ЕМ тягача серії ХТЗ-155М.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Абдула С.Л., Краснокутський В.М., Кухтов В.Г. Оцінка міцності та довговічності несучих систем шарнірно-з'єднаних модульних енергетично-технологічних засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів // Системи озброєння та військова техніка. – 2005. – № 1. – С. 11 – 14
2. Результаты исследований модульного энерго технологического средства (МЭС). / Кутьков Г.М. и др. // Тракторы и сельхозмашины. – 1989. – № 12 – С. 9 – 11.
3. Рославцев А.В. Колесные тракторы кл. 3; расширение сферы применения и особенности аналитического представления движения МЭС на их основе // Тракторы и сельхозмашины. – 1992. – № 1. – С. 7 – 9.
4. Назаров Л.В. Динамические нагрузки на трактор Т-150 К, агрегируемый с бульдозерным оборудованием // Тракторы и сельхозмашины. – 1978. – № 3. – С. 17 – 19.
5. Холодов А.М., Назаров Л.В., Гречишников Б.А. Исследование динамических нагрузок землеройно-транспортных машин // Статика и динамика машин. – К: КИСИ, 1978. – С. 44 – 47.

Надійшла 06.10.2005

Рецензент: к-т техн. наук професор В.Г. Кухтов, Харківський університет Повітряних Сил.