

УДК 629.114.2: 631.3.06

ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ МЕХАНІЧНОГО НАКОПИЧУВАЧА ЕНЕРГІЇ

В.М. Третяк, канд. техн. наук, **Р.В. Оляднічук**, пошукач
ННЦ "ІМЕСГ"

М.В. Третяк, студент
ХНТУСГ ім. П. Василенка

Розглянуто теоретичне порівняння роботи ґрунтообробних машинно-тракторних агрегатів з додатковим механічним накопичувачем енергії та без нього.

Проблема. Гостра конкурентна боротьба за ринки сільгосптехніки потребує від виробників техніки створення нових розробок щодо покращення потужних властивостей машинно-тракторних агрегатів (МТА), зокрема економії вуглеводневого пального шляхом оптимізації роботи двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Успішне вирішення проблеми економії енергетичних ресурсів у значній мірі залежить від сукупності впливу різного роду факторів:

- конструктивних характеристик моторно-трансмісійної установки, енергонасиченості та тягового ККД трактора, конструкції та параметрів сільськогосподарської машини чи знарядь і узгодженості їх характеристик у складі МТА;
- експлуатаційно-організаційних — комплектування МТА та вибір режиму його роботи, організації виконання польових робіт;
- ґрунтово-кліматичних — розмірів, конфігурації та рельєфу поля, фізико-механічних властивостей ґрунту.

Розглянемо можливість економії пального шляхом удосконалення узгодження режимів роботи ДВЗ з характеристиками ґрунтообробного знаряддя на прикладі МТА у складі трактора Т-150К з двигуном СМД-62 та плуга ПЛН-5-35.

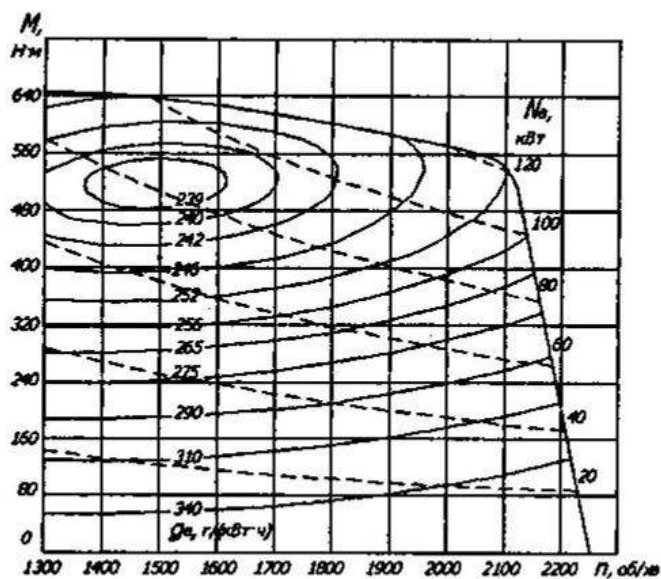


Рис. 1. Багатопараметрова характеристика двигуна СМД-62

ефективним тиском, який близький до того, що й при номінальній потужності. При експлуатації ДВЗ на часткових режимах, не маючи 15–25% запасу потужності.

2. По регуляторній гілці двигун може перейти в режим гілки перевантаження та суттєво знизити частоту обертання колінчастого вала, що призводить до нестійкої роботи МТА і навіть його зупинки.

3. Високий рівень автоматизації керування та електронного оснащення дозволяє програмувати як режими руху трактора, так і машини та знаряддя, які агрегуються з ним. Оснащення ДВЗ електронними системами керування впорскуванням пального і наддуву повітря забезпечують оптимальні режими двигуна відповідно до характеристики навантаження — можливість створення ділянки постійної потужності на коректорній гілці дизеля в широких межах частоти обертання та узгодження режимів ДВЗ з режимами трансмісії.

4. Застосування елементів демпфування в трансмісії [3]. Ефективність застосування пружно-демпфуючих трансмісій пояснюється тим, що наявні в них пружно-демпфуючі елементи поглинають та розсіюють енергію коливань зовнішнього навантаження і тим самим покращують умови роботи двигуна. Наявність умовно жорсткого кінематичного зв'язку між ведучим колесом і двигуном не сприяє остаточному погашенню коливань зовнішнього навантаження.

5. Застосування різних типів трансмісії з безступеневою зміною передаточного відношення [4]: електричних, гідростатичних, гідро-

Паливну економічність тракторних двигунів найбільш повно можна проаналізувати по його багатопараметровій або універсальній характеристиці (рис. 1) [1].

Можливості керування режимами роботи ДВЗ:

1. Експлуатація ДВЗ на часткових режимах [1,2]. Паливний насос з всережимним відцентровим регулятором забезпечує роботу двигуна на понижених частотах обертання колінчастого вала, але з середнім

динамічних та їх комбінацій з механічними потоками забезпечують оптимальні режими роботи ДВЗ. На сьогоднішній день провідні тракторобудівні фірми на енергонасичені трактори потужністю понад 120 к.с. в стандартній комплектації пропонують трансмісії з перемиканням ряду передач під навантаженням, а для 120–250 к. с. — двопотокові безступінчасті трансмісії.

6. Використання бустерних модулів [5]. Застосування модульної побудови тягово-транспортних засобів дозволяє при виконанні енергоємних робіт використовувати два модулі: модуль керування та додатковий енергосиловий модуль — “бустер”. Аналізуючи силу опору ґрунтообробного знаряддя, можна виділити постійну і змінну складові. Постійну складову забезпечує сила тяги “бустера”, який працює в найбільш економічному стаціонарному режимі, а значно меншу змінну складову забезпечує модуль керування — звичайний трактор.

Періодична зміна зовнішнього навантаження [6, 7], яка викликана фізико-механічними властивостями ґрунту, змінним рельєфом та профілем поверхні, режимів технологічного процесу зменшує реальну потужність МТА.

Метою досліджень є визначення доцільності використання механічних накопичувачів енергії в ґрунтообробних МТА шляхом математичного моделювання умов їх роботи.

Для досягнення цієї мети необхідно розв’язати такі задачі — провести аналіз впливу коливань зовнішнього навантаження на характеристику двигуна, визначити параметри механічного накопичувача енергії, а також провести порівняльну оцінку запропонованого методу нівелювання коливань кутової швидкості ДВЗ від зовнішнього навантаження із звичайним ґрунтообробним МТА.

Робоча гіпотеза. Підвищення паливної економічності МТА можна забезпечити шляхом стабілізації впливу коливань тягового опору на режим роботи ДВЗ.

Для зменшення амплітуди коливань частоти обертання колінчатого вала ДВЗ можна застосовувати акумулювання різних видів енергії (електричну, механічну потенційну та кінетичну із застосуванням пневматичних та гідравлічних перетворювань). Але кількість перетворювань суттєво впливає на зменшення ККД системи. Тому, на наш погляд, доцільно розглянути використання накопичування кінетичної енергії в механічному накопичувачі енергії (МНЕ) — маховику. Маховик можна кінематично зв’язати з колінчатим валом двигуна через незалежний механізм приводу вала відбору потужності (ВВП) трактора (рис. 2).

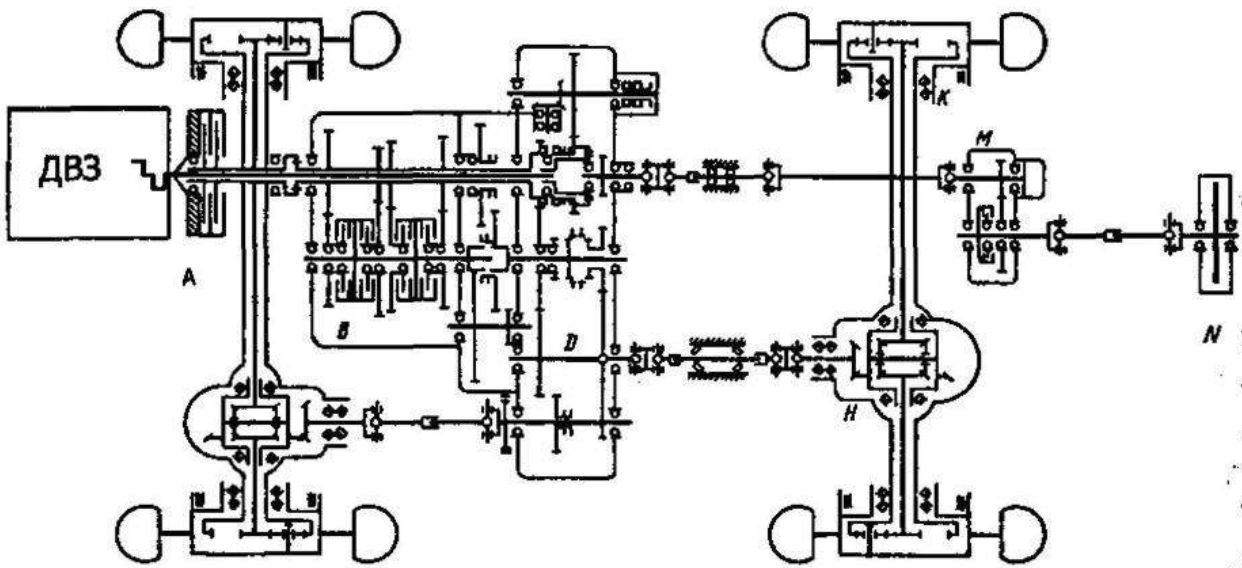


Рис. 2. Кінематична схема трансмісії трактора Т-150К з механічним накопичувачем енергії

Кількість енергії, що накопичується маховиком, повинна дорівнювати кінетичній енергії E_k , яка затрачується на подолання перевантажень двигуна.

$$E_k = \frac{I_d \cdot (\omega_n^2 - \omega_M^2)}{2}, \quad (1)$$

де E_k — кінетична енергія, яка затрачується на подолання перевантажень двигуна; I_d — момент інерції двигуна; ω_n — номінальна частота обертання двигуна; ω_M — частота обертання двигуна, при якій досягається максимальний крутний момент.

Оскільки МНЕ жорстко зв'язаний з двигуном, то накопичена енергія маховика передається колінчатому валу ДВЗ. В результаті маємо, що під час коливань зовнішнього навантаження, його пікові значення нівелюються за рахунок зміни кінетичної енергії, яка накопичується маховиком.

При елементарному дослідженні динамічних навантажень ґрунтообробного МТА доцільно розглядати його спрощену еквівалентну фізичну модель. Для дотримання динамічної подібності еквівалентної моделі реальному МТА підбираємо махові маси таким чином, щоб кінетична енергія кожної з них дорівнювала сумарній кінетичній енергії замінених нею мас.

Багатомасова еквівалентна модель (рис. 3) включає елементи обертового та поступального руху (приведеного до обертового), пружні

ланки, які характеризують податливість деталей трансмісії та розсіювання енергії завдяки властивостям демпфування матеріалів та пристроїв. До складу динамічної моделі входять: п'ять основних махових мас з приведеними до колінчатого вала моментами інерції I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 , із яких перша маса імітує рухомі маси двигуна, друга — маси обертових деталей трансмісії, третя — маси трактора і знаряддя, еквівалентні поступальному руху МТА, четверта — маси обертових деталей редуктора ВВП, п'ята — маси обертових деталей механічного накопичувача енергії, c_1, k_1 — еквівалентні жорсткість та демпфування деталей трансмісії, c_2, k_2 — еквівалентні жорсткість та демпфування рушіїв, c_3, k_3 — жорсткість та демпфування деталей приводу редуктора ВВП, c_4, k_4 — жорсткість та демпфування деталей приводу механічного накопичувача енергії.

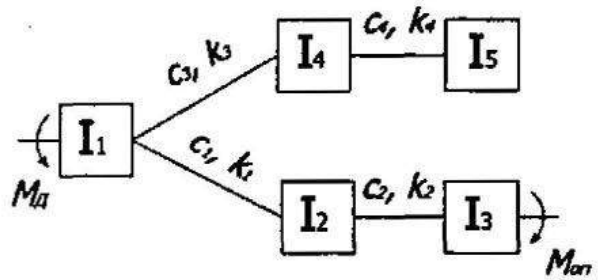


Рис. 3. Еквівалентна динамічна модель руху ґрунтообробного МТА

До інерційної маси I_1 прикладений крутний момент M_d , що розвивається двигуном, а до інерційної маси I_3 — сумарний момент сил опору руху агрегату $M_{оп}$. Для спрощення попередніх математичних викладок припустимо, що буксування ведучих коліс з ґрунтом відсутнє і система голономна.

Рух даної динамічної системи описується за допомогою складання рівнянь Лагранжа II-го порядку. За результатом перетворення яких, маємо систему з п'яти диференційних рівнянь II-го порядку, до яких входять члени з нелінійними залежностями.

$$\begin{cases} I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 = M_d - c_1 \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) - \kappa_1 \cdot (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - c_3 \cdot (\varphi_1 - \varphi_4) - \kappa_3 \cdot (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_4); \\ I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 = c_1 \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + \kappa_1 \cdot (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - c_2 \cdot (\varphi_2 - \varphi_3) - \kappa_2 \cdot (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3); \\ I_3 \cdot \ddot{\varphi}_3 = c_2 \cdot (\varphi_2 - \varphi_3) + \kappa_2 \cdot (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) - M_{оп}; \\ I_4 \cdot \ddot{\varphi}_4 = c_3 \cdot (\varphi_1 - \varphi_4) - \kappa_3 \cdot (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_4) - c_4 \cdot (\varphi_4 - \varphi_5) - \kappa_4 \cdot (\dot{\varphi}_4 - \dot{\varphi}_5); \\ I_5 \cdot \ddot{\varphi}_5 = c_4 \cdot (\varphi_4 - \varphi_5) - \kappa_4 \cdot (\dot{\varphi}_4 - \dot{\varphi}_5). \end{cases} \quad (2)$$

Зміну крутного моменту двигуна M_d визначали апроксимацією регуляторної та коректорної гілок зовнішньої регуляторної характеристики за допомогою рівняння регресії — параболи третього порядку (рис. 4) [1].

Сумарний момент сил опору руху агрегату $M_{\text{оп}}$ задавали за допомогою раціональної формули В.П. Горячкіна з додаванням псевдовипадкового процесу, який описано п'ятьма синусоїдами.

$$M_{\text{оп}} = \frac{r}{i \cdot \eta} \left(35000 + 790 \cdot \left(\frac{r}{i} \cdot \dot{\varphi}_3 \right)^2 + 2750 \cdot \sin(0,9 \cdot t) + 4800 \cdot \sin(1,25 \cdot t) + \right. \\ \left. + 4900 \cdot \sin(2,75 \cdot t) + 2300 \cdot \sin(0,16 \cdot t) + 500 \cdot \sin(11 \cdot t) \right), \quad (3)$$

де r — радіус кочення ведучих коліс; i — передаточне число трансмісії; η — коефіцієнт корисної дії трактора.

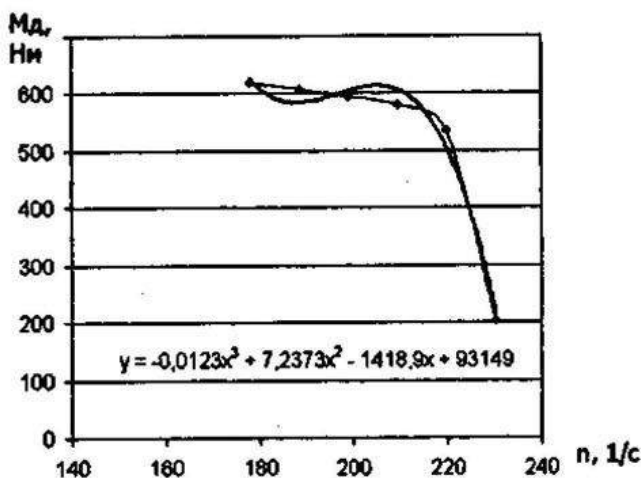


Рис. 4. Апроксимація зовнішньої характеристики двигуна СМД-62

Значення параметрів I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 для трактора Т-150К одержано за даними літературних джерел [7] та розрахунками.

Систему диференціальних рівнянь вирішували інтегруванням в середовищі MathCad 13 числовими методами.

За результатами розрахунків одержано залежності процесу зміни частоти обертання φ_1 колінчатого вала двигуна за часом.

З наведених залежностей видно, що зміна зовнішнього навантаження суттєво впливає на режим роботи ДВЗ (рис. 5а), відбувається коливання колінчастого вала двигуна в межах 450 об./хв від 1680 до 2130 об./хв, що відповідає зміні питомої витрати пального в межах

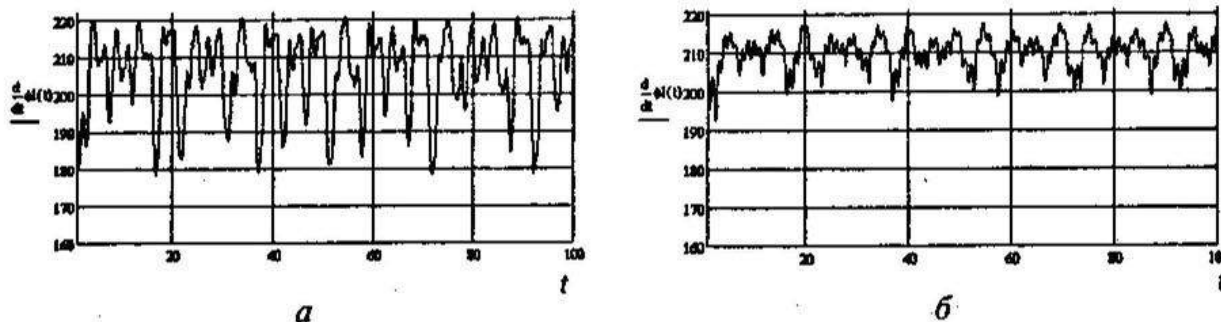


Рис. 5. Процес зміни частоти обертання колінчастого вала ДВЗ трактора у складі одного МТА: а — без додаткового механічного накопичувача енергії; б — з додатковим механічним накопичувачем енергії

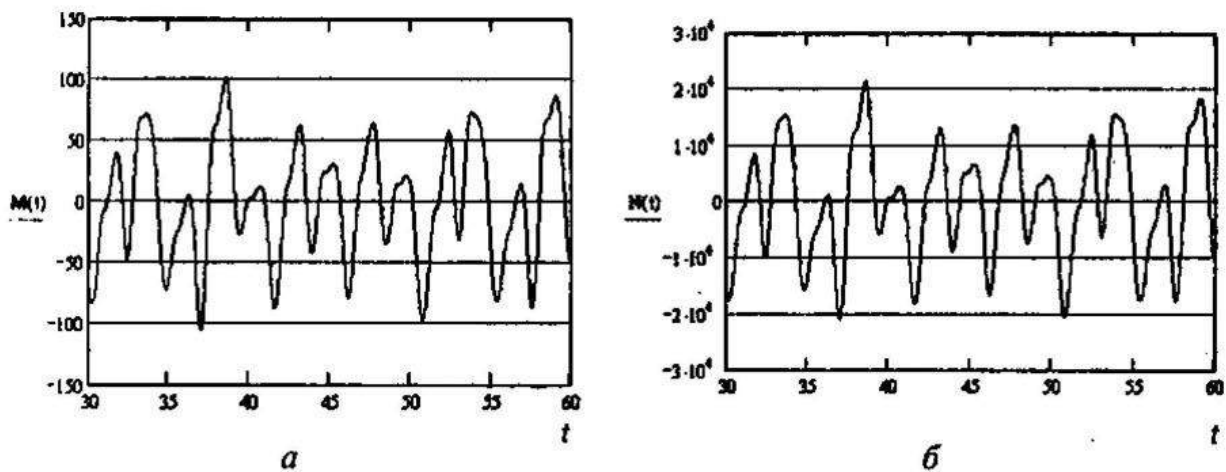


Рис. 6. Процес зміни крутного моменту M_M (а) та потужності N_M (б), які виникають у приводі МНЕ

$g_e=242\dots265$ г/(кВт·год). Використання додаткового маховика з моментом інерції, який перевищує в 10 разів момент інерції маховика ДВЗ, дозволяє зменшити коливання частоти обертання колінчастого вала до 190 об./хв і відповідну питому витрату пального в межах від 242 до 246 г/(кВт·год) та експлуатувати двигун в режимі максимальної потужності (рис. 1).

Динаміку зміни крутного моменту M_M та потужності N_M , що виникає в приводі МНЕ, зображено на рис. 6. Аналізуючи залежності, маємо коливання крутного моменту ± 100 Нм та потужності ± 21 кВт.

Висновки. За результатами математичного моделювання роботи ґрунтообробного МТА з використанням механічного накопичувача енергії виведено:

1. Зміна навантаження від взаємодії робочих органів МТА з ґрунтом суттєво впливає на частоту обертання колінчастого вала ДВЗ у межах від 1680 до 2130 об./хв, що відповідає діапазону в 450 об./хв і зміні питомій витраті пального в межах $g_e=242\dots265$ г/(кВт·год.).

2. Використання додаткового МНЕ дозволяє зменшити діапазон зміни частоти обертання колінчастого вала ДВЗ до 190 об./хв і відповідну питому витрату пального в межах від 242 до 246 г/(кВт·год).

3. Для зменшення маси додаткового маховика без зменшення запасу кінетичної енергії доцільно використовувати мультиплікатор.

4. Механічний накопичувач енергії в складі маховика та мультиплікатора раціонально підключати до приводу незалежного ВВП трактора.

5. Потужність, яка виникає в приводі додаткового МНЕ, в наведеному прикладі становить ± 21 кВт.

6. Математичне моделювання роботи ґрунтообробного МТА показало доцільність використання в трансмісії додаткового механічного накопичувача енергії.

7. Для одержання уточнених рекомендацій для проектування пристроїв з накопичення енергії для покращення паливної економічності МТА доцільно провести додаткові теоретичні та експериментальні дослідження.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Гольверк А.А.* Методические рекомендации по определению эффективности и топливной экономичности тракторных двигателей при нормальных и экстремальных условиях — К.: УНИИМЭСХ, 1987. — 70 с.
 2. *Взоров Б.А., Молчанов К.К., Трепененков И.И.* Снижение расхода топлива сельскохозяйственными тракторами путем оптимизации режимов работы двигателей // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 1985. — № 6. — С. 10–14.
 3. *Сорокин А.А.* Повышение эффективности работы универсально-пропашных тракторов в растениеводстве: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. — Оренбург: Оренбургский государственный аграрный университет, 2009. — 22 с.
 4. *Долгов И.А.* Тенденции развития конструкций моторно-трансмиссионных установок и сельскохозяйственных тракторов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2006. — № 6. — С. 17–21.
 5. *Третьак В.М., Оляднічук Р.В., Петриченко В.С., Потапов М.М.* Порівняльне обґрунтування роботи модульних тягово-транспортних засобів з роботою тракторів // Механізація та електрифікація сільського господарства. — 2009. — Вип. 93 — С. 236–247.
 6. *Кутьков Г.М., Сидоров В.Н.* Методика расчета теоретической тягово-динамической характеристики трактора // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2006. — № 9. — С. 20–23.
 7. *Барский И.Б., Анилович В.Я., Кутьков Г.М.* Динамика трактора. — М.: Машиностроение, 1973. — 280 с.
-

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

Рассмотрено теоретическое сравнение работы почвообрабатывающих машинно-тракторных агрегатов с дополнительным накопителем энергии и без него.

IMPROVEMENT OF OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF SOIL-CULTIVATING MTA BY APPLICATION OF THE MECHANICAL STORE OF ENERGY

Theoretical comparison of work soil-cultivating MTA with the additional store of energy and without it is considered.