

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ РУХОМ ТРАКТОРА

Калінін Є., д-р техн. наук, доц.,

e-mail: kalininhtusg@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6191-8446>

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка,

Мясушка М.,

e-mail: hfukrndipvt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2178-1144>

Харківська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого,

Анотація

Мета дослідження. Оцінка можливості оптимізації керування трактором методами автоматичного пошуку точки оптимуму. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

– проаналізувати умову функціонування тракторного агрегата з визначенням силових факторів, які впливають на його умову експлуатації;

– розробити схему та алгоритм роботи екстремального регулятора та проаналізувати його функціонування.

Методи дослідження. В основі аналітичних досліджень покладені методи оптимізації силових факторів, які діють на трактор.

Результати дослідження. Розглянуто автоматичний регулятор, який забезпечує для кожної швидкості руху оптимальне співвідношення числа обертів двигуна і передавального числа передачі. Логічний пристрій генерує сигнал для зміни передавального числа силової передачі. Необхідну швидкість руху тракторного агрегата оператор встановлює регулятором швидкості. Зміна передавального числа викликає зміну швидкості руху трактора. Сигнал відхилення швидкості руху, після посилення, забезпечує вплив на подачу палива і, зміною обертів колінчастого вала двигуна, дійсну швидкість руху трактора доводить до заданої. У системі регулювання кількість споживаного двигуном палива вимірюється витратоміром, причому вимірювання здійснюється через певні інтервали, і поточне значення порівнюється з попереднім. Зменшення витрати палива означає, що вплив на зміну передавального числа був вибраний правильно.

Висновки. У роботі запропонована самоналагоджувальна система. У теоретичному дослідженні можливості оптимального керування рухом трактора визначені рівняннями, які легко розв'язуються графоаналітичним методом. З графічної побудови визначається час виходу системи на оптимальний режим.

Розглянутим прикладом регулювання силового привода і двигуна трактора не вичерпується сфера застосування самоналагоджувальних систем. Режими роботи ряду агрегатів, а також деякі взаємозв'язки конструкційних параметрів мають статичні характеристики, які забезпечують широке застосування цих систем.

Ключові слова: автоматичне керування, трактор, оптимізація руху, зниження витрати палива.

Вступ. Сучасні трактори представляють собою досить складні і дорогі машини, які використовуються в різних галузях виробництва на відповідальних операціях. Тому в ефективному використанні тракторів однаково зацікавлені як користувачі, так і виробники. Для останніх забезпечення такого використання є ознакою високої конкурентоспроможності, що допома-

гає не тільки утримувати, а й зміцнювати свої позиції на ринку [Россоха В.В., 2009], [Кравчук В. І. та ін., 2010]. Однак практика показує, що в реальній експлуатації спостерігається розрив між можливостями, закладеними в конструкції тракторів, наприклад, за потужністю двигуна і реальними результатами, зокрема продуктивності. Особливо помітний такий розрив у

сільськогосподарському виробництві, де трактори є основною енергетичною базою рослинництва [Труфляк Е. В., 2016], [Лебедев А. Т. та ін., 2015], [Кутырев А.М. и др., 2018]. Це видно за таким показником, як рівень використання потужності двигуна, яка для тракторів різних тягових класів на різних операціях становить від 40 до 88 % [Герасимов Г., 2008].

Такі ж розриви мають місце і за такими показниками як витрата палива, трудомісткість ремонту та обслуговування, умови праці. Причини цього розриву достатньо різноманітні. Частина з них пов'язана з недоліками самої конструкції трактора, тієї чи іншої властивості. Наступна частина походить від недосконалої організації робіт, у яких використовуються трактори. Нарешті, дуже істотними є причини, пов'язані з наявністю так званого «людського фактора», тобто з тим, що трактори керуються людьми з властивими їм недоліками, які виявляються в недостатній якості керування [Калінін Є. І. та ін., 2016], [Лебедев А. П. та ін., 2010].

Зі свого боку, недостатня якість керування може пояснюватися двома причинами. Перша пов'язана з недостатньою кваліфікацією водія або з недостатньо докладною інструкцією з експлуатації. Така причина легко може бути усунена і багато виробників приділяють їй серйозну увагу. Інша причина носить більш складний характер. Вона пов'язана з тим, що керування як вид діяльності людини спирається на наявність інформації про умови, в яких виконується робота, і про характер її виконання [Калінін Є. І., 2018]. І те, і інше змінюється в широких межах, внаслідок чого водій отримує цю інформацію як потік певної інтенсивності. І тут виявляється, що найчастіше інтенсивність інформаційного потоку не збігається з можливостями людини, тому виникає інформаційний дисбаланс (дискомфорт), це утруднює людині керування, яке повинно швидко реагувати на постійно змінювані умови роботи [Семичев С. В., 2017].

У роботах [Artemov N. P., Shulyak M. L., 2015], [Shulyak M.L., 2015], [Shulyak

M.L., Lebedev A. T., 2016] досліджено рух трактора у складі з агрегатом перемінної маси і запропоновано напрямки підвищення ефективності керування роботою тракторів в агрегаті з такими машинами.

Постановка завдань. Оцінка можливості оптимізації керування трактором методами автоматичного пошуку точки оптимуму. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати умову функціонування тракторного агрегата з визначенням силових факторів, які впливають на його умову експлуатації;

- розробити схему та алгоритм роботи екстремального регулятора та проаналізувати його функціонування.

Методи і матеріали. Основна вимога до виробничих процесів, – це їх виконання за екстремальних значень основних показників.

Рух трактора має бути в певному сенсі оптимальним, тобто таким, за якого досягається найбільший ефект, наприклад, максимальна продуктивність за мінімальної витрати палива. Прикладом оптимального режиму для транспортної машини є режим, який забезпечує максимальний шлях.

Тракторний агрегат функціонує в різноманітних умовах, тому важливе значення має не тільки вибір середньої швидкості руху, але й оптимальний розподіл швидкостей залежно від умов руху.

Досліджуємо аналітично питання оптимального управління двигуном внутрішнього згоряння і режимом руху трактора. Для цього необхідно вирішити задачу оптимізації двох об'єктів: оптимального режиму двигуна і оптимальної швидкості руху трактора.

Рівняння руху трактора можна представити так:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{mv^2}{2} \right) = \eta N_e - (P_{зак} + P_f)v, \quad (1)$$

де m – маса трактора, кг;

v – швидкість руху, м/с;

η – тяговий коефіцієнт корисної дії трактора;

N_e – потужність двигуна, кВт;
 $P_{зак}$ – гакове зусилля трактора, Н;
 P_f – опір руху, Н.

Для спрощення розв'язку задачі приймаємо (на робочих швидкостях) коефіцієнт корисної дії величиною постійною і такою, що не залежить від переданої потужності.

Досвід показує, що тягове зусилля змінюється зі зміною умов роботи сільськогосподарських знарядь і машин і залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту, профілю колії і т. п. Найбільша питома вага сільськогосподарських робіт припадає на ґрунтообробні знаряддя. Їхні робочі органи зустрічають опір, обумовлений деформацією ґрунтового шару і прикладанням певної сили частинкам під час їх відкидання.

За даними академіка В. П. Горячкіна:

$$P_{зак} = f_{пл} G_{пл} + k_n ab + \varepsilon abv^2, \quad (2)$$

де $f_{пл}$ – коефіцієнт опору перекочування плуга;

$G_{пл}$ – вага плуга, Н;

k_n – коефіцієнт здатності ґрунтового пласта чинити опір деформації;

a – глибина обробітку пласта ґрунту, м;

b – ширина захвату агрегата, м;

ε – коефіцієнт, який залежить від форми відвалу і властивостей ґрунту.

Вираз (2) можна представити так:

$$P_{зак} = P(x) + k_1 v^2, \quad (3)$$

де k_1 – постійна величина;

x – поточне значення шляху, пройденного трактором ($dx/dt = v$);

$P(x)$ – складова сили опору, яка залежить від шляху (наявності підйомів, ухилів і т.п.).

Якщо віднести шлях, час та потужність до номінальних значень, то рівняння руху (1) можна представити безрозмірно:

$$x''x' + P(x)x' + k_0 x'^2 + k_1 x'^3 = \eta N, \quad (4)$$

де x та N – безрозмірні змінні;

k_0 – постійна величина.

Витрата палива двигуна визначається такими факторами. За зовнішньою харак-

теристикою витрата палива залежить від обертів колінчастого вала і потужності двигуна. Зокрема, якщо трансмісія являє собою безступінчасту передачу, то оберти тягових коліс, а отже і швидкість руху трактора, не пов'язані жорстко з обертами двигуна. Тому кожному значенню потужності двигуна відповідають оптимальні оберти, які відповідають мінімальній витраті палива. У цьому випадку витрата палива є функцією потужності двигуна. Характеристику його можна апроксимувати прямою. Тоді витрата G буде лінійною функцією від потужності. У безрозмірних координатах

$$G = N + c, \quad (5)$$

де c – постійна величина.

Результати. Оптимальне керування повинно забезпечити високу продуктивність за мінімальної витрати палива. Якщо вважати, що в момент початку руху для $t = 0$ маємо $x = 0$ і $v = 0$, то після закінчення руху для $t = T_0$ відповідно маємо $x = x_0$ і $v = 0$ (T_0 – час руху; x_0 – довжина пройденного шляху).

Шукана функція $x(t)$, яка задовольняє граничні умови, повинна відповідати також таким нерівностям: $x'' \leq x''_{\max}$ – максимальне прискорення обмежується потужністю двигуна та зчепленням; $N_e \leq N_{e\max}$ – обмеження за двигуном; $x' \leq x'_{\max}$ – максимальна швидкість обмежується тяговим опором та рельєфом поверхні

З численних функцій $x(t)$, які відповідають певним режимам руху, слід вибрати таку, яка забезпечує мінімальну витрату палива, тобто надає мінімум інтегралу:

$$I = \int_0^{T_2} G dt = \frac{1}{\eta} \int_0^{T_2} (x''x' + Px' + k_0 x'^2 + k_1 x'^3) dt + \int_0^{T_2} c dt. \quad (6)$$

Розв'язок поставленої задачі будемо здійснювати варіаційними методами.

Екстремаль функціоналу визначають з рівняння Ейлера-Пуассона:

$$F_x - \frac{d}{dt} F_{x'} + \frac{d^2}{dt^2} F_{x''} = 0, \quad (7)$$

де $F = x''x' + Px' + kx'^2 + k_1x'^3$ – підінтегральний вираз функціоналу.

Тоді частинні похідні від F за x , x' та x'' :

$$\begin{aligned} F_x &= 0, \quad F_{x'} = x'' + P + 2k_0x' + 3k_1x'^2, \\ F_{x''} &= x'. \end{aligned} \quad (8)$$

Підставивши в (7) рівняння (8), отримаємо:

$$\begin{aligned} -\frac{d}{dt}(x'' + P + 2k_0x' + 3k_1x'^2) + \frac{d^2}{dt^2}x' &= 0, \\ -x''' - 2k_0x'' - 6k_1x'x'' + x''' &= 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Остаточно отримаємо:

$$x''(k_0 + 3k_1x') = 0. \quad (10)$$

Останній вираз розпадається на два рівняння:

$$x'' = 0, \quad k_0 + 3k_1x' = 0. \quad (11)$$

Розв'язком рівнянь будуть криві постійної швидкості. Отже, мінімальна витрата палива досягається за руху трактора з постійною швидкістю.

Для того, щоб функція $x(t)$ надавала екстремум функціоналу (6), необхідно, крім рівняння Ейлера-Пуассона, виконання умови Лежандра. Вид екстремуму визначається знаком виразу $F_{x''x''}$.

Функціонал (6) залежить від другої похідної. Тоді:

$$F_{x''} = x', \quad F_{x''x''} = 0, \quad (12)$$

тобто друга похідна від підінтегральної функції функціоналу (6) за старшою похідною шуканої функції дорівнює нулю:

$$\frac{d^2G}{dx''^2} = 0. \quad (13)$$

Розглянемо автоматичний регулятор, який забезпечує для кожної швидкості руху оптимальне співвідношення числа обертів двигуна і передавального числа передачі. Він відноситься до екстремальних, а схема його наведена на рисунку 1.

Логічний пристрій генерує сигнал для зміни передавального числа силової передачі. Необхідну швидкість руху тракторного агрегата встановлює оператор регулятором швидкості. Зміна передавального числа i викликає зміну швидкості руху трактора. Елемент № 1 системи порівнює дійсну швидкість руху із заданою. Сигнал відхилення Δv , після посилення, забезпечує вплив на подачу палива і зміною обертів колінчастого вала двигуна дійсну швидкість руху трактора доводить до заданої.

У системі регулювання вимірювання кількості споживаного двигуном палива проводиться витратоміром, причому вимірювання здійснюється через певні інтервали. Поточне значення порівнюється

з попереднім. Зменшення витрати палива означає, що вплив на зміну i був вибраний правильно. Сигнал з елемента порівняння №2, який подається на логічний пристрій, забезпечить подальшу зміну передавального числа.

На рисунку 2 наведена залежність, яка пояснює роботу пристрою автоматичного пошуку. Зі зміною передавального числа, система зі стану a переходить в стан b і т.д.

Оперативна пам'ять забезпечує фіксацію витрати



Рисунок 1 – Схема екстремального регулятора руху трактора

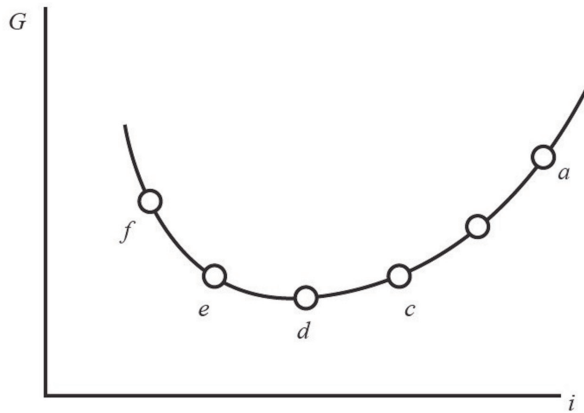


Рисунок 2 – Статична характеристика – залежність витрати палива від передавального числа силової передачі

палива в кожній точці. Через деякий час система досягає мінімального значення кривої витрати (точка d). Подальша зміна передавального числа викликає збільшення витрати палива (точка e). Система змінює напрямок пошуку і знову досягає мінімального значення. Встановлюється режим автоколивань відносно мінімального значення статичної характеристики. Оптимальне значення передавального числа забезпечує задану швидкість руху тракторного агрегата.

У реальних умовах режим роботи змінюється, що викликає переміщення статичної характеристики об'єкта (рис. 2) в площині. Зміна навантаження об'єкта регулювання деформує статичну характеристику.

Обговорення. Основною оцінкою якості режиму пошуку автомата є час виходу системи на оптимальний режим. Ця якісна оцінка визначається як час, необхідний для проходження 95 % відстані від вихідної до оптимальної точки.

Проведемо розрахунок перехідного процесу. Об'єкт регулювання і виконавчий елемент мають певну інерційність. Нелінійна частина об'єкта представлена окремою ланкою.

Залежність між входом нелінійної частини об'єкта і виходом логічного пристрою описується рівнянням:

$$T \frac{d^2 \eta}{dt^2} + \frac{d\eta}{dt} = y. \quad (14)$$

Розв'язок його без правої частини:

$$\eta_1 = c_1 + c_2 e^{-\frac{t}{T}}. \quad (15)$$

Частинний розв'язок з правою частиною:

$$\eta_2 = c_3 t. \quad (16)$$

Повний розв'язок рівняння (14):

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = c_1 + c_2 e^{-\frac{t}{T}} + c_3 t. \quad (17)$$

Оскільки, якщо $t = 0$, вихідний сигнал нелінійної ланки $\chi = \chi_0$, то

$$\chi_0 = k \eta_1^2. \quad (18)$$

Тоді:

$$\eta_1 = \pm \sqrt{\frac{\chi_0}{k}}. \quad (19)$$

За $t = 0$ з рівняння (17) випливає:

$$c_1 + c_2 = \eta_1. \quad (20)$$

Продиференціювавши (17), знайдемо:

$$\frac{d\eta}{dt} = -\frac{c_2}{T} + y = -y, \quad (21)$$

звідки:

$$c_2 = 2yT. \quad (22)$$

Знайдемо також постійну часу:

$$c_1 = \eta_1 - 2yT. \quad (23)$$

З рівняння (16):

$$\frac{d\eta_2}{dt} = c_3 = y \text{ або } \eta_2 = yt. \quad (24)$$

Повний розв'язок:

$$\eta = \eta_1 - 2yT + yT + 2yTe^{-\frac{t}{T}}. \quad (25)$$

За $t = t_0$ матимемо

$$\chi = z^2 \chi_0 = z^2 k \eta_1^2. \quad (26)$$

де z^2 – відхилення від початкового значення. Крім того, маємо:

$$\chi = k \left(yt_0 + \eta_1 - 2yT + 2yTe^{-\frac{t_0}{T}} \right)^2. \quad (27)$$

Прирівнявши останні два рівняння,

знайдемо:

$$\begin{aligned} z^2 \eta_1^2 &= \left(yT_0 + \eta_1 - 2yT + 2yTe^{\frac{t_0}{T}} \right)^2, \\ z\eta_1 &= yT_0 + \eta_1 - 2yT + 2yTe^{\frac{t_0}{T}}, \\ 2yT - (1 \pm z)\eta_1 &= y \left(t_0 + 2Te^{\frac{t_0}{T}} \right), \\ t_0 + 2Te^{\frac{t_0}{T}} &= 2T - \frac{(1 \pm z)\eta_1}{y}. \end{aligned} \quad (28)$$

Висновки. У теоретичному дослідженні можливості оптимального керування рухом трактора визначені рівняннями (28), які легко розв'язуються графоаналітичним методом. З графічної побудови визначається час виходу системи на оптимальний режим.

Розглянутим прикладом регулювання силового привода і двигуна трактора не вичерпується сфера застосування самоналагоджувальних систем. Режим роботи ряду агрегатів, а також деякі взаємозв'язки конструкційних параметрів мають статичні характеристики, які забезпечують широке застосування цих систем.

Наукова цінність дослідження полягає в аналітичному обґрунтуванні можливості автоматичного водіння трактора як системи з розподіленими параметрами.

Практична цінність дослідження полягає у можливості розроблення методики автоматичного управління трактора, яка може бути використана для покращення наявних та розроблення нових тракторів, які використовують глобальне позиціонування для функціонування у полі.

Перелік літератури

Герасимов Г. (2008). GPS/DGPS – технологии в земельно-кадастрових работах. Геопротфиль. 03-08. 17-23.

Калінін Є.І. (2018). Частотний аналіз коливань гусеничних тракторів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Зб. наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого. Вип. 22 (36). 86-91.

Калінін Є. І., Шуляк М. Л., Шевченко І.О. (2016). Дослідження перехідних процесів в коробці змінних передач мобільного енергетичного засобу. Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. 168. 73-79.

Кравчук В., Ковтунець О, Соколов В., Шупик Ю. (2010). Алгоритм практичного використання глобальної позиційної системи GPS для визначення об'єктів в системі контролю росту рослин (CGMS). Техніка і технології АПК. 1. 37-39.

Кутырѳев А. И., Хорт Д. О., Филиппов Р. А., Смирнов И. Г., Вершинин Р. В. (2018). Система автоматизированного управления параметрами агрегата магнитно-импульсной обработки растений в садоводстве. Сельскохозяйственные машины и технологии. 12. 1. 16-21.

Лебедев А. Т., Калінін Є. І. (2010). Теоретичне дослідження тягово-зчіпних властивостей тракторів, обладнаних здвоєними шинами, під час виконання ґрунтообробних робіт на агрофоні підвищеної вологості. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Зб. наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого. Вип. 14 (28). 216-224.

Лебедев А. Т., Калінін Є. І., Шуляк М. Л. (2015). Опір перекочування колеса, що працює з буксуванням. Сільськогосподарські машини: зб. наук. праць ЛНТУ. 32. 109-116.

Росоха В. В. (2009). Технологічний чинник у розвитку сільськогосподарського виробництва. Вісник аграрної науки. 3. 66-70.

Семичев С. В. (2017). Анализ устройств управления траекторией движения сельскохозяйственных машин. Инновации в сельском хозяйстве. 4 (25). 217-221.

Труфляк Е. В. (2016). Использование систем точного земледелия ведущими производителями сельскохозяйственной техники. Краснодар: КубГАУ, 76.

Artemov N. P. Shulyak M. L. (2015). Analysis and control of random vibration processes in the operation of mobile agricultural units as a mechanical systems. Scientific and educational journal the progressive researchers «Science & Genesis».

April No. 1. 151–155.

Shulyak M. L. (2015). Oscillation of the speed of the MTA variable mass at a steady state of motion. Motrol Commission of motorization and energetics in agriculture. 17, 23–29.

Shulyak M. L., Lebedev A. T. (2016). Assessment of the sustainability of agricultural technologies in crop production to changes in the parameters and operating modes of tractor units. Motrol Commission of motorization and energetics in agriculture. 18 5. 53–58.

References

Artemov N. P. & Shulyak M.L. (2015). Analysis and control of random vibration processes in the operation of mobile agricultural units as a mechanical systems. Scientific and educational journal the progressive researchers «Science & Genesis». April No. 1. 151–155.

Gerasimov G. (2008). GPS / DGPS - technologies in land cadastral works. Geoprofil. 03-08. 17-23.

Kalinin E.I. (2018). Frequency analysis of the number of caterpillar tractors. Collection of scientific papers UkrNDIPVT named Leonid Pogorilogo. 22 (36). 86-91.

Kalinin E. I., Shulyak M. L., Shevchenko I. O. (2016). Investigation of transients in the gearbox of a mobile power vehicle. Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko. 168. 73-79.

Kravchuk V., Kovtunets O, Sokolov V., & Shupik Y. (2010). Algorithm for the practical use of the global positional GPS system to identify objects in the plant growth control system (CGMS). Technology and technology of the agro-industrial complex. №1. 37-39.

Kutyrev A. I., Hort D. O., Filippov R. A., Smirnov I. G., Vershinin R. V. (2018). A system for automated control of the parameters of a unit for magnetic-pulse processing of plants in horticulture. Agricultural machines and technologies. 12. 1. 16-21.

Lebedev A. T., Kalinin A. I. (2010). Theoretical study of traction and coupling properties of tractors equipped with dual tires

during tillage work on agro background of high humidity. Collection of scientific papers L. Pogorilyy UkrNDIPVT. Ed. 14 (28). 216-224.

Lebedov A. T., Kalinin A.I., Shulyak M. L. (2015). Rolling resistance of a wheel that works with towing. Collection of scientific papers LNTU. 32. 109-116.

Rossokha V. V. (2009). Technological factor in the development of agricultural production.. Bulletin of Agrarian Science. № 3. 66-70.

Semichev S. V. (2017). Analysis of trajectory control devices for agricultural machines. Agricultural innovations. 4 (25). 217-221.

Shulyak M. L. (2015). Oscillation of the speed of the MTA variable mass at a steady state of motion. Motrol Commission of motorization and energetics in agriculture. № 17, 23–29.

Shulyak M. L., Lebedev A. T. (2016). Assessment of the sustainability of agricultural technologies in crop production to changes in the parameters and operating modes of tractor units. Motrol Commission of motorization and energetics in agriculture. 18 5. 53–58.

Truflyak E. V. (2016). The use of precision farming systems by leading agricultural machinery manufacturers. Krasnodar: KubGAU, 76.

UDC 65-52

OPTIMAL CONTROL OF THE TRACTOR MOVEMENT

Kalinin E., Dr. Tech. Scs, Prof.,

e-mail: kalininhtusg@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6191-8446>

Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture,

Myasushka M.,

e-mail: hfukrndipvt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2178-1144>

Kharkiv branch L. Pogorilyy UkrNDIPVT

Summary

Goal of the study. Assessment of the possibility of optimizing tractor control by methods of automatic search for the optimum point. To achieve this goal, you must complete the following tasks:

- to analyze the operating conditions of the tractor unit with the determination of the force factors affecting its operating conditions;

- to develop a scheme and algorithm for the operation of the extreme regulator and analyze its functioning.

Research methods. Analytical studies are based on methods of optimization of power factors acting on a tractor.

The results of the study. An automatic regulator is considered, which provides an optimal ratio of the engine speed and the transmission gear ratio for each speed. The logic device generates a signal to change the power train ratio. The required travel speed of the tractor unit is set by the operator using the speed regulator. Changing the gear ratio changes the speed of the tractor. The signal of the deviation of the speed of movement, after amplification, provides an effect on the fuel supply and, by changing the revolutions of the crankshaft of the engine, brings the actual speed of the tractor to the set one. In the control system, the measurement of the amount of fuel consumed by the engine is carried out by a flow meter, and the measurement is carried out at certain intervals, and the current value is compared with the previous one. Reducing fuel consumption means that the influence on the change in gear ratio has been chosen in the right direction.

Conclusions. The paper proposes a self-adjusting system. In a theoretical study of the possibility of optimal control of the tractor movement, equations are determined that are easily solved by the graphical analytical method. The graphical plotting determines the time the system reaches the optimal mode.

The considered example of regulation of the power drive and the tractor engine does not exhaust the scope of application of self-adjusting systems. The operating modes of a number of units, as well as some interrelationships of design parameters, have static characteristics that ensure widespread use of these systems.

Keywords: automatic control, tractor, optimization of movement, reduction of fuel consumption

УДК 65-52

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ТРАКТОРА

Калинин Е., д-р техн. наук, проф.,

e-mail: kalininhtusg@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6191-8446>

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка,

Мясушка М.,

e-mail: hfukrndipvt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2178-1144>

Харьковский филиал УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого,

Аннотация

Цель исследования. Оценка возможности оптимизации управления трактором методами автоматического поиска точки оптимума. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- проанализировать условие функционирования тракторного агрегата с определением силовых факторов, влияющих на его условие эксплуатации;
- разработать схему и алгоритм работы экстремального регулятора и проанализировать его функционирование.

Методы исследования. В основу аналитических исследований положены методы оптимизации силовых факторов, действующих на трактор.

Результаты исследования. Рассмотрен автоматический регулятор, который обеспечивает для каждой скорости движения оптимальное соотношение числа оборотов двигателя и передаточного числа трансмиссии. Логическое устройство генерирует сигнал для изменения передаточного числа силовой передачи. Необходимая скорость движения тракторного агрегата устанавливается оператором с помощью регулятора скорости. Изменение передаточного числа вызывает изменение скорости движения трактора. Сигнал отклонения скорости движения, после усиления, обеспечивает влияние на подачу топлива и, изменением оборотов коленчатого вала двигателя, действительную скорость движения трактора доводит до заданной. В системе регулирования измерение количества потребляемого двигателем топлива проводится расходомером, причем измерение осуществляется через определенные интервалы, и текущее значение сравнивается с предыдущим. Уменьшение расхода топлива означает, что влияние на изменение передаточного числа было выбрано в правильном направлении.

Выводы. В работе предложена самонастраивающаяся система. При теоретическом исследовании возможности оптимального управления движением трактора определены уравнения, которые легко решаются графоаналитическим методом. С графического построения определяется время выхода системы на оптимальный режим.

Рассмотренным примером регулирования силового привода и двигателя трактора не исчерпывается область применения самонастраивающихся систем. Режимы работы ряда агрегатов, а также некоторые взаимосвязи конструктивных параметров имеют статические характеристики, обеспечивающие широкое применение этих систем.

Ключевые слова: автоматическое управление, трактор, оптимизация движения, снижение расхода топлива