

При проектуванні та розробці інтелектуальних систем БДМ необхідно використовувати модульний принцип. Така система дозволить розробляти високоінтелектуальні будівельно-дорожні машини, забезпечити ефективне використання техніки в умовах, де вона дає найбільший виробничий ефект та буде сприяти підвищенню якості виконуваних робіт.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Баловнев В.И. Задача создания систем интеллектуальной дорожно-строительной техники - М.: Наука и техника в дорожной отрасли, № 4, 2012.

2. Амелин В.М. Электронные системы управления и контроля строительных и дорожных машин / В.М. Амелин, Ю.М. Иньков, В.И. Марсов. - М.: Интекст, 1998.

3. Плугина Т.В. Проектирование интеллектуальных операторских станций распределенных систем управления / Т.В. Плугина, Д.О. Маркозов - Вестник ХНАДУ, Вып.57, 2013.

4. Хмара Л.А. Сетевые технологии в эффективном сопровождении дорожно-строительной техники / Л.А. Хмара, С.И. Кононов. - Вестник ХНАДУ, Вып.57, 2012.

5. Колчин В.С. Основы диагностики и технической эксплуатации автомобилей: Учебное пособие. - Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2006. - 156 с.

УДК 681.5

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АВТОГРЕЙДЕРА З ВИКОНАВЧИМ ОРГАНОМ

К.т.н. А.Б. Бінковська, М.Д. Скотаренко, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

В роботі розглядаються питання з автоматизації дорожньо-будівельних машин. Було проведено математичний аналіз роботи автогрейдера, на основі якого була складена математична модель.

В работе рассматриваются вопросы автоматизации дорожно-строительных машин. Было проведено математический анализ работы автогрейдера, на основе которого была составлена математическая модель.

In the work questions of automation roadbuilding machines. Was conducted mathematical analysis of the grader, on the basis of which was made up mathematical model.

Ключові слова: дорожньо-будівельні машини, автоматизація, автогрейдер, гідроциліндр, аналіз, математична модель

Вступ.

Дорожнє будівництво, не дивлячись на зовнішню простоту технологічних процесів і обслуговуючих агрегатів, стикається з рядом специфічних труднощів, які виникають у зв'язку з необхідністю збільшення об'ємів робіт, підвищення якості і зниження собівартості готової продукції, що можна досягти лише методами автоматичного управління і контролю. Однією з основних причин, яка гальмує процес автоматизації дорожнього будівництва, є обмеженість даних про динамічні властивості об'єктів і технологічних процесів. Задачі синтезу систем автоматичного регулювання з високими якісними характеристиками виявляються часто нереалізованими через неможливість зміни динамічних властивостей об'єкту автоматизації без складних конструктивних переробок.

Вимоги автоматизації дозволяють по-новому оцінити особливості протікання виробничих процесів, відмовитися від застарілої технології або так змінити ту, що вже використовується, щоб виявити її потенційні можливості для поліпшення основних показників: продуктивності, надійності об'єму і маси металоконструкцій, якості готової продукції.

Аналіз публікацій.

Автогрейдери являють собою самохідні машини, основним робочим органом яких служить повноповоротний грейдерний відвал з ножами, встановлений під кутом до поздовжньої осі автогрейдера та розміщений між переднім і заднім мостами пневмоколісного ходового устаткування. При русі автогрейдера ножі зрізують ґрунт, і відвал зрушує його убік [1].

Автогрейдери застосовують для планувальних і профілювальних робіт при будівництві доріг, спорудження невисоких насипів і профільних виїмок, відриття дорожнього корита й розподілу в ньому кам'яних матеріалів, зачищення дна котлованів, планування територій, засипання траншей, ровів, каналів і ям, а також очищення доріг, будівельних майданчиків, міських магістралей і площ від снігу в зимовий час.

Автогрейдери використовують на ґрунтах I...III категорій. Процес роботи автогрейдера складається з послідовних проходів, при яких здійснюється різання ґрунту, його переміщення, розрівнювання й планування поверхні спорудження. Сучасні автогрейдери конструктивно подібні та виконані у вигляді самохідних тривісних машин з повноповоротним грейдерним відвалом, з механічною й гідромеханічною трансмісією та гідравлічною системою керування робочими органами.

За останні роки в розвитку конструкції автогрейдерів намітилися наступні тенденції: підвищення потужності двигунів без істотного збільшення ваги автогрейдерів; впровадження гідромеханічних трансмісій для ходової частини машини: застосування двигунів, пристосованих для роботи при значних кренах, а також в умовах низьких і високих температур і при умовах високої запиленості повітря; підвищення транспортної швидкості автогрейдерів; автоматизація керування з метою забезпечення автоматичного профілювання по заданому профілю; значне поліпшення умов роботи водія; застосування шин низького тиску із централізованим регулюванням тиску повітря, що подається від компресора двигуна [2,3].

Мета та постановка задачі.

Дорожнє будівництво, не дивлячись на зовнішню простоту технологічних процесів і обслуговуючих агрегатів, стикається з рядом специфічних труднощів, які виникають у зв'язку з необхідністю збільшення об'ємів робіт, підвищення якості і зниження собівартості готової продукції, що можна досягти лише методами автоматичного управління і контролю. Однією з основних причин, яка гальмує процес автоматизації дорожнього будівництва, є обмеженість даних про динамічні властивості об'єктів і технологічних процесів. Задачі синтезу систем автоматичного регулювання з високими якісними характеристиками виявляються часто нереалізованими через неможливість зміни динамічних властивостей об'єкту автоматизації без складних конструктивних переробок [2].

Тому актуальною задачею є автоматизація управління робочими процесами дорожньо-будівельних машин.

Автоматизація ведеться по двох основних напрямках:

- автоматичне управління агрегатами машини, параметри яких впливають на кількісну сторону робочого процесу, забезпечуючи найефективніше використання машини (підвищення її продуктивності);

- автоматичне управління робочими органами з метою підвищення якості виконання операцій, вимоги до точності яких особливо високі.

Автоматизація операцій по першому напрямку, з одного боку, частково або повністю звільняє оператора від контролю другорядних операцій, дозволяючи йому повністю займатися управлінням головними операціями, які виконуються машиною (до них відносяться роботи по оптимізації режиму двигуна за допомогою автоматичного управління подачею палива, трансмісією і т. п.), а з другого боку, забезпечує високу продуктивність машин за рахунок автоматичного управління робочими органами.

Автоматизація операцій по другому напрямку направлена на підвищення якості виконання операцій, контроль за якими з боку оператора стає неможливим через малі допуски на контрольовані величини. До них відносяться, наприклад, роботи по автоматичній стабілізації робочого органу планувальних машин, управління робочим органом землерийних машин по променю світла і т.п.

Комбіновані системи автоматизованого управління (САУ) дозволяють створити машини – роботи, що самостійно виконують складні операції. Розробка таких систем веде до комплексної автоматизації дорожніх робіт, створенню централізовано керованих комплексів різних машин, що виконують загальну складну технологічну задачу.

Мета дослідження - провести математичний аналіз роботи автогрейдера і скласти математичну модель.

Метод дослідження .

Проектування й аналіз систем автоматичного управління нині немислимі без застосування засобів обчислювальної техніки. До останніх, зокрема, відносяться система інженерних і наукових розрахунків MATLAB і система моделювання динамічних і подієво керованих систем, що добре зарекомендувала себе, - Simulink.

Система Simulink дозволяє моделювати складні

системи, забезпечуючи автоматизацію усіх етапів розробки на основі чисельних методів рішення математичних завдань, використання графічного інтерфейсу користувача і сучасних персональних комп'ютерів. Моделювання в системі Simulink є реальним способом дослідження фізичної системи через неможливість або складність спостереження явищ в реальних умовах.

Дискретні системи управління як пристрої, що коригують, включають персональні комп'ютери або цифрові регулювальники. Розробка і відладка програмного забезпечення для управління конкретною фізичною системою вимагає істотних витрат. Першим етапом при створенні програмного забезпечення для регулювальників являється інтерпретація математичної моделі об'єкту управління, яка доступна для реалізації на ЕОМ, і використання цієї моделі для моделювання системи управління. Після складання математичних моделей об'єкту, датчиків і керуючих пристроїв виконується проектування регулювальника на основі розроблених моделей у вигляді структурних схем.

Потім записуються рівняння цифрового регулювальника та пристрою, що коригує, включається в структурну схему системи, що розробляється. За результатами моделювання вносяться необхідні корективи в модель регулювальника. Цикл повторюється для адекватної оцінки результатів синтезу і випробувань альтернативних варіантів регулювальників. Розробка моделей дослідних зразків і наступна трансляція моделі контролера із структурної схеми в програмний код завершує етап синтезу регулювальника.

Розробка моделей дослідних зразків розглядається у взаємозв'язку з побудовою відповідної математичної моделі для фізичної системи або об'єкту, якій потрібно управляти належним чином. Математична модель може бути представлена як модель системи Simulink, модель, побудована в системі MATLAB або написана на мові С. Потім дискретний регулювальник розробляється в системі Simulink або за допомогою пакету прикладних програм Optimization Toolbox. Ця стадія розробки є спільним опрацюванням частин проекту, пов'язаним з урахуванням певних вимог і додатків, що визначають функціонування системи. При створенні моделей дослідних зразків технічні рішення конкретизуються і деталізуються.

Виконання етапу проектування, пов'язаного із створенням і випробуванням дослідного зразка, дозволяє отримати програмне забезпечення дискретного регулювальника, здатне функціонувати на персональних комп'ютерах. Програма завантажується в комп'ютер і перевіряється конкретний регулювальник, який управляє дискретною моделлю фізичної об'єкту. Це дозволяє оцінити результати програмної реалізації закону регулювання.

Процедура синтезу закону управління, оцінка результатів синтезу і моделювання системи виконуються в системі Simulink. Потім реалізується етап випробування фізичної системи. Слід зазначити, що операція створення спеціалізованого програмного забезпечення на мові високого рівня для регулювальника виконується одноразово. У - других цей підхід забезпечує можливість легко вводити зміни, доповнення і виправлення в проектні процедури ця програмування.

Математична модель керованого об'єкта.

Автогрейдер з автоматичним керуванням будемо розглядати як замкнуту систему автоматичного керування, що складається з керованого об'єкта автогрейдера з трансмісією і автоматичним керуючим пристроєм. Система автоматичного регулювання нахилу відвала автогрейдера представлена на рисунку 1.

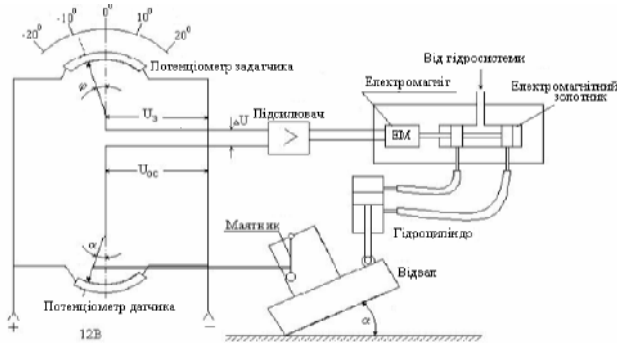


Рис. 1. Система автоматичного регулювання нахилу відвалу автогрейдера

Складемо математичну модель керованого об'єкта, яка у даному випадку складається з рівнянь руху автогрейдера, рівнянь процесів трансмісії, рівнянь виконавчого органа.

Копання ґрунту протікає при перемінній масі автогрейдера. Однак звичайно при теоретичних дослідженнях приймають масу автогрейдера постійною, рівною середньому значенню його приведеної маси на початку і кінці копання. З урахуванням цього допущення поступальний рух автогрейдера в загальному випадку можна описати наступними рівняннями:

$$P_T - W = m \cdot \frac{dv_D}{dt};$$

$$I_i \cdot \frac{d\omega_i}{dt} = M_{Di} - P_{Ti} \cdot r_{ki},$$

де P_T - рушійна сила автогрейдера, Н;
 W - повний опір руху автогрейдера при копанні ґрунту, Н;

- t - поточне значення часу, с;
- m - середня приведена маса автогрейдера, кг;
- I_i - момент інерції i -го рушія, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;
- ω_i - кутова швидкість i -го рушія, рад/с;
- M_{Di} - обертаючий момент i -го рушія, Н·м;
- P_{Ti} - рушійна сила i -го рушія, Н;
- r_{ki} - радіус кочення i -го рушія, м;
- v_D - дійсна швидкість руху автогрейдера, м/с.

Повний опір при копанні ґрунту визначимо, використовуючи формулу Петерса з урахуванням деяких допущень, що спрощують:

$$W = A + C \cdot h + M \cdot \int_0^t h \cdot v_D dt; \quad A = R \cdot f; \quad C = K \cdot B; \quad (2)$$

$$M = g \cdot N \cdot B \cdot \delta_p \left[N(y \cdot \mu + x) + h \right] + K \cdot B \cdot h \cdot \text{tg} \gamma \cdot \mu_2, \quad (3)$$

де h - глибина різання, м;

R - сумарна нормальна реакція ґрунту на колеса приймається незмінної в процесі копання, Н;
 f - коефіцієнт опору коченню по ґрунтових дорогах;

K - коефіцієнт опору ґрунту різанню;
 B - ширина різання відвала автогрейдера, м;
 g - прискорення вільного падіння, м/с²;
 N - висота ґрунту в відвалі, м;

δ_p - щільність ґрунту в природному заляганні, кг/м^3 ;

y - коефіцієнт об'єму призми волочіння ґрунту;
 μ - коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту;

x - експериментальний коефіцієнт, що враховує вплив сил тертя при русі ґрунту усередині відвала на опір наповненню;

ρ - кут внутрішнього тертя ґрунту, град;

γ - кут природного укосу (кут різання відвала), град;

μ_2 - коефіцієнт тертя ґрунту по сталі.

Сумарна рушійна сила автогрейдера дорівнює сумі рушійних сил його рушіїв:

$$P_T = \sum_{i=1}^n P_{Ti}. \quad (4)$$

Рушійна сила i -го рушія є функцією його коефіцієнта буксування:

$$P_{Ti} = f(\delta_i), \quad (5)$$

де δ_i - коефіцієнт буксування i -го рушія.

Рушії дорожньо-будівельних машин досягають максимальної продуктивності при реалізації кожним з них максимально припустимої стійкої сили тяги $P_{T\text{max}}$. У пневмоколісних рушіїв коефіцієнт буксування δ_{max} , при якому розвивається $P_{T\text{max}}$, орієнтовно дорівнює 20 – 30 %, у гусеничних – 10 %. У цьому випадку з одного боку, досягається висока сила тяги, а з іншого - не спостерігається істотного зносу шин.

Коефіцієнт буксування i -го рушія:

$$\delta_{Ti} = v_{Ti} - \frac{v_D}{v_{Ti}}, \quad (6)$$

де $v_{Ti} = \omega_i \cdot r_{ki}$ - теоретична швидкість руху автогрейдера.

Тоді система рівнянь, що описує рух автогрейдера при копанні:

$$m \cdot \frac{dv_D}{dt} = \sum_{i=1}^n P_{Ti} - A - C \cdot h - M \int_0^t h \cdot v_D dt; \quad (7)$$

$$\delta_i = 1 - \frac{v_D}{r_{ki} \cdot \omega_i}; \quad (8)$$

$$\frac{d\omega_i}{dt} = \frac{1}{I_i} (M_{Di} - r_{ki} \cdot P_{Ti}). \quad (9)$$

Ця система містить нелінійні рівняння. Для її спрощення прийемо наступні допущення:

- залежність $P_{Ti} = f(\delta_i)$ у динаміці апроксимується ламаною лінією;

- автогрейдер працює при значеннях тяги менших, ніж $P_{T\text{max}}$.

Прийняті допущення дозволяють записати:

$$v_D = v_{Ti} = r_{ki} \cdot \omega_i; \quad (10)$$

$$\frac{d\omega_i}{dt} = \dots = \frac{d\omega_i}{dt} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{r_{ki}} \cdot \frac{dv_{дi}}{dt}; \quad (11)$$

$$P_{Ti} = \dots = P_{Ti} = P_{Tn}. \quad (12)$$

Тоді рівняння (1) з урахуванням того, що для ідентичних рушіїв:

$$r_{ki} = \dots = r_{ki} = r_{kn} = r_k; \quad (13)$$

$$I_i = \dots = I_i = \dots = I_n \quad (14)$$

і почленного додавання, здобуває вид:

$$\frac{d\omega}{dt} \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n M_{ди} - r_k \sum_{i=1}^n P_{Ti}. \quad (15)$$

Спільне рішення рівнянь (10) і (11) приводить до вираження:

$$\sum_{i=1}^n P_{Ti} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{ди}}{r_{ki}} - \frac{dv_{дi}}{dt} \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{r_{ki}^2}. \quad (16)$$

З рівності кінетичних енергій колеса і тягового двигуна з урахуванням ККД редуктора:

$$I_i = I_{ди} \cdot i_{pi}^2 \cdot \eta_{pi}, \quad (17)$$

де $I_{ди}$ - момент інерції i -го двигуна;
 i_p , η_p - передаточне число і ККД редуктора.

Для одержання рівняння руху автогрейдера при копанні ґрунту вирішимо спільно рівняння (7), (16) і (17). У результаті одержимо:

$$m \frac{dv_{дi}}{dt} = P_{дi} - A - C \cdot h - M \int_0^t h \cdot v_{дi} dt, \quad (18)$$

де $P_{дi}$ - сумарне окружне зусилля, що розвивається мотор - колісьми;
 m - приведена маса порожнього автогрейдера, кг.

$$P_{дi} = \frac{1}{r_k} \sum_{i=1}^n M_{ди}; \quad (19)$$

$$m = m_0 + 0.5 \delta_p V_k m = m_0 + \sum_{i=1}^n I_{ди} \times \frac{i_{pi}^2}{r_{ki}^2} \cdot \eta_{pi}, \quad (20)$$

де m_0 - маса порожнього автогрейдера, кг;
 V_k - геометричний об'єм відвала автогрейдера, м³.

Процеси, що протікають у електричній трансмісії, можна описати за допомогою системи рівнянь:

$$U_{Гi} = f(I_{Гi}); \quad (21)$$

$$I_{Гi} = k_3 \cdot U_{Гi} - k_4 \cdot v_{дi}; \quad (22)$$

$$M_{ди} = k_5 \cdot I_{Гi}, \quad (23)$$

де k_3 , k_4 , k_5 - коефіцієнти пропорційності, обумовлені параметрами трансмісії.

Система рівнянь (21), (22), (23) досить точно описує електромеханічні процеси трансмісії за умови, що: зовнішня характеристика тягового генератора в статичі і динаміці однакова; характеристики тягових двигунів ідентичні; при копанні ґрунту потоки порушення тягових двигунів унаслідок їхнього насичення практично незмінні.

Для одержання математичної моделі автогрейдера з електричною трансмісією підставимо рівняння (23) у (18):

$$\frac{dv_{дi}}{dt} = Q \cdot I_{Гi} - S - F \cdot h - E \int_{i=1}^n h \cdot v_{дi} dt, \quad (24)$$

де Q , S , F , E - коефіцієнти пропорційності.

У результаті одержимо математичну модель автогрейдера у виді рівнянь (21), (22) і (24). Вони описують керований об'єкт без виконавчого органа.

Виконавчий орган являє собою робочий орган з електрогідрравлічним приводом, що включає два тягових електромагніти - один на заглиблення, інший на виглиблення робочого органа і схему силової гідравліки з насосом нерегульованої продуктивності. Це забезпечує сталість вертикальної відносної швидкості переміщення робочого органа ($v_h = \text{const}$).

Швидкості виглиблення і заглиблення робочого органа приймемо однаковими. Сигнал керуючої напруги U_y , що включає електромагніт гідроприводу виглиблення робочого органа, будемо вважати позитивним, а на заглиблення - негативним. Електрогідрравлічний привод робочого органа має постійний час запізнювання при включенні і відключенні робочого органа.

Постійні часу запізнювання електрогідрравлічних елементів робочого органа для стислості будемо називати запізнюванням електрогідрравліки при спрацьовуванні $\tau_{сп}$ і відпусканні $\tau_{отп}$. Тоді вертикальна швидкість переміщення робочого органа визначається вираженням:

$$v_h = f(\text{sign} U_y), \quad (25)$$

яке враховує запізнювання електрогідрравліки при спрацьовуванні та відпусканні і знак керуючого сигналу. Глибина копання в будь-який момент часу:

$$h = \int_{i=1}^n (v_3 - v_B) dt. \quad (26)$$

Система рівнянь (21 - 22), (24 - 26) являє собою математичну модель автогрейдера з виконавчим органом.

Висновки.

Таким чином, була розглянута автоматизація дорожньо-будівельних машин та проведено математичний аналіз роботи автогрейдера, на основі якого була складена його математична модель.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Землеройно-транспортные машины. Холодов А. М., Ничке В. В., Назаров Л. В. - Харьков: Выща школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1982. - 192 с.
2. <http://www.navgeocom.ru>
3. <http://www.trimble-productivity.com>
4. Автомобильные дороги: автоматизация производственных процессов в строительстве: Учебник для вузов / Л. Я. Цикерман, В. И. Марсов, Г. И. Асмолов и др.; - Под ред. Л. Я. Цикермана. - 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1986. - 238 с.
5. Проектирование машин для земляных работ / Под ред. А. М. Холодова. - Х.: Высшая школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986. - 272 с.
6. Востриков А.С., Французова Г.А. Теория автоматического регулирования.-М.: Высшая школа, 2004г - 365 с.