

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

**Самородов Борис Вадимович**

**УДК 629.114.026**

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА  
ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ  
БЕЗСТУПНЧАСТИХ ТРАНСМІСІЙ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ**

Спеціальність 01.05.02 – математичне моделювання  
та обчислювальні методи

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

ХАРКІВ - 2007

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **Годлевський Михайло Дмитрович**, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, завідувач кафедри автоматизованих систем управління.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Раскін Лев Григорович**, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, професор кафедри економічної кібернетики та маркетингового менеджменту;

заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор **Лебедєв Анатолій Тихонович**, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П.Василенка, завідувач кафедри тракторів і автомобілів.

Провідна установа: Харківський національний університет радіоелектроніки (м. Харків)

Захист відбудеться “21” червня 2007 р. о 14-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут”, за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий “16” травня 2007 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

І. П. Гамаюн

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми дисертації.** Нерозвиненість наукової методології, відсутність адекватних математичних моделей та результатів математичного моделювання безступінчастих гідрооб'ємно-механічних трансмісій (ГОМТ), природно призвело до того, що на сьогодні недостатньо розвинений системний підхід до розрахунково-теоретичного обґрунтування ГОМТ. В тракторобудуванні відсутнє використання регулярних методів оптимізації конструктивних параметрів трансмісій і, як наслідок, нерозвинений параметричний синтез таких систем, як двигун внутрішнього згорання (ДВЗ) – трансмісія – машинотракторний агрегат (МТА). Тому розробка та впровадження в серійне виробництво безступінчастих двопотокових трансмісій в Україні стримується. У той же час у розвинутих країнах світу такі безступінчасті ГОМТ вже понад 20 років широко використовуються на колісних тракторах, що сприяє підвищенню їх експлуатаційних характеристик, ергономічності, продуктивності та конкурентоспроможності на світовому ринку.

Сьогоднішні тенденції до інтегрального завантаження трактора як енерго-насиченого мобільного засобу для реалізації сучасних прогресивних сільськогосподарських технологій з урахуванням вартісних витрат на агрегування і паливно-мастильні матеріали, заробітної плати механізаторів, погектарної витрати палива і погектарних витрат в гривнях висувають важливу задачу в галузі математичного моделювання та обчислювальних методів – задачу створення адекватних математичних моделей та параметричного синтезу складних технічних систем типу ДВЗ – ГОМТ – МТА з метою підвищення їх техніко-економічних показників (ТЕП).

Недостатність розвитку системного підходу до розрахунково-теоретичного обґрунтування гідрооб'ємно-механічних трансмісій, недостатність розвитку ідеології та наукової методології математичного моделювання роботи ГОМТ та її окремих елементів у складі тракторів ще на етапі побудови кінематичної схеми трансмісії вносить суттєвий елемент складності. При виборі набору конструктивних параметрів трансмісії поки що не застосовуються регулярні методи оптимізації та адекватні критерії оптимальності. В результаті ГОМТ, що виготовлені по таких схемах, які не пройшли всебічної наукової експертизи, проявляють свої недоліки на дослідницьких стендах та полігонах.

Розвиток та вдосконалення розрахунково-теоретичних методик по аналізу та параметричному синтезу двопотокових безступінчастих ГОМТ і математичному моделюванню систем ДВЗ – ГОМТ – МТА у цілому дозволить ще на етапі проектування отримати комплексну оцінку даної складної технічної системи, оптимізувати конструктивні параметри трансмісії з метою підвищення її кінематичних, силових та енергетичних характеристик, а також підвищити техніко-економічні показники МТА у цілому, що підтверджує актуальність дисертаційної роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалася у рамках державних бюджетних тем: на кафедрі автоматизованих систем управління НТУ “ХПІ” за темами “Розробка інформаційних моделей для реалізації процедур структурного синтезу в комп'ютерно-інтегрованих системах” (№ДР 0103U001543), “Розробка інформаційно аналітичного забезпечення процедур

підтримки прийняття рішень в комп'ютерно-інтегрованих системах” (№ДР 0106U001518); та на кафедрі автомобіле- і тракторобудування НТУ “ХПІ” за темою “Розробка наукових основ синтезу трансмісій та адаптивних гальмових систем транспортних машин в агропромисловому комплексі України” (№ДР 0104U003359) та госпдоговору: “Структурний та параметричний синтез раціональної схеми ГОМТ для лісгосподарського трактору” (ДП “Завод ім. В.О. Малишева”, м. Харків), де здобувач брав участь як виконавець окремих розділів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертації є розвиток комплексу математичних моделей складних технічних систем типу ДВЗ – ГОМТ – МТА, що направлені на поліпшення техніко-економічних показників МТА завдяки параметричному синтезу безступінчастих ГОМТ.

Для досягнення цієї мети необхідно поставити і розв'язати такі задачі:

1. Постановка задачі параметричного синтезу ГОМТ як об'єкту математичного моделювання.
2. Формування критеріїв якості ГОМТ як елемента складної технічної системи ДВЗ – ГОМТ – МТА.
3. Розробка методики побудови матричних систем нелінійних за рахунок втрат, які описують роботу ГОМТ з урахуванням “особливих зон” в гідрооб'ємній передачі (ГОП) та її реалізація на прикладі альтернативних варіантів ГОМТ.
4. Розвиток методики математичного моделювання основних техніко-економічних показників МТА з безступінчастими ГОМТ на відносно стабільних тягових технологіях в умовах буксування колісного трактора.
5. Модернізація класичного методу оптимізації прямого пошуку Спендлі – Хекста –Хімсворта, адаптація та аналіз ефективності оптимізаційних процедур прямого пошуку в процесі параметричного синтезу безступінчастих двопотокових ГОМТ як елементів системи ДВЗ – ГОМТ – МТА.
6. Перевірка роботи та адекватності запропонованих математичних моделей, методик та інформаційної технології системи підтримки прийняття рішень (СППР), що забезпечує розв'язання задачі параметричного синтезу ГОМТ у складі МТА та визначення його техніко-економічних показників на прикладі альтернативних варіантів ГОМТ та тракторів із ступінчастими механічними трансмісіями.

*Об'єктом дослідження* є процес визначення оптимальних конструктивних параметрів ГОМТ, що забезпечують найвищі техніко-економічні показники МТА на тягових технологіях.

*Предметом дослідження* є математичні моделі відносно стабільних тягових процесів МТА з двопотоковими безступінчастими ГОМТ.

*Методи дослідження* базуються на методах класичного матричного аналізу для побудови математичних моделей ГОМТ; методах нелінійного програмування (оптимізаційні методи прямого пошуку) для проведення параметричного синтезу ГОМТ; методах математичного аналізу і теоретичної механіки для визначення основних техніко-економічних показників МТА; об'єктно-орієнтованому програмуванні для реалізації комплексу математичних моделей у вигляді СППР.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Наукова новизна роботи полягає в постановці та розв'язанні актуальної задачі розвитку комплексу математичних моделей складних технічних систем типу двигун – трансмісія – машинотракторний

агрегат, що направлені на раціональний вибір конструктивних параметрів безступінчастих ГОМТ, які забезпечують найвищі техніко-економічні показники МТА на тягових технологіях. В результаті розв'язання цієї проблеми були отримані нові наукові результати:

- 1) вперше поставлено та розв'язано задачу параметричного синтезу ГОМТ у предметній області тракторобудування, вирішення якої забезпечує оптимальний вектор конструктивних параметрів ГОМТ;
- 2) розвинуто методику математичного моделювання основних техніко-економічних показників МТА з безступінчастими ГОМТ, що дозволяє визначити найбільш раціональні режими роботи МТА в процесі конкретних тягових технологій;
- 3) формалізовані нові критерії якості безступінчастих трансмісій: кінематичний критерій функціонування та критерій середньоінтегрального коефіцієнта корисної дії (ККД), на основі яких реалізується параметричний синтез безступінчастих ГОМТ; введений комплексний критерій з урахування основних техніко-економічних показників роботи системи ДВЗ – ГОМТ – МТА;
- 4) отримали подальший розвиток методи оптимізації прямого пошуку, реалізація яких у процесі параметричного синтезу трансмісій (в області тракторобудування) дозволила визначити оптимальний набір конструктивних параметрів ГОМТ;
- 5) отримала подальший розвиток інформаційна технологія СППР для вирішення задачі параметричного синтезу ГОМТ та оцінювання основних техніко-економічних показників МТА.

**Практичне значення** результатів дисертаційної роботи полягає в можливості їх використання при дослідженні, проектуванні та експлуатації об'єктів нової техніки у галузі сільськогосподарського машинобудування. Одержані результати полягають у наступному: 1) розроблено комплексний підхід до оптимізації конструктивних параметрів безступінчастих ГОМТ, який може бути використаний для параметричного синтезу безступінчастих ГОМТ та дозволяє вибирати найбільш раціональні режими роботи МТА в процесі конкретних тягових технологій; 2) відпрацьовано системну технологію побудови повних матричних (нелінійних за рахунок втрат) систем безступінчастих трансмісій, що дозволяє швидко та адекватно описати роботу такого складного об'єкту, як безступінчаста трансмісія, за допомогою матричного підходу; 3) виділений клас методів оптимізації, які можуть бути ефективно використані в процесі параметричного синтезу безступінчастих ГОМТ, що звужує всю безліч оптимізаційних процедур до методів оптимізації прямого пошуку в межах даного класу задач; 4) удосконалено інформаційну технологію СППР, що дозволяє вирішувати складну задачу параметричного синтезу ГОМТ та оцінки основних техніко-економічних показників МТА.

Розроблені математичні моделі і методики впроваджені в розрахункову практику ВАТ “ХТЗ ім. С.Орджонікідзе” (м. Харків) та в навчальний процес кафедри автоматизованих систем управління НТУ “ХПІ” (м. Харків).

**Особистий внесок здобувача.** Всі основні результати, які виносяться до захисту, отримані особисто здобувачем, серед них: побудовано математичні матричні системи, що описують роботу ГОМТ (з урахуванням “особливих зон” в гідрооб'ємній передачі) як об'єктів математичного моделювання, та запропоновано методику їх розв'язання; проведено теоретичні дослідження роботи альтернативних

варіантів перспективних ГОМТ; формалізовано критерії якості ГОМТ, як об'єктів нової техніки та поставлена задача параметричного синтезу ГОМТ; розроблено модернізації оптимізаційного методу прямого пошуку Спендлі-Хекста-Хімсворта, що використовуються на класі трансмісійних задач; удосконалено методику математичного моделювання основних техніко-економічних показників МТА з ГОМТ в умовах буксування колісного трактора та введено комплексний критерій ефективності МТА; проведено параметричний синтез, визначено оптимальні конструктивні параметри об'єктів математичного моделювання по критерію максимуму середньоінтегрального ККД та визначено найбільш раціональні режими роботи МТА з ГОМТ з найвищими техніко-економічними показниками; розвинуто СППР для вирішення задачі підвищення основних техніко-економічних показників МТА завдяки параметричному синтезу безступінчастих ГОМТ.

**Апробація результатів дисертації.** Основні теоретичні положення дисертаційної роботи та отримані практичні результати доповідались та обговорювались на XII та XIII Міжнародних науково-практичних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” (Харків 2004, 2005); на V Міжнародному семінарі “Перспективи розвитку автомобіля та тракторобудування” (Харків, 2006); на наукових семінарах кафедри автоматизованих систем управління і кафедри системного аналізу і управління НТУ „ХПІ” (2003-2006).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 14 робіт, з них 12 статей у наукових фахових виданнях ВАК України.

**Структура та об'єм дисертації.** Дисертація складається із вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг друкованого тексту складає 209 сторінок, у тому числі 58 рисунків та 9 таблиць за текстом, 6 рисунків та 4 таблиці на 9 сторінках, список використаних джерел складається із 101 найменування на 10 сторінках, 6 додатків на 47 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету та задачі дослідження, сформульовані об'єкт і предмет дослідження, наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.

**У першому розділі** проведено огляд методів і математичних моделей у предметній області – використанні двопотокових безступінчастих ГОМТ у світовому та вітчизняному тракторобудуванні. На основі аналізу можна сформулювати наступні висновки:

1. Для безступінчастих ГОМТ, що працюють у складі МТА та для самих систем ДВЗ – ГОМТ – МТА, немає сформованих критеріїв якості, на основі яких можуть бути реалізовані задачі параметричного синтезу тракторних ГОМТ.
2. Відсутні розрахунково-теоретичні методики основних техніко-економічних показників МТА з безступінчастими ГОМТ.
3. У науковій літературі не розглядається ясна і послідовна технологія побудови повних матричних систем, що описують роботу ГОМТ, нелінійних за рахунок втрат в ГОП і механічній частині ГОМТ з урахуванням роботи в “особливих зонах” і за наявності реального ефекту буксування трактора на відносно стабільних тягових технологіях.

4. Не розглядається задача адаптації і аналізу ефективності оптимізаційних методів при параметричному синтезі тракторних ГОМТ.
5. Потребує розвитку інформаційна технологія СППР для вирішення задач параметричного синтезу ГОМТ у складі МТА.

Аналіз цих висновків дозволив формалізувати постановку центральної задачі дисертації – задачі параметричного синтезу ГОМТ в області тракторної енергетики, що полягає у виборі з усіх можливих реалізацій векторів конструктивних параметрів  $\Gamma_i^* = \{i_1^*, i_2^*, \dots, i_m^*, k_1^*, k_2^*, \dots, k_n^*\}$ , які обумовлюють функціональність трансмісії на  $L$  діапазонах швидкості, такого оптимального вектору  $\Gamma_s^*$  ( $s \in N$ ), який забезпечує максимальне значення середньоінтегральному ККД ГОМТ, тобто

$$\min_{\Gamma_i^*} \Phi_{\Delta V} = \min_{\Gamma_i^*} \left\{ \omega_{X1 \min}[\Gamma_i] \cdot r + \sum_{j=1}^{L-1} \left[ \left( 1 - \frac{V_{j \max}^{(+)}}{\omega_{j \max}[\Gamma_i] \cdot r} \right)^2 + \left( 1 - \frac{V_{j+1 \min}^{(+)}}{\omega_{j+1 \min}[\Gamma_i] \cdot r} \right)^2 \right] + \left( 1 - \frac{V_{L \max}^{(+)}}{\omega_{L \max}[\Gamma_i] \cdot r} \right)^2 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \right\}, \quad i = \overline{1, N}; \quad (1)$$

$$\max_{\Gamma_i^*} W_{\eta} = \max_{\Gamma_i^*} \left\{ \frac{1}{\bar{V}_2 - \bar{V}_1} \int_{\bar{V}_1}^{\bar{V}_2} \eta(\Gamma_i^*, \bar{V}, q, f) d\bar{V} \right\}, \quad s \in N, \quad (2)$$

де: вектор  $\Gamma_s^* = \{i_1^*, i_2^*, \dots, i_m^*, k_1^*, k_2^*, \dots, k_n^*\}$  оптимальних конструктивних параметрів має задовольняти набору  $\Lambda_1$  конструктивних обмежень: по передавальним відношенням  $m$  редукторів  $i_{p \min} \leq i_p \leq i_{p \max}$ ,  $p = \overline{1, m}$ ;  $n$  планетарних рядів  $k_{l \min} \leq k_l \leq k_{l \max}$ ,  $l = \overline{1, n}$ ; набору  $\Lambda_2$  експлуатаційних обмежень:  $\omega_{lcm} \leq \omega_{lcm \max}$ ,  $l = \overline{1, n}$ ;  $\omega_i \leq \omega_{i \max}$ ,  $i = \overline{1, z}$ ; урахування ефекту буксування  $\delta \leq \delta_{\max}$ . Тут  $\omega_{lcm}$ ,  $\omega_{lcm \max}$  – відповідно кутова швидкість сателітів  $l$ -го планетарного ряду і їх максимальна допустима швидкість;  $\omega_i, \omega_{i \max}$  – поточна і максимально допустима кутові швидкості кожного з  $z$  елементів трансмісії;  $\delta_{\max} \leq 15\%$  – максимально допустиме з точки зору екології і існуючих стандартів буксування;  $P_1, P_2, P_3, P_4$  – штрафні квадратичні функції, що відповідають обмеженням. У співвідношеннях (1) і (2)  $V_{j \max}$  ( $j = \overline{1, L}$ ) – максимальні швидкості трактора на кінцях швидкісних діапазонів, яким відповідають кутові швидкості ведучих коліс  $\omega_{Xj \max}$ ;  $V_{j \max}^{(+)}$  – можливі реалізації максимальних швидкостей на  $j$ -ом діапазоні;  $r$  – радіус ведучого колеса трактора;  $\eta(\Gamma, \bar{V}, q, f)$  – закон зміни ККД ГОМТ як функції власного вектору  $\Gamma_i(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n)$  варійованих параметрів, відносної швидкості  $\bar{V} = V/V_{\max}$  і робочого об'єму гідромашин  $q$ ;  $\bar{V}_1, \bar{V}_2$  – мінімальна і максимальна відносні швидкості, відповідні заданому інтервалу реальних експлуатаційних швидкостей  $V_1$  та  $V_2$ , які визначаються з урахуванням реального буксування  $\delta$ ;  $f$  – найбільш вірогідний загальний коефіцієнт опору руху

в інтервалі робочих швидкостей  $V \in V_1; V_2$ ,  $V = V \delta$  з урахуванням крюкового навантаження і опору перекочуванню трактора.

Поставлена задача параметричного синтезу ГОМТ потребує створення комплексу математичних моделей складних технічних систем типу ДВЗ – ГОМТ – МТА, а також адаптації методів оптимізації у даній предметній області, що направлено на поліпшення техніко-економічних показників МТА.

**Другий розділ** присвячений розвитку математичних моделей систем ДВЗ – ГОМТ – МТА.

Для опису втрат і ККД в об'ємних гідромашинах аксіально-поршневого типу прийнята відома математична модель К.І. Городецького. На основі цієї моделі виведена універсальна базисна матриця ГОП, що працюють у складі ГОМТ, яка включається в повні матричні системи ГОМТ для їх подальшого ітераційного вирішення. Повна матрична система ГОМТ (нелінійна за рахунок втрат) має вигляд

$$\begin{bmatrix} K_{11} & \Psi_{12} \\ \Psi_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi_W \\ \Phi_M \end{bmatrix}, \quad (L_{12} \neq 0, L_{21} \neq 0), \quad (3)$$

де:  $[K]$  – кінематична матриця ГОМТ;  $[F]$  – силова матриця ГОМТ;  $[W]$  – вектор кінематичних невідомих;  $[M]$  – вектор силових невідомих;  $[C_W]$ ,  $[C_M]$  – вільні члени.

Визначена послідовність вирішення повних матричних систем з урахуванням втрат, яка дозволяє найшвидшим чином добитися збіжності рішення до значень робочих параметрів, що задовольняють практичній точності. Спочатку враховуються домінуючі в ГОП втрати на сухе кулонове тертя, потім повні втрати в ГОП без урахування втрат в механіці і, на останньому етапі, враховуються повні втрати в ГОП і механічні втрати в усіх зубчастих зачепленнях трансмісії.

Побудована математична модель “особливих зон” ГОМТ і проаналізовані результати її реалізації. Причиною розвитку “особливої зони” шкідливого двонасосного режиму роботи ГОП, в якому потужності, що входять на регульований гідронасос (ГМ1) і нерегульований гідромотор (ГМ2), витрачаються на тепловиділення, є механічні втрати в ГМ1, що працює в зворотному потоці потужності, і зміна знаків моменту навантаження  $M_1$  і потужності  $N_1$  на валу ГМ1 з урахуванням вказаних втрат Звуження “особливої зони” супроводжується підвищенням як ККД ГОП, так і ККД ГОМТ. Чим вуже особливі зони, тим ефективніша робота ГОП і ГОМТ, тим вище енергетичні характеристики машини в цілому.

Розвинено методіку математичного моделювання основних техніко-економічних показників МТА з безступінчастими ГОМТ, яка дозволяє визначити найбільш раціональні режими роботи МТА в процесі тягових технологій.

Тяговий баланс колісного трактора, оснащеного ГОМТ, записується у вигляді

$$N_D - \Delta N_{ГОП} \cdot \mathbf{B}, e - \Delta N_{МЕХ} \cdot \mathbf{B}, e - \mathbf{1} - \delta(\mathbf{B}, e) = G \cdot f + P_{КР} \cdot \mathbf{B}, v \cdot \mathbf{B}, e + v \cdot \mathbf{B}, e \quad (4)$$

З урахування співвідношень рівняння тягового балансу МТА, що оснащений ГОМТ, можна записати у вигляді квадратичного функціонала  $I(\mathbf{B}, e)$ , мінімум якого дорівнює нулю



$$I_{\mathbf{B},e} = \min \left\{ 1 - \frac{\left[ G \cdot f + f_{\text{ПЛ}} \cdot G_{\text{ПЛ}} \cdot \mathbf{B} + \mathbf{B} \cdot h \cdot k \cdot \left( 1 + \frac{\varepsilon_0 \cdot v_{\mathbf{B},e}^2}{k} \right) \right] \cdot v_{\mathbf{B},e}}{N_{\text{Д}} - \Delta N_{\text{ГОП}}(\mathbf{B},e) - \Delta N_{\text{МЕХ}}(\mathbf{B},e)} \cdot \left[ 1 - \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \left( \frac{\beta}{\alpha - \frac{f_{\text{ПЛ}} \cdot G_{\text{ПЛ}} \cdot \mathbf{B} + \mathbf{B} \cdot h \cdot k \cdot \left( 1 + \frac{\varepsilon_0 \cdot v_{\mathbf{B},e}^2}{k} \right)}{G}} \right) \right] \right\}^2 \rightarrow 0 \quad (8)$$

Суть оптимізаційного алгоритму з використанням співвідношення (8) полягає в наступному: для заданої потужності двигуна  $N_{\text{Д}}$  і початкового значення ширини захоплення плуга  $\mathbf{B}$  із інтервалу  $\mathbf{B} \in [\mathbf{B}_{\text{min}}; \mathbf{B}_{\text{max}}]$  однозначно визначається параметр регулювання ГОП  $e$ . Отже, при заданих навантаженнях на елементах без-ступінчастої трансмісії і визначених для знайденого  $e$  кінематичних параметрах елементів трансмісії визначаються локальні об'ємні і механічні втрати в ГОП, що дають в сумі  $\Delta N_{\text{ГОП}}(\mathbf{B},e)$ , а також сумарні механічні втрати в ГОМТ  $\Delta N_{\text{МЕХ}}(\mathbf{B},e)$ . З урахуванням цих втрат визначається реальна швидкість  $v(\mathbf{B},e)$  МТА для поточного значення  $\mathbf{B}$  і визначеного при цьому  $e$ . Далі по формулі (7) визначається коефіцієнт буксування  $\delta(\mathbf{B},e)$  для заданого  $\mathbf{B}$  і визначеного  $e$ .

Ефективний крюковий ККД  $\eta_{\text{КР}}^{\text{ЭФ}}(\mathbf{B},e)$  МТА, що оснащений ГОМТ, продуктивність  $S(\mathbf{B},e)$  і погектарна витрата палива  $Q(\mathbf{B},e)$  мають вигляд:

Введений новий комплексний критерій ефективності МТА, що враховує основні техніко-економічні показники роботи системи ДВЗ – ГОМТ – МТА

$$D = \frac{S(\mathbf{B},e)}{C \cdot Q(\mathbf{B},e)} \cdot K_{\text{НАД}} = \frac{S(\mathbf{B},e)}{\left( \sum_{i=1}^m C_i \right) \cdot Q(\mathbf{B},e)} \cdot \prod_{j=1}^n \left( 1 - \frac{\Delta N_j}{N} \right), \quad (9)$$

де:  $K_{\text{НАД}}$  – коефіцієнт надійності МТА, що враховує питому частку відмов за гарантійний термін експлуатації по  $n$  основних системах трактора. До них відносяться відмови  $\Delta N_j$  ( $j = \overline{1, n}$ ): двигуна і його систем, відмови коробки зміни передач, відмови гідравлічної системи, відмови ходової системи і т.д.;  $C_i$ ,  $i = \overline{1, m}$  – вартості трактора, технологічного устаткування, витрати на технічне обслуговування МТА, витрати на позапланове усунення відмов устаткування МТА і т.д.;  $N$  – загальна кількість спостережуваних МТА.

Критерій (9) можна трансформувати до ще зручнішого вигляду, що відображає кількість оброблених гектарів на одиницю витрат

Аналогічно у дисертації побудована математична модель та методика визначення основних ТЕП МТА зі ступінчастою механічною трансмісією (СМТ). Для цього у формулах (4), (8) сумарні втрати в ГОП і в механічній частині ГОМТ  $\Delta N_{\text{ГОП}}(\mathbf{B},e)$  і  $\Delta N_{\text{МЕХ}}(\mathbf{B},e)$  замінені ККД СМТ, а у формулах (5)-(7) та формулах для основних ТЕП параметри залежать тільки від ширини захоплення плуга  $\mathbf{B}$ .

В останньому підрозділі представлений опис роботи, побудовані математичні моделі і визначені основні кінематичні, силові і енергетичні показники трьох

альтернативних варіантів ГОМТ (два з яких авторські) при початковому векторі конструктивних параметрів, що отриманий на основі конструкторського досвіду.

**У третьому розділі** представлені модифікації оптимізаційної процедури прямого пошуку на базі методу Спендлі-Хекста-Хімворта:

1. Модифікація – симплекс на “жалі”, в якій вдалий напрямок руху до мінімуму вибирається не тільки з використанням точки з максимальним значенням функції і центру тяжіння протилежній грані регулярного симплексу, але і з урахуванням решти  $n$  вершин. У вдалому напрямку проводиться одномірний пошук мінімуму, в точці якого будується новий регулярний симплекс. Розмір симплексу зменшується у випадку, коли має місце відображення точки з максимальним значенням функції. Процедура повторюється, поки симплекс, що зменшується, не “накриє” мінімум функції з точки зору заданої точності  $\varepsilon$ .

2. Модифікація – оптимізація по “компасу”, в якій навколо точки початкового наближення будується правильний гіперногогранник з  $(n+1)$  вершинами, вписаний у гіперсферу. Для пошуку вдалого напрямку руху до екстремуму використовуються  $(n+1)$  напрямки, які визначаються вершинами гіперногогранника і його центром тяжіння  $x^{(0)}$ . У вдалому напрямку проводиться одновірний пошук мінімуму, точка якого приймається як центр тяжіння нового гіперногогранника, вписаного у гіперсферу. У випадку, коли точка мінімуму  $x^*$  знаходиться всередині гіперсфери, пропонується зменшити її радіус. Процедура повторюється поки, гіперногогранник, що зменшується, не “накриє” мінімум функції з точки зору заданої точності  $\varepsilon$ .

3. Модифікація – “гіперногогранник”, суть якої полягає в наступному: навколо точки  $x^{(0)}$  нульового наближення як у центрі тяжіння в  $E^n$  будується правильний гіперногогранник, що вписаний в гіперсферу завдяки гомотетії регулярного симплексу з  $(n+1)$  вершинами і для пошуку найбільш вдалого напрямку руху до мінімуму використовуються  $2(n+1)$  рівноправних напрямків, що визначаються  $(n+1)$  вершинами гіперногогранника,  $(n+1)$  геометричними центрами його граней і його центром тяжіння  $x^{(0)}$ . У вдалому напрямку проводиться одномірний пошук мінімуму, точка  $x^{(C^*)}$  якого приймається як центр тяжіння нового гіперногогранника, що вписаний в гіперсферу зменшеного радіусу. Процедура повторюється, поки гіперногогранник, що зменшується, не “накриє” мінімум функції з точки зору заданої точності  $\varepsilon$  (17).

Істотна відмінність запропонованих модифікацій оптимізаційних процедур від методів Спендлі-Хекста-Хімворта і Нелдера-Міда полягає у відсутності розвитку сітки симплексів (гіперногогранників), а також у збільшенні числа можливих напрямків руху до мінімуму відразу з точки початкового наближення, що дозволяє краще адаптуватися до топології конкретної функції.

На прикладі ряду відомих тестових функцій показано, що розроблена модифікація “гіперногогранник” достатньо ефективна і стабільна, у зв'язку з чим і пропонується як альтернативний інструментарій для задач параметричного трансмісійного синтезу.

**Четвертий розділ** присвячений використанню запропонованих математичних моделей, методик і оптимізаційних процедур з метою підвищення техніко-економічних показників машинотракторних агрегатів.

Отримала розвиток інформаційна технологія СППР для вирішення задач параметричного синтезу ГОМТ у складі МТА. Проведені чисельні експерименти – перевірена працездатність і адекватність запропонованих математичних моделей, методик, алгоритмів і інформаційної технології СППР на прикладі альтернативних варіантів ГОМТ.

Обґрунтований вибір найбільш ефективних оптимізаційних процедур і методика параметричного синтезу ГОМТ в цілому. Як інструментарій для проведення параметричного синтезу ГОМТ рекомендуються наступні методи прямого пошуку: метод Хука-Дживса, метод Розенброка, метод Пауелла і модифікація оптимізаційної процедури прямого пошуку методу Спендлі-Хекста-Хімсворта – “гіпермногогранник”.

Зроблений висновок про те, що модифікація “гіпермногогранник” на даному класі трансмісійних задач дає „хорошу” збіжність. Тому параметричний синтез альтернативних ГОМТ проводився з використанням даної модифікації.

В результаті проведення параметричного синтезу трьох альтернативних варіантів ГОМТ №1, №2 і №3 після визначення оптимальних векторів  $\Gamma_s^*$  конструктивних параметрів були отримані нові кінематичні, силові і енергетичні показники трансмісій, які зведені в табл. 1.

Таблиця 1

Зведена таблиця характеристик досліджуваних ГОМТ для  $\Gamma^0$  і  $\Gamma^*$ 

№ ГОМТ	$V_{1MAX}$ , км/г		$V_{2MAX}$ , км/г		$\omega_{MAX}$ , рад/с		$W_{\eta}$ на 6..8 км/г без букс.		$W_{\eta}$ на 6..8 км/г з букс.		$\Delta p_{MAX}$ , МПа		$N_{DMAX}$ на 8 км/г з букс., кВт	
	$\Gamma^0$	$\Gamma_s^*$	$\Gamma^0$	$\Gamma_s^*$	$\Gamma^0$	$\Gamma_s^*$	$\Gamma^0$	$\Gamma_s^*$	$\Gamma^0$	$\Gamma_s^*$	$\Gamma^0$	$\Gamma_s^*$	$\Gamma^0$	$\Gamma_s^*$
1	8	<b>10</b>	30	<b>30</b>	775	<b>230</b>	0.837	<b>0.828</b>	–	<b>0.835</b>	16.5	<b>19.7</b>	–	<b>147</b>
2	8	<b>11</b>	25	<b>35</b>	282	<b>325</b>	0.801	<b>0.831</b>	–	<b>0.833</b>	21.7	<b>18.1</b>	–	<b>147</b>
3	12.6	<b>13</b>	38	<b>40</b>	440	<b>440</b>	0.679	<b>0.742</b>	0.680	<b>0.741</b>	30.8	<b>15.2</b>	175	<b>163</b>

З табл.1 виходить, що досягнута мета параметричного синтезу ГОМТ по забезпеченню функціональності ГОМТ і підвищенню її основних показників.

Вперше виявлені траєкторії робочих точок і взаємозалежності основних показників МТА з ГОМТ, що дозволяє при оптимальних векторах  $\Gamma_s^*$  конструктивних параметрів трансмісій визначити раціональні режими роботи на тягових технологіях і найвищі основні техніко-економічні показники з урахуванням буксування колісного трактора.

На основі математичних моделей і методик, що розроблені в розділах 2 і 3 для МТА з ГОМТ №2, де максимальне значення кривокового ККД  $\eta_{KP\_MAX} = 0.400$ , вперше в тривимірній системі координат визначені наступні взаємозалежності основних показників МТА. Очевидно, що розроблені математичні моделі і методики привели тут до кількісних результатів і чисельних взаємозв'язків між основними техніко-економічними показниками МТА, які раніше розумілися фахівцями у галузі проектування і експлуатації в тракторній енергетиці виключно на якісному рівні. Адекватність математичної моделі і методики визначення основних техніко-економічних показників перевірена (табл.2) на прикладі ступінчастих механічних

трансмисій тракторів Т-150К-09, ХТЗ-17021 і МТЗ-1221 на підставі експериментальних даних полігонних випробувань.

Результати експерименту досить близько співпадають з розрахунковими – максимальна помилка в цьому випадку не перевершує 8.8% для погектарної витрати палива трактором Т-150-09 з плугом ПЛН-5-35, що оснащений двигуном ЯМЗ-236Д-3. Для інших показників помилки не перевершують 5.4%. Для трактора МТЗ-1221 велика розбіжність експериментальних даних з розрахунковими пояснюється використанням емпіричних коефіцієнтів  $\alpha = 0.7$ ,  $\beta = 0.708$ ,  $\lambda = 7.4$ , що прийняті для тракторів ХТЗ. Коефіцієнти  $\alpha = 0.64$ ,  $\beta = 0.64$ ,  $\lambda = 6.82$ , що рекомендовані НАТІ (м. Москва) для визначення буксування конкретно для тракторів МТЗ, дають помилки, що не перевершують 4.5%, що говорить про важливість правильного опису взаємодії колісного рушія з ґрунтом, тобто процесу буксування.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розв’язана науково-практична задача розвитку комплексу математичних моделей складних технічних систем типу ДВЗ – ГОМТ – МТА, що направлені на поліпшення техніко-економічних показників МТА завдяки параметричному синтезу безступінчастих ГОМТ. Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки й навести кінцеві результати роботи:

1. Поставлено та розв’язано задачу параметричного синтезу ГОМТ у предметній галузі тракторобудування, рішення якої забезпечує оптимальний вектор конструктивних параметрів ГОМТ для подальшого їх впровадження в робочі креслення і реальну конструкцію.

2. Удосконалено методику матричного моделювання безступінчастих ГОМТ, що полягає у більш адекватному урахуванні втрат в елементах трансмісії та формулюванні чіткої послідовності ітеративного розв’язання їх повних матричних систем, зокрема можливості моделювання „особливих зон” ГОМТ. Саме адекватне моделювання втрат в ГОМТ дозволило також розвинути методику математичного моделювання техніко-економічних показників МТА з безступінчастими ГОМТ в процесі оранки з урахуванням буксування колісного трактора.

3. Формалізовано критерії якості: кінематичний критерій функціонування ГОМТ та критерій середньоінтегрального ККД ГОМТ, на основі яких реалізується параметричний синтез безступінчастих ГОМТ; введений комплексний критерій з урахування основних техніко-економічних показників роботи системи ДВЗ – ГОМТ – МТА.

4. Отримали подальший розвиток методи оптимізації прямого пошуку, реалізація яких в процесі параметричного синтезу трансмісій дозволила раціонально вибрати весь комплекс конструктивних параметрів ГОМТ у складі МТА. Обґрунтовано вибір найбільш ефективних оптимізаційних процедур у класі трансмісійних задач – рекомендовані методи Пауелла, Хука-Дживса, Розенброка та модифікація “гіпермноггранник”. Відмінність запропонованої модифікації оптимізаційної процедури полягає у відсутності розвитку сітки регулярних гіпермноггранників та в збільшенні числа можливих напрямків руху до мінімуму, що дозволяє краще адаптуватися до топології конкретної функції.

5. Проведено параметричний синтез альтернативних варіантів ГОМТ та визначено основні техніко-економічні показники МТА з синтезованими ГОМТ. Виявлено траєкторії робочих точок та взаємозалежності основних показників МТА з ГОМТ (або з СМТ), що дозволяє при знайдених оптимальних векторах конструктивних параметрів трансмісії визначити раціональні режими роботи МТА на тягових технологіях і найвищі основні техніко-економічні показники з урахуванням буксування.

6. Показано, що математична модель і методика визначення основних техніко-економічних показників МТА достатньо адекватна. Адекватність перевірена на прикладі ступінчастих механічних трансмісій тракторів Т-150К-09, ХТЗ-17021 та МТЗ-1221 на основі експериментальних даних полігонних випробувань. Відхил експерименту від розрахунку не перевищує по більшості параметрів помилки 5.6%, та тільки в одному випадку для погектарної витрати палива трактором Т-150-09 із плугом ПЛН-5-35, що оснащений двигуном ЯМЗ-236Д-3, помилка дорівнює 8.8%.

7. Удосконалено інформаційну технологію СППР для розв'язання задачі параметричного синтезу ГОМТ, оцінки основних техніко-економічних показників МТА в процесі конкретних тягових технологій і, як важливий результат, – для розв'язання задачі раціонального агрегування трактора.

8. Розроблені математичні моделі і методики впровадженні в розрахункову практику ВАТ „ХТЗ ім. С.Орджонікідзе” та в навчальному процесі кафедри автоматизованих систем управління НТУ „ХП”.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Самородов В.Б., Гужва В.А., Самородов Б.В. Метод симплекса на “жале” как модификация оптимизационных методов прямого поиска Спендли-Хекста-Химсворта и Нелдера-Мида // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХП”. – 2002. – № 13. – С. 79-86.

Здобувачем розроблена модифікація оптимізаційної процедури прямого пошуку, проведений аналіз пошуку екстремуму тестових функцій.

2. Самородов В.Б., Самородов Б.В. Эффект особых зон при работе гидрообъемно-механических трансмиссий и методология их анализа // Автомобильный транспорт. – ХДАТУ. – 2002. – вып.10. – С.36-40.

Здобувачем розроблена математична модель та методика розрахунку та аналізу “особливих зон”, які виникають при роботі ГОМТ.

3. Самородов В.Б., Самородов Б.В. Системный анализ особой зоны при работе гидрообъемно-механической трансмиссии трактора ЛТ-60 на рабочем диапазоне // Тракторная энергетика в растениеводстве. – Харків: ХДТУСГ. – 2002. – вып.5. – С. 201-217.

Здобувачем побудовані математичні матричні системи, що описують роботу ГОМТ з урахуванням “особливих зон” в гідрооб'ємній передачі, як об'єктів математичного моделювання, та запропонована методика їх розв'язання.

4. Самородов В.Б., Рогов А.В., Бурлыга М.Б., Самородов Б.В. Критический обзор работ в области тракторных гидрообъемно-механических трансмиссий //

Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2003. – №4. – С.3-19.

Здобувачем проведено аналіз наукових праць останніх років в галузі розробки, використання і математичного моделювання гідрооб’ємно-механичних трансмісій.

5. Самородов В.Б., Самородов Б.В. Матричный подход и результаты математического моделирования гидрообъемно-механической трансмиссии лесотехнического трактора ЛТ-60 // Механіка та машинобудування. – Харків: ХДПУ. – 2003. – №1, том. 1. – С.286-293.

Здобувачем побудовані математичні матричні системи, що описують роботу ГОМТ, як об’єктів математичного моделювання, та запропонована методика їх розв’язання.

6. Самородов В.Б., Самородов Б.В. Постановка задачи параметрического синтеза гидрообъемно-механических трансмиссий для транспортных средств, выполняющих относительно стабильные технологические процессы // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: ХДПУ. – 2003. – №.1.– С.32-36.

Здобувачем введений критерій функціонування ГОМТ та критерій середньоінтегрального ККД ГОМТ, поставлена задача параметричного синтезу ГОМТ колісних тракторів, як об’єктів нової техніки.

7. Годлевский М.Д., Самородов Б.В. Модификация оптимизационного симплекс-метода Спендли-Хекста-Химсворта – метод оптимизации по “компасу” // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2005. – № 18. – С. 43-52.

Здобувачем розроблена ефективна модифікація оптимізаційної процедури прямого пошуку, проведений аналіз пошуку екстремуму тестових функцій.

8. Самородов Б.В. Оптимизационный алгоритм по определению основных технико-экономических показателей трактора с гидрообъемно-механической трансмиссией // Збірник наукових праць Національної гірничої академії. –Дніпропетровськ: НГУ. – 2005. – №21. – С. 169-174.

9. Самородов Б.В. Анализ и выбор наиболее эффективных и адаптивных оптимизационных методов прямого поиска при синтезе гидрообъемно-механических трансмиссий // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2006. – №6. – С.8-13.

10. Годлевский М.Д., Самородов Б.В. Развитие методики по определению основных технико-экономических показателей колесного трактора с бесступенчатой трансмиссией // Східно-європейський журнал передових технологій. – Харків. – 2006. – №6. – С. 27-30.

Здобувачем удосконалена методика математичного моделювання основних техніко-економічних показників МТА з ГОМТ в умовах буксування колісного трактора та введений комплексний критерій ефективності МТА.

11. Самородов Б.В. Результаты исследования эффективности и выбор адаптивных оптимизационных методов прямого поиска при синтезе гидрообъемно-механических трансмиссий // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2006. – №39. – С.46-53.

12. Самородов Б.В. Развитие метода оптимизации Спендли-Хекста-Химсворта путем вписания регулярных симплексов в гиперсферу и удвоения направлений

прямого поиска // Східно-європейський журнал передових технологій. – Харків.– 2007. – №1. – С. 106-112.

13. Самородов Б.В. Анализ результатов параметрического синтеза гидрообъемно-механических трансмиссий с применением методов оптимизации прямого поиска // Труды XII Междунар. научн.-практ. конф. “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004. – С. 39.

14. Самородов Б.В., Шуба С.А. Математическое моделирование двухпоточной тракторной гидрообъемно-механической трансмиссии и результаты исследования ее характеристик // Труды XII Междунар. научн.-практ. конф. “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004. – С. 216.

Здобувачем запропонована оригінальна двопотокова тракторна ГОМТ. На базі матричного підходу розроблена математична модель і отримані результати по аналізі кінематичних, силових та енергетичних характеристик ГОМТ.

## АНОТАЦІЇ

**Самородов Б.В. Математичне моделювання та параметричний синтез безступінчастих трансмісій колісних тракторів. – Рукопис.**

Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2007.

Дисертаційна робота присвячена розвитку комплексу математичних моделей складних технічних систем типу двигун внутрішнього згорання – гидрооб’ємно-механічна трансмісія – машинотракторний агрегат (ДВЗ – ГОМТ – МТА), що направлені на поліпшення техніко-економічних показників МТА шляхом параметричного синтезу безступінчастих ГОМТ.

У роботі поставлена та роз’язана задача параметричного синтезу ГОМТ у предметній області тракторобудування, рішення якої забезпечує оптимальний вектор конструктивних параметрів ГОМТ. Розвинута методика математичного моделювання основних техніко-економічних показників МТА з безступінчатими ГОМТ, яка дозволяє визначити найбільш раціональні режими роботи МТА в процесі конкретних тягових технологій. Формалізовані критерії якості: кінематичний критерій функціональності ГОМТ і критерій середньоінтегрального ККД ГОМТ, на основі яких реалізується параметричний синтез безступінчастих ГОМТ. Введений комплексний критерій ефективності МТА, що враховує продуктивність, погектарну витрату палива, питому частку відмов за гарантійний термін експлуатації по основних системах трактора, вартість МТА і витрати на його експлуатацію і ремонт. Отримали подальший розвиток методи оптимізації прямого пошуку, реалізація яких в процесі параметричного синтезу трансмісій (в області тракторобудування) дозволила раціонально вибрати весь комплекс конструктивних параметрів ГОМТ у складі МТА.

Отримала подальший розвиток інформаційна технологія системи підтримки прийняття рішень для розв'язання задачі параметричного синтезу ГОМТ і оцінки основних техніко-економічних показників МТА.

**Ключові слова:** математичне моделювання безступінчастих трансмісій; матричні системи, що описують роботу безступінчастих трансмісій; методи оптимізації; критерії якості; параметричний синтез безступінчастих трансмісій; машинотракторний агрегат; математичне моделювання техніко-економічних показників; система підтримки прийняття рішень.

**Самородов Б.В. Математическое моделирование и параметрический синтез бесступенчатых трансмиссий колесных тракторов. – Рукопись.**

Диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.02 – математическое моделирование и вычислительные методы. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2007.

Диссертационная работа посвящена развитию комплекса математических моделей сложных технических систем типа двигатель внутреннего сгорания – гидрообъемно-механическая трансмиссия – машинотракторный агрегат (ДВС – ГОМТ – МТА), направленных на улучшение технико-экономических показателей МТА путем параметрического синтеза бесступенчатых ГОМТ.

Отсутствие современного математического инструментария, расчетно-теоретических методик по анализу и параметрическому синтезу двухпоточных бесступенчатых ГОМТ, отсутствие методик по определению основных технико-экономических показателей МТА с ГОМТ сдерживает разработку, внедрение в опытное и далее в серийное производство наиболее прогрессивных двухпоточных бесступенчатых трансмиссий в тракторной энергетике Украины – потенциально крупнейшей тракторопроизводящей стране мира. Решение этих задач позволяет еще на этапе проектирования оптимизировать множество конструктивных параметров трансмиссии с целью повышения основных технико-экономических показателей МТА, что и обуславливает актуальность настоящей диссертационной работы.

В работе поставлена и решена задача параметрического синтеза ГОМТ в предметной области тракторостроения, решение которой обеспечивает оптимальный вектор конструктивных параметров ГОМТ. Развита методика математического моделирования основных технико-экономических показателей МТА с бесступенчатыми ГОМТ, которая позволяет определить наиболее рациональные режимы работы МТА в процессе конкретных тяговых технологий. Формализованы критерии качества: кинематический критерий функциональности ГОМТ и критерий среднеинтегрального КПД ГОМТ, на основе которых реализуется параметрический синтез бесступенчатых ГОМТ. Введен комплексный критерий эффективности МТА, учитывающий производительность, погектарный расход топлива, удельную долю отказов за гарантийный срок эксплуатации по основным системам трактора, стоимость МТА и затраты на его эксплуатацию и ремонт.

Получили дальнейшее развитие методы оптимизации прямого поиска, реализация которых в процессе параметрического синтеза трансмиссий (в области



тракторостроения) позволила рационально выбрать весь комплекс конструктивных параметров ГОМТ в составе МТА. Выявлены траектории рабочих точек и взаимозависимости основных показателей МТА с ГОМТ, что позволило при оптимальных векторах конструктивных параметров трансмиссий теоретически обосновать и определить рациональные режимы работы на тяговых технологиях и наивысшие основные технико-экономические показатели с учетом буксования.

Получила дальнейшее развитие информационная технология системы поддержки принятия решений для решения задачи параметрического синтеза ГОМТ и оценки основных технико-экономических показателей МТА. Проведены численные и натурные эксперименты, подтвердившие работоспособность и адекватность разработанных математических моделей, методик, алгоритмов и системы поддержки принятия решений в целом.

Разработанные математические модели и методики внедрены в расчетную практику ОАО “ХТЗ им. С. Орджоникидзе” и в учебный процесс кафедры автоматизированных систем управления НТУ “ХПИ”.

**Ключевые слова:** математическое моделирование бесступенчатых трансмиссий; матричные системы, описывающие работу бесступенчатых трансмиссий; методы оптимизации; критерии качества; параметрический синтез бесступенчатых трансмиссий; машинотракторный агрегат; математическое моделирование технико-экономических показателей; система поддержки принятия решений.

**Samorodov B. Mathematical modelling and parametrical synthesis of the stepless transmissions of wheel tractors. – Manuscript.**

Thesis for a candidate’s degree by speciality 01.05.02 – mathematical modelling and computational approaches. National Technical University “Kharkiv Politechnical Institute”, Kharkiv, 2007.

Thesis for a candidate’s degree is devoted to the development of complex of mathematical models of the difficult technical systems of a type internal-combustion engine – hydrovolumetric-mechanical transmission – tractor with equipment (ICE–HVMT–TE), which are directed for improvement of the technical and economic indices of TE by the parametrical synthesis of the HVMT.

In work there is put and solved the parametrical synthesis problem of the HVMT in the problem domain of tractor-building, the solution of which provides the optimal vector of constructive parameters of the HVMT. The principles of mathematical modelling of the main technical and economic indices of TE with stepless HVMT are advanced, which allow to determine the most rational operating mode of the TE during specific coupler technologies. The quality criterion functions: kinematics criterion function of functionality of the HVMT and middling-integral efficiency criterion function are formalize, on the basis of which the parametrical synthesis of the stepless HVMT is realized. The combined criterion function of effectiveness of the TE is introduced, which is taken into account of productivity, fuel consumption per hectare, specific part of the rejection during the warranty period by the basic systems of the tractor, cost of TE and the costs of its exploitation and repair. The optimizations methods of direct search have got further development, realizing of which in the parametrical synthesis of transmissions (in the

domain of tractor-building) allows to get the whole of set of constructive parameters of the HVMT at the TE.

The information technology of expert support system for the parametrical synthesis of HVMT problem and estimation of basic technical and economic indices of the TE, have got further development.

**Key words:** mathematical modelling of the stepless transmissions; matrix systems, describing work of stepless transmissions; optimization methods; quality criterion functions; parametrical synthesis of the stepless transmissions; tractor with equipment; mathematical modelling of the technical and economic indices; expert support system.