

УДК 631.3-182.7

АНАЛІЗ КОМБІНОВАНИХ МТА ЗА РІВНЯМИ СКЛАДНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ

А. Лебедєв, д-р техн. наук, проф.,
*Харківський національний технічний університет сільського
господарства ім. Л.Василенка,*
І. Лебедєва,
Харківська філія УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого

У статті розглянуті принципи системного проектування комбінованих МТА.

Ключові слова: *комбіновані МТА, складана механічна система, проектування.*

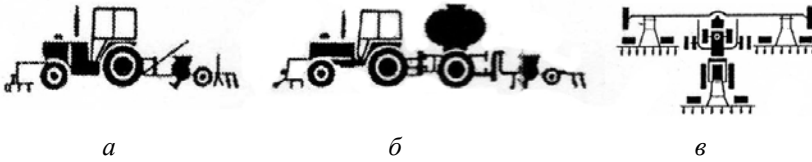
Вступ. Підвищений інтерес виробників і користувачів сільськогосподарської техніки до комбінованих машинно-тракторних агрегатів (МТА) пояснюється понад усе можливістю виконання ними за один прохід по полю декількох технологічних операцій, внаслідок чого знижується витрати палива на одиницю виробленої продукції і зменшується ущільнення ґрунту ходовими системами тракторів та сільгоспмашин. При мінімальній складності даних агрегатів, що передбачає використання готових базових виробів, агрегатів та інших конструкційних елементів, забезпечується зниження витрат на їх виготовлення та експлуатацію.

Аналіз основних публікацій. При аналізі і синтезі комбінованих МТА зазвичай розглядається як складна механічна система (МС), складальними елементами якої є не тільки деталі, але й складальні одиниці та агрегати [1].

Наприклад [2], жатково-луцильний комбінований МТА може розглядатись як МС, що складається з чотирьох елементів: трактора, жатки, луцильника, системи керування. В свою чергу, кожен з перелічених елементів являє собою МС, якщо його розглядати окремо; а трактор є базовою машиною, що складається із сукупності об'єктів (двигуна, шасі і т.д.), що також окремо являють собою механічні системи.

В комбінованих МТА (рис. 1) [3] способи агрегаткування трактора з сільгоспмашинами розділяються на три групи [2]:

- серійні одноопераційні машини (знаряддя, послідовно з'єднані поміж собою за допомогою зчіпки);
- встановлення на їх рамі моноблочної машини постійних чи змінних робочих органів;
- одноопераційні машини/знаряддя, що навішуються на передній та задній механізми начіпки трактора.



а, б – по догляду за рослинами при використанні культиваторів на передній підвісній системі, культиваторів що живлять рослини, підживлювачів, сівалок і ємностей для технологічних матеріалів на підживлювач рослин;

в – посівний при використанні трьох начіпних сівалок.

Рисунок 1– Схема комбінованих МТА на базі трактора і мобільного енергетичного засобу (МЕЗ)

Конструкційно комбіновані МТА відносяться до складних МС, для яких характерні перехресні зв'язки між елементами [1]. Під час оцінки складності подібних МС у суміжних областях техніки успішно використовуються методи операційних графів під час їхньої збірки[4]. При цьому вартість створення комбінованих МТА можна значно знизити, застосовуючи при проектуванні (з допомогою стандартизації та уніфікації) модульний принцип конструювання [5], створюючи конструкційні елементи (КЕ) МТА, як технічні системи (Тс) у вигляді блоків, модулів, у тому числі енергетичних (ЕМ) і технологічних (ТМ) різного рівня складності.

Мета дослідження – обґрунтувати методології системного підходу проектування комбінованих МТА як складних технологічних систем.

Результати роботи. У відповідності з модульним принципом створення техніки [5] проектування комбінованих МТА зводиться до процесу формування (синтезу) їх конструкцій в основному з остаточно зібраних як серійних, так і заново розроблених агрегатів, складальних одиниць, деталей. При цьому під час оцінювання складності даних агрегатів по аналогії з суміжними галузями техніки [6] спочатку оцінюється їх уніфікація, що передбачає приведення складальних елементів МТА до однакового на основі встановлення раціонального числа їх різновидів. При уніфікації тракторів, як базових елементів комбінованих МТА, визначаються в основному коефіцієнти застосовності $K_{np} = (n - n_0)/N \cdot 100\%$ та повторюваності $K_n = (N - n)/N \cdot 100\%$, де n – загальна кількість типорозмірів деталей у трактору, n_0 – кількість типорозмірів оригінальних деталей, N – загальна кількість деталей (у штуках). Коефіцієнт K_{np} характеризує рівень загальної конструктивної наступності складальних частин у тракторі, що розроблюється, а K_n – насиченість трактору повторюваними складальними частинами (табл. 1).

Аналіз таблиці показує, що конструкційна прийнятність колісних тракторів ХТЗ-16131, ХТЗ-17121, ХТЗ-17221, що характеризує складність їх

розроблення і виготовлення – вище 90%, а насиченість складальних частин, що повторюються, – вище 50%. Ці показники задовольняють нормативні вимоги на показники уніфікації тракторів, що розроблюються (ГОСТ 23.2.430-81. Показатели унификации тракторов).

Таблиця 1 – Ступінь уніфікації колісних тракторів виробництва ХТЗ класу 30 кН

Трактори	Коефіцієнти, %		Кількість проаналізованих деталей(штук)	Базова модель
	K_{np}	K_n		
ХТЗ-16131	95,3	54,7	n=2408, n ₀ =112, N=5316	ХТЗ-120
ХТЗ-17121	95,4	56,3	n=3003, n ₀ =137, N=6881	T-151K-08
ХТЗ-17221	95,9	55,8	n=3009, n ₀ =123, N=6810	T-151K-08

У зв'язку з тим, що комбінований МТА являє собою сукупність елементів, що знаходяться у певному взаємозв'язку і забезпечують його функціонування, розглядається конструкція даного МТА, що складається із структурних складових різної складності, для яких необхідна класифікаційна система рівнів складності.

Розглядаючи комбінований МТА як механічну систему, виходимо з того, що його кожний елемент (трактор, сільгоспмашина) складається із деякої кількості агрегатів (A_1M, A_2M, \dots, A_jM), кожний з яких включає в себе деяку кількість складальних одиниць ($C_1A_jM, C_2A_jM, \dots, C_kA_kM$), які в свою чергу – деяку кількість деталей ($D_1C_kA_jM, D_2C_kA_jM, \dots, D_jC_kA_jM$) (рис.2).

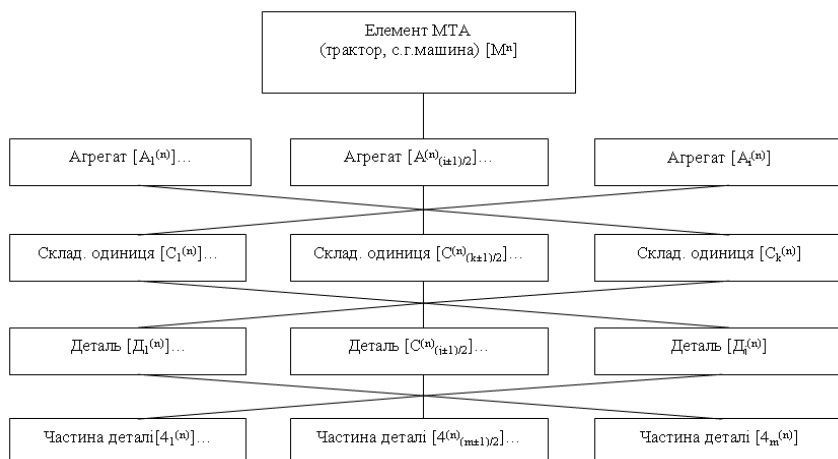


Рисунок 2 – Структурна схема конструкції комбінованого МТА

У відповідності з даною схемою одна і та ж сама деталь входить в різні складальні одиниці, одна і та ж сама складальна одиниця – в різні агрегати, що відображає принцип уніфікації й може розглядатися як повторюваність одних і тих самих елементів, складаючи МТА. Навіть окремі частини складних деталей (наприклад, $4_1D_jC_kA_iM$, $4_2D_jC_kA_iM$, ... , $4_mD_jC_kA_iM$), що враховують характеристику форми, параметри точності і шорсткості, можуть входити до складу різних деталей. Тому кожна із складальних частин МТА, як T_c , з одного боку, являється КЕ цієї системи, а з іншого – T_c більш низького рівня складності.

В таблиці 2 КЕ комбінованого МТА розділені на складові частини-деталі або вироби, що виготовляються з матеріалу однієї марки без застосування складальних операцій. Розділені також всі роз'ємні і нероз'ємні (зварені, клепані, напресовані і т.д.) складальні одиниці (виріб, складальні частини якого підлягають з'єднанню між собою на підприємстві-виробнику складальними операціями), за винятком купованих виробів (комплектуючі), що отримує підприємець у готовому вигляді і виготовлених за технічною документацією заводом-постачальником. Кожен куплений виріб при класифікації враховують як одну одиницю, незалежно від кількості деталей, що входять в нього. Із сукупності утворюючих МТА деталей та купованих виробів при класифікації КЕ виключені стаціонарні деталі: болти, гвинти, гайки, шайби, шпонки, тощо.

Під час аналізу КЕ комбінованого агрегату МТА за рівнями складності будь-який вузол, складальну одиницю, агрегат-систему, енерготехнологічний агрегат (ЕТА) можна розглядати з одного боку, як T_c , з іншого – як КЕ, що входить до більш складної T_c . Наприклад (табл. 2): T_{c4}^3 – технологічна система 4-го рівня, 3-го типу; X_0^8 – КЕ 0-го рівня, 8-го типу і т.п. За необхідністю представлення в одному рівні виключно однакових КЕ одного типу позначають: $2T_{c4}$, ... , $5T_{c4}$ або $2X_4$, ... , $5X_4$; при різній їх конструкції перед індексом їх рівнів (c_4 та 4) ставлять цифровий індекс – T_{c4}^2 , ... , T_{c4}^4 і т.д. як $X_{2,4}$, ... , $X_{4,4}$ і т.д.

Конструкція будь-якої машини (енергетичної або технологічної) МТА являє собою складну макросистему T_c 4-го або 4'-го рівня, що має багатоярусні рівні складності КЕ, де один і той же компонент системи, в залежності від цілей декомпозиції (ділення), може виступати у ролі системи, підсистеми і елементу (табл. 2). Формування такої моделі взаємодії КЕ можна здійснити з використанням представлення про прямий або декартовий прибуток кінцевого числа множин, що відображують складну T_c і пов'язані між собою відношеннями, що кваліфікуються як формальне відображення зовнішніх зв'язків, що забезпечують взаємодію [1]:

$$T_c = A \times B \times C \times G = \{ \langle A_{i1}, B_{i2}, C_{i3}, G_{i4} \rangle / A_{i1} \subseteq A; B_{i2} \subseteq B; C_{i3} \subseteq C; G_{i4} \subseteq G \}, \quad (1)$$

де $\langle A_{i1}, B_{i2}, C_{i3}, G_{i4} \rangle$ – впорядковані підмножини, що входять до множин A , B , C , G відповідно, 3-го, 2-го, 1-го і 0-го рівнів складності (агрегат-

системи, вузли, складальні одиниці, деталі); $i1 = 1, 2, 3, \dots, n1$; $i2 = 1, 2, 3, \dots, n2$; $i3 = 1, 2, 3, \dots, n3$; $i4 = 1, 2, 3, \dots, n4$.

Таблиця 2 – Класифікація КЕ комбінованих МТА за рівнями складності

Рівень складності	Елемент конструкції	Тип	Позначення	
			Конструктивних елементів	Технічних систем
0	Деталі	Виготовлені з листа, сортаменту, туппуванням, згинанням, запозичені, стандартизовані, куповані	$X_0^1, X_0^2, \dots, X_0^{k-1}, X_0^k$	–
1	Складальні одиниці	Виготовлені без зварювання, з механічною обробкою, зварюванням і без механічної обробки, зварюванням і механічною обробкою, куповані	$X_1^1, X_1^2, \dots, X_1^k$	T_{c1}
2	Вузли (збільшені складальні одиниці)	Виготовлені без зварювання і без механічної обробки, ... , запозичені, куповані	$X_2^1, X_2^2, \dots, X_2^k$	T_{c2}
3	Агрегат-системи	Двигун, трансмісія, рама та ін. (по специфікації), ... , куповані	$X_3^1, X_3^2, \dots, X_3^k$	T_{c3}
4	Енергетичні машини	Колісні, моноблочні, колісні з поворотним шарніром, ... , куповані	$X_4^1, X_4^2, \dots, X_4^k$	$T_{c4'}$
4	Технологічні машини	Начіпні, причепні, жорсткостикіуємі, ... , куповані	$X_4^1, X_4^2, \dots, X_4^k$	$T_{c4''}$
5	Енерго-технологічні агрегати	Для рослинництва, для тваринництва, ... , куповані	$X_5^1, X_5^2, \dots, X_5^k$	T_{c5}
6	Комплекси машин	Для рослинництва, для тваринництва, ... , куповані	$X_6^1, X_6^2, \dots, X_6^k$	T_{c6}
7	Система машин	У сільському господарстві	–	T_{c7}

При цьому записи співвідношень включення \subseteq , \in визначають входження в системи, що розглядаються А, В, С, G підсистеми $Ai1, Bi2, Ci3, Gi4$, в які входять елементи $Tc a_i, b_i, c_i, g_i$:

$$\begin{aligned}
 a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_{k1-1}, a_{k1} &\in A_i1; \\
 b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_{k2-1}, b_{k2} &\in B_i2; \\
 c_1, c_2, \dots, c_i, \dots, c_{k3-1}, c_{k3} &\in C_i3; \\
 g_1, g_2, \dots, g_i, \dots, g_{k4-1}, g_{k4} &\in G_i4.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Розглянемо застосування розробленої класифікації на прикладі аналізу і синтезу (складання) МТА для механізації робіт у рослинництві з використанням передньої і задньої начіпної системи базового енергомодуля (трактора) (див. рис. 1, а). Даний комбінований МТА для догляду за рослинами можна уявити як складну макросистему, що складає Тс більш нижчих рівнів:

$$T_{C6}^1 = T_{C4}^1 + T_{C3}^{12} + T_{C4}^2 + T_{C3}^6 + \sum_{k=1}^2 T_{c4^k}^5, \tag{3}$$

де T_{C6}^1 – комплекс машин для рослинництва у виді Тс 6-го рівня, 1-го типу; T_{C4}^1 – культиватор підживник рослин, начіпна технологічна машина у виді Тс 4"-го рівня, 1-го типу; T_{C3}^{12} – передня начіпна система у вигляді Тс 3-го рівня, 12-го типу; T_{C4}^2 – енергомодуль як Тс 4-го рівня, 2-го типу; T_{C3}^6 – задня начіпна система у вигляді Тс 3-го рівня, 6-го типу; $\sum_{k=1}^2 T_{c4^k}^5$ – комплекс технологічних машин у виді Тс 4"-го рівня, 5-го типу, добуток із двох множників визначає підживник T_{CC}^5 та сівалку T_{CC}^5 (див. табл. 2).

Основним елементом комбінованих МТА (див. рис.1) є енергомодуль T_{C4}^2 , для якого доцільно всі складальні одиниці підчас аналізу його складності розділити на три групи: перевтілення і передача енергії, виконання агротехнічних вимог і умов праці тракториста та дотримання техніки безпеки. При цьому необхідно враховувати, що складальні одиниці першої групи залежать в основному від потужності двигуна внутрішнього згоряння, другої – від маси енергомодуля. Складальні одиниці третьої групи не залежать ні від потужності двигуна, ні від маси енергомодуля.

За даною класифікацією складальних одиниць енергомодуля, на прикладі трактору серії ХТЗ-160, можна виділити у відповідності з табл. 2 KE різних рівнів:

- 3-го рівня 11 штук (двигун, зчеплення та коробка передач, мости, карданна передача, колеса, рама, задній та передній ВВП, буксирний гак);
- 2-го рівня 6 штук (гідросистема, начіпна система, рульове керування, гальмівна система, електрообладнання, кондиціонер);
- 1-го рівня 7 штук (шестерні, вали, корпусні деталі, тощо);
- 0-го рівня 61 штук (деталі кабіни, облицювання, тощо).

В даному випадку трактор у складі комбінованого МТА уявляється у вигляді складної макросистеми, що містить T_c більш низьких рівнів:

$$T_{c4}^2 = \sum_{k=1}^{11} X_3 + \sum_{k=1}^6 X_2 + \sum_{k=1}^7 X_1 + \sum_{k=1}^{61} X_0. \quad (4)$$

З цього виходить, що остаточне складання виконується з 11 агрегат-систем, 6 вузлів, 7 груп складальних одиниць, 61 деталей. Послідовне розкладення кожної із складових формули (4) на КЕ більш низьких рівнів дозволить визначити типи деталей, способи їх виготовлення, матеріали та параметри. Так, наприклад, останній доданок (4) містить такі якості КЕ: 11 шт. 1-го типу, виготовлених мехобробкою з листа ($X_0^1 = 15$); 5 шт. 2-го типу із сортименту ($X_0^2 = 5$); 7 шт. 3-го типу зі вказанням у КД матеріалу, але без способу виготовлення ($X_0^3 = 7$); 4 шт. 4-го типу виготовлені гнбким штампуванням ($X_0^4 = 4$), 4 шт. 9-го типу із листа ($X_0^9 = 4$); 20 шт. 11-го типу стандартизовані ($X_0^{11} = 20$). Це відображається формулою:

$$\sum_{k=1}^{61} X_0 = \sum_{k=1}^{16} X_0^1 + \sum_{k=1}^5 X_0^2 + \sum_{k=1}^{10} X_0^3 + \sum_{k=1}^{14} X_0^{14} + \sum_{k=1}^4 X_0^9 + \sum_{k=1}^{25} X_0^{11}. \quad (5)$$

Можливий подальший опис конструкції ЕЗ з дробленням (диференціацією) параметрів КЕ. Так, деталі 0-го рівня 1-го типу, виготовленні механічною обробкою з листа, можливо розділити на групи в залежності від марки матеріалу, а кожну групу – на підгрупи, наприклад, за товщиною листа, що застосовується, тощо. При цьому в позначеннях КЕ кожному кроку диференціації присвоюється буквенний або числовий індекс (X_0^{1BA} – КЕ 0-го рівня, 1-го типу, групи В, підгрупи А).

Відомості про КЕ, згруповані за визначеними ознаками, вводять в банк даних комп'ютера і використовують під час підготовки виробництва і подальшого конструювання шляхом синтезу ЕЗ, що підвищує ефективність праці конструкторів та технологів, а отже, якість складання та технічний рівень машин, що створюються.

В процесі дослідження розроблений метод побудови моделі «остаточне складання мобільного ЕЗ», що відображає функціональну значимість його елементів і складність конструкції. В даному випадку окремі графи підсистеми об'єднані в загальний операційно-технологічний граф складання мобільного ЕЗ (рис. 3).

На даному графі елементна комірка системи T_c – впорядкована пара КЕ, що пов'язана між собою відношенням K_c (комплект збирання: кріпильні та інші деталі, за допомогою яких з'єднана пара КЕ, e – індекс, що вказує на порядок операції складання).

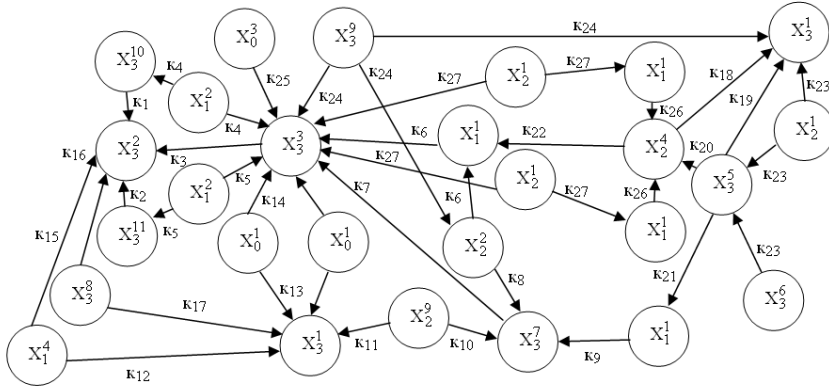


Рисунок 3 – Операційно-технологічний граф процесу складання мобільного ЕЗ комбінованого МТА для рослинництва

За допомогою розроблених графів і методу декомпозиції (диференціації) конструкції можна визначити та оптимізувати не тільки фіксовані показники КЕ та Тс (вагу, номенклатуру, матеріал), але й взаємозв'язки між ними. Так, з представленого графа видно, що КЕ рами ЕС (X_3^3) має найбільшу кількість зв'язків з іншими елементами системи, що визначає найбільшу функціональну значимість даного елемента системи. Це зобов'язує конструктора під час створення машини приділяти особливу увагу даному вузлу. Дійсно, рама є основним елементом конструкції, що сприймає ударні навантаження. Крім того, рама є базою для кріплення інших КЕ машини. Тому в силовій схемі ЕЗ рама являє собою один з основних елементів, вихід з ладу якого пов'язаний з трудомісткими і дорогими відновлювальними роботами. Разом з тим її конструкція повинна підлягати загальному компонуальному задуму.

Виконуючи подібним чином аналіз складності агрегованих з трактором (енергомодулем) сільгоспмашин, уявляється можливість шляхом синтезу з КЕ та Тс створювати комбіновані МТА заданого рівня складності.

Висновки. Застосування під час аналізу і синтезу МТА теорії графів дозволяє відпрацьовувати загальну методологію проектування складних Тс, застосовуючи системний підхід, що дозволяє алгоритмізувати багато процедур проектування, скорочуючи таким чином тривалість та вартість розробок.

Література

1. Лебедев А.Т. Основы анализа и синтеза энерготехнологических агрегатов блочно-модульного построения [Текст] / А.Т. Лебедев,

А.Е. Писаренко // Тракторная энергетика в растениеводстве. Сборник науч. тр. ХГТУСХ. – Х.: ХГТУСХ, 1999. – С. 248 – 256.

2. Надыкто В.Т. Перспективное направление создания комбинированных и широкозахватных МТА [Текст] / В.Т. Надыкто // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 3. – С. 26 – 30.

3. Тракторы. Проектирование, конструирование и расчет [Текст] / [И.П. Ксенович, В.В. Гуськов, Н.Ф. Бочаров и др.], под общей редакцией И.П. Ксеновича. – М.: Машиностроение, 1991. – 544 с.

4. Матвеевский С.В. Основы системного проектирования комплексов летательных аппаратов [Текст] / С.В. Матвеевский. – М.: Машиностроение, 1987. – 240 с.

5. Васильев А.Л. Модульный принцип формирования техники [Текст] / А.Л. Васильев. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 238 с.

6. Каноненко В.Р. Оценка технологичности и унификация машин [Текст] / В.Р. Каноненко, М.А. Прялин. – М.: Машиностроение, 1986. – 268 с.

Аннотация

В статье рассмотрены принципы системного проектирования комбинированных МТА.

Summary

Principles of the system planning of combined MTA are considered in the article.