

ТЕОРІЯ СТРУКТУРИ КОНСТРУКЦІЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН ТА ЗНАРЯДЬ

Створення досконалих технологічних виробів для проведення сільгоспробіт є умовою раціонального і бережливого використання земельних ресурсів. Автори представили алгоритм відпрацювання на технологічність сільгосптехніки (картоплекопачів напівначіпних) для піщано-підзолистих ґрунтів Житомирської області. Дано обґрунтування використання алгебраїчного підходу для оптимізації процесу створення конструкцій, виведення формул, які є загальними правилами конструювання. Визначена граничність тернарного складу для вузлів конструкцій, при якій досягається максимальна складально- та ремонтнопридатність.

Стан економіки України визначається в значній мірі відродженням машинобудування зі зростанням технічного рівня вітчизняних виробів, що неможливо без активної співпраці науки і виробництва. З іншого боку стан верхнього шару землі, придатного до землеробства, є критичним, і відродження сільськогосподарського машинобудування повинно передбачати створення землезберігаючої техніки. В умовах розпаювання землі необхідні нові методи її обробки, нові конструкції обробляючої техніки та причіпних знарядь. Обов'язковою і важливою умовою досконалості будь-якої машини або знаряддя є технологічність конструкції.

Задача цієї публікації – показати науково-прикладні результати підвищення складально- та ремонтнопридатності конструкції машин та приладів.

Попередньо розглянемо вихідні поняття.

Початкові етапи проектування технологічних процесів на металорізальному обладнанні, яке відрізняється ступенем механізації і входить до різних технологічних структур, є досить трудомістким та інформаційно невизначеним, тому в даній публікації розглядається тільки складально- та ремонтнопридатність.

До конструкторсько-технологічних документованих властивостей будь-якого виробу, що утворюють його якість, відноситься об'єктивна здатність виявляти цю якість стосовно інших об'єктів, з якими виріб вступає у взаємодію. Сукупність корисних властивостей виробу, що надає йому в процесі розробки конструктор, повинна бути спрямована на досягнення оптимальних витрат ресурсів при проектуванні, виготовленні, технічному обслуговуванні і ремонті створеної конструкції. З урахуванням заданих показників якості, обсягу випуску й умов виконуваних робіт ця сукупність властивостей являє собою технологічність конструкції виробу (ТКВ). ТКВ виражає не функціональні властивості виробу, а його конструктивні особливості. Характерними в загальному випадку є склад, взаємне розташування складових частин, схема побудови конструкції в цілому, форма і розташування поверхонь деталей, розміри, матеріали, здатність до формоутворення поверхонь, інформаційна виразність форм, простота і зручність складання і розбирання з'єднань та ін.

Досконалість конструктивного виконання обумовлюють поряд із ТКВ такі його якості, як економічність, надійність, естетичність, ергономічність, безпека і екологічність, транспортабельність, патентоспроможність.

Створення нової досконалої машини в сучасних умовах господарювання вимагає нового підходу до використання для цього різних видів ресурсів, значного скорочення термінів проектування і введення у виробництво. Ефективний напрямок рішення цих задач – відпрацювання конструкції виробу на технологічність на стадії проектування та кількісна оцінка результатів цієї роботи на стадії конструювання.

В даний час основною оцінкою результатів заходів щодо забезпечення технологійності виробів усе ще залишається якісна. Відсутність досконалої методики визначення кількісної оцінки технологійності конструкції є істотним стримуючим фактором застосування найбільш раціональних конструкторсько-технологічних рішень.

Розроблені методи кількісної оцінки технологічності виробів [1] відносяться до прояву її в сфері технологічних процесів виготовлення й експлуатації виробу. Найбільш узагальнюючими при цьому вважаються вартісні характеристики [2].

У процесі еволюційного розвитку машин одного цільового призначення більшість з основних характеристик змінюється за законом сигмоїдальної, або логістичної кривої. Так само описуються тенденції збільшення вартісних ресурсів для створення послідовного ряду однотипних виробів. Витрати на розробку нових виробів взаємозалежні з необхідними ресурсами. Кількісно цей взаємозв'язок рекомендовано описувати математичною моделлю виду [3]:

$$C_i = A_i \cdot t^{\alpha_i} \cdot e^{-\beta_i t} \quad (1)$$

де: C_i – витрати, що відповідають t -му відрізку часу з початку робіт на i -м етапі розробки нового виробу; A_i , α_i , β_i – статистичні коефіцієнти для i -го етапу розробки нового виробу; $0 < t < 1$; e – ступінь сполучення робіт на суміжних етапах розробки. Для кожного типу виробів є визначений інтервал ступеня раціонального сполучення робіт на суміжних етапах.

Використання якісної оцінки технологічності є необхідною, але недостатньою умовою відпрацьовування конструкції на технологічність. Одночасно з якісними за основні кількісні показники звичайно [4, 5] приймають трудомісткість, технологічну собівартість, а іноді і матеріалоємність.

Широке використання при кількісній оцінці виробничої технологічності виробів отримали базові показники (трудомісткість та технологічна собівартість). Визначають їх відповідно за такою формулою:

$$T_{бн} = T_a \cdot K_{сл} \cdot K_{mp} \quad (2)$$

де: $T_{бн}$ – базовий показник по трудомісткості або, відповідно, по технологічній собівартості; T_a – трудомісткість або, відповідно, технологічна собівартість виготовленого виробу-аналога; $K_{сл} > 1$ – коефіцієнт складності проєктованого виробу; K_{mp} – коефіцієнт зниження трудомісткості або, відповідно, технологічної собівартості.

Визначення технологічності за базовими показниками для нових виробів не є раціональним, тому що в проєктному періоді важко, а іноді навіть неможливо, виділити основний чи головний технічний параметр виробу, визначити або встановити виріб-аналог.

Різні джерела й автори розглядають і пропонують методики оцінювання [9...11] видів технологічності конструкцій виробів і усі вони в різній мірі зв'язані з умовами виробництва й експлуатації виробу.

Відпрацьовування проєктної і робочої конструкторської документації на технологічність при внутрішньому, зовнішньому і вхідному контролі – один з істотних елементів загального відпрацьовування конструкції виробу на технологічність. Але роботи з технологічного контролю креслень вимагають глибоких теоретичних знань і відомостей про конкретні виробничі умови на підприємстві-виготовлювачі нового виробу для встановлення співвідношень між технологічним устаткуванням і окремими параметрами виробу. При такому підході результати придатні лише для визначених видів верстатів і визначених виробництв.

Представлена робота пропонує для попередньої загальної оцінки технологічності конструкції кількісно оцінювати тільки побудову її структури. Загальний принцип теоретичних положень визначений як принцип необмеженого різного поділу конструкції і будь-якого реального з'єднання її елементів.

Ідея оцінки структури конструкції може бути виражена наступним твердженням.

Можлива апріорна кількісна оцінка структури будь-яких технічних конструкцій на технологічність і вхідні в неї складові (ремонтпридатність, складальнопридатність, уніфікацію та інші) на основі виявлення особливостей структури конструкцій машин і створення відповідних кількісних критеріїв. Це дозволяє виявити закономірності і визначити шляхи оптимізації структури конструкцій, ув'язавши її на етапі робочої документації з технологічним оснащенням.

Для ілюстрації розглянемо складально- та ремонтпридатність.

Під складальнопридатністю будемо розуміти технологічність складання, під ремонтпридатністю – технологічність роз'єднання при ремонті. Обидва поняття виходять тільки з кількісного складу виробів.

Виконані дослідження показали, що кількісні критерії складально- та ремонтпридатності можуть бути створені на основі математичного поняття «множина підмножин» (множина – степінь) [6, 7].

Наприклад, для бінарної множини $A = \{a, b\}$:

$$P(A) = \{\emptyset, \{a\}, \{b\}, \{a, b\}\}, \quad (3)$$

де: $P(A)$ – множина-степінь множини A ; \emptyset – пуста множина; a, b – елементи множини A .

Тобто, конструкція складальної одиниці буде максимально складально- та ремонтпридатною в тому випадку, коли вона дозволяє складати (розбирати) її частини в будь-якій послідовності і забезпечує можливість зняття (встановлення) кожної деталі (вузла) без зняття (встановлення) іншої деталі (складальної одиниці).

Для визначення кількісних критеріїв складально- та ремонтпридатності тут і в подальшому не будемо обтяжувати докази математичними викладками – вони сприймаються проектувальниками будь-якого рівня неоднозначно [8]. Пропонуємо кінцевий результат у вигляді залежності:

$$K^c = \frac{m(P)^c + 1}{m(P_n)} \quad (4)$$

де: K^c – критерій складальнопридатності (нагадаємо, що “потужність” є аналогом поняття “кількість” в теорії множин); $m(P)^c$ – потужність множини реальних підмножин складальної одиниці, яку можливо отримати складанням (одиниця добавляється для врахування пустої множини, що входить у знаменник); $m(P_n)$ – потужність множини-степеня складальної одиниці для її кількісного складу.

Аналогічно визначено кількісний критерій ремонтпридатності.

Потужність множини складають деталі і/або вузли, що входять до специфікації складальної одиниці, із врахуванням закону ідемпотентності (однакові елементи, наприклад елементи кріплення, приймаються в формулах (3) та (4) як один елемент.

Обґрунтуванням кількісних критеріїв є наступна теорема.

Складальна одиниця має максимальні складально- та ремонтпридатність, якщо її побудова забезпечує реальну можливість отримання всіх структур аналогічно та кількісно як множини-степеня на відповідних структурних рівнях.

Формалізований запис теореми:

$$\begin{aligned} \forall K \left((m(P)^c + 1) = (m(P)^p + 1) = m(P_n) \right) \wedge K^c \wedge K^p \Rightarrow \\ \Rightarrow (\max K^c \wedge \max K^p) \end{aligned} \quad (5)$$

де: K – будь-яка складальна одиниця; \forall – квантор загальності; \Rightarrow – імплікація; \wedge – кон'юнкція (союз “і”); K^c – критерій складальнопридатності; K^p – критерій ремонтпридатності.

Доказ теореми проводився по індукції на багатьох загальновикористовуваних простих конструкціях вузлів кріплення (болтових, гвинтових, шпилькових, шпонкових, штифтових тощо).

При підрахунках кількісних критеріїв із зменшенням кількості деталей у складі визначених складальних одиниць прослідковувалася тенденція підвищення складально- та ремонтпридатності, відкривалась можливість перегрупування елементів у складальній одиниці без зниження її параметрів. Встановлено також, що тернарний (трьохелементний) склад складальної одиниці на цьому структурному рівні є найбільшим для отримання максимальних складально- та ремонтпридатності.

Формалізовано ці ствердження мають вид:

$$\forall K(((K^c \wedge K^p) \rightarrow \max) \Rightarrow (m \rightarrow \min)), \quad (6)$$

де: m – кількість найменувань деталей в складальній одиниці на встановленому структурному рівні; \rightarrow – прямування.

$$\forall K((m \leq 3) \Rightarrow (K \wedge K^p) = (\max)). \quad (7)$$

Формули (6) та (7) підтверджують те, що формула (5) тотожно істинна з точки зору формальних логічних поглядів. Змістовно вона також істинна. Вказані властивості свідчать про її загальнозначимість, що дає підстави вважати її законом.

Все сказане вище дозволяє вважати кількісні критерії за правила конструювання.

Зрозуміло, що відпрацьовані складальні одиниці не складають масиву конструкцій при створенні нової техніки і мова не йде про досягнення максимальної складально- та ремонтпридатності, а лише про їх підвищення. Підвищення цих показників по структурі ініціює покращення технологічності конструкції в цілому.

Що стосується технологічності конструкції деталі, то якісними показниками її підвищення є стандартизація, уніфікація і наступність технічних рішень.

Застосування в конструкції уніфікованих складових частин дозволяє в 2–3 рази зменшити кількість розроблювальної конструкторської документації, до 1,5–2 разів скоротити терміни розробки окремих виробів, застосувати більш сучасні способи формоутворення деталей, що в результаті приводить до скорочення витрат матеріалів, трудомісткості і собівартості виготовлення.

На першому етапі конструкторської розробки деталі кількісно оцінити технологічність її структури пропонується на основі поняття первинного елемента як найпростішої частини, що має найнижчий структурний рівень.

Розуміючи операцію об'єднання в теоретико-множинному змісті [8], визначимо кількісний критерій уніфікації відповідно до такої теореми.

Якщо поелементне об'єднання деталей дорівнює одному первинному елементу, то уніфікація цих деталей буде максимальною:

$$\forall d(((d \in D \in U) \wedge (U_{a_0} D \equiv a_0) \wedge K^y) \Rightarrow (K^y = \max)), \quad (8)$$

де: d – деталь заданого типу; D – заданий тип деталей, який розглядається на рівні їх елементів; U – основна множина; a_0 – первинний елемент; K^y – кількісний критерій уніфікації, який має таку побудову:

$$K^y = \frac{1}{n_a}, \quad (9)$$

де: n_a – число назв первинних елементів в поелементному об'єднанні деталей, що розглядаються.

Досягнення максимального рівня критерію уніфікації для багатьох типів деталей – задача складна, а подекуди і недосяжна. Для таких випадків мова йде про тенденцію до зменшення числа видів первинних елементів в деталях, що буде слугувати підвищенню уніфікації.

Автори використали деякі властивості алгебри з таких причин:

- алгебра вивчає операції над елементами довільно взятих множин, тобто множин будь-якого походження;
- відсутність в основах алгебри ідеї границі обумовлює зручність використання її апарату для опису дискретних структур, якими в значній мірі є конструкції машин і приладів;
- обґрунтування відповідності вимог до структур конструкцій та до алгебраїчних структур підсилює ствердження про непротивірччя та повноту теорії структури конструкцій, доказаної для алгебраїчних систем.

Запропоновані кількісні критерії зручні для попереднього оцінювання конструкцій, коли мова не йде про конкретне підприємство, або визначений рівень технології. Вони можуть бути використані також в навчальному курсовому та дипломному проектуванні при відпрацюванні варіантів конструкцій.

Короткі висновки: технологійність конструкцій залишається важливим компонентом при досягненні економічних показників, що забезпечують конкурентоспроможність виробів вітчизняного машинобудування. Запропоновані критерії технологійності складання і ремонту відносно структури конструкцій побудовані на основоположному понятті “множина-ступінь”, що дає можливість апріорно оцінювати конструкції на стадіях проектування і конструювання.

Прикладне застосування вказаного підходу проілюстроване на прикладі конструкції напівначіпних картоплекопачів, що важливо для створення полегшеного землезберігаючого знаряддя, пристосованого для невеликих масивів землі зі слабким гумусом (готується патентування).

Література:

1. *Прялин М.А.* Оценка степени преемственности конструкций при анализе их технологичности и ремонтпригодности. – // Техническое обеспечение ремонтпригодности и диагностика промышленных изделий /Под ред. С.П. Ксенза, Л.П. Глазунова, А.А. Волынского. - Л.: ЛДНТП, 1981.- С. 34-37.
2. *Лисичкин В.А.* Отраслевое научно – техническое прогнозирование. - М.: Экономика, 1971.- 231с.
3. *Саркисян С.А., Ахундов В.М., Минаев Э.С.* Большие технические системы: Анализ и прогноз развития. - М.: Наука, 1977.- 350 с.
4. Ремонтпригодность машин /Под ред. П.Н. Волкова.- М.: Машиностроение, 1975.- 368 с.
5. Технологичность конструкций /Под общ. ред. С.Л. Ананьева, В.П. Куровича. - М.: Машиностроение, 1961.- 423 с.
6. *Гильберт Д., Бернайс П.* Основания математики. Логические исчисления и формализация арифметики: Пер. с нем. - М.: Наука, 1979.- 520 с.
7. *Гильберт Д., Бернайс П.* Основания математики. Теория доказательств: Пер. с нем. - М.: Наука, 1982.- 652 с.
8. *Лось Л.В.* Теория структуры конструкций технологичных машин и приборов. - Житомир: ЖСХИ, 1991.- 167 с.; ил.
9. ГОСТ 18.001-76 Количественные методы оптимизации параметров объектов стандартизации. Общие положения.
10. ГОСТ 18.101-76 Количественные методы оптимизации параметров объектов стандартизации. Теоретические методы. Основные положения по составлению математических моделей.
11. ГОСТ 18.301-76 Количественные методы оптимизации параметров объектов стандартизации. Методы обеспечения опережающей стандартизации. Основные положения.