

УДК 631.356.4

А.О. Желєзна, доц.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

ТЕОРЕТИЧНИЙ ПІДХІД ДО КОНСТРУЮВАННЯ МАШИН ДЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

Створення досконалих технологічних виробів для проведення сільгоспробіт є запорукою раціонального і бережливого використання земельних ресурсів. Представлено алгоритм відпрацювання на технологічність сільгосптехніки (косарок навісних) 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 конструкцій, при якому досягається максимальна складальна та ремонтпридатність. Показані практичні результати конструювання згідно з запропонованими методами.

Сучасний рівень порушень екологічних умов і рівноваги на Землі є критичним. Протягом історії людства вплив його на природу розвивався не як простий лінійний процес і зараз досяг такої напруги, що можна підтверджувати про настання нової історичної фази у взаємодії людства та природного середовища. Людина розширила сферу і силу впливу на природу, поширила свою діяльність на природні середовища, які раніше були їй недоступні, урізноманітнила форми та види впливу. Прослідковується загальна картина порушень екологічної обстановки в результаті людської діяльності в планетарному масштабі.

В даний час рішення глобальної екологічної проблеми, захист людства від стихії і техногенних катастроф є загальносвітовою задачею.

Літосфера (тверда оболонка Землі), а особливо її верхня частина, стала за останні десятиліття об'єктом найбільш дошкульних антропогенних навантажень, що є результатом різноманітного активного втручання людини в область земних надр.

Втрати ґрунтових ресурсів для сільськогосподарських робіт в Житомирській області складають 1281 тис. га, майже стільки ж, скільки орних земель в області – 1517 тис. га. З невикористаних для оранки ресурсів 1065 тис. га – перезволожені землі, 218,1 тис. га – землі, що не засівались у 2000 році, в тому числі і землі Чорнобильської зони.

Найбільш значним джерелом втрат є різноманітні форми ґрунтової деградації, пов'язаної переважно з антропогенними чинниками (на Житомирщині – перезволоження). Це – марнотратна система перелогового землеробства, при якій землі, що випали із сільськогосподарського обороту, як правило, в нього не повертаються, в силу повної втрати відбудовних властивостей або внаслідок інших форм нераціонального використання.

Житомирська область у тій частині території, де переважають піщано-підзолисті ґрунти (694,3 тис. га) із слабким гумусом (від 1%), потребує режимів, що заощаджують впливи на літосферу при проведенні сільгоспробіт. Крім того, в особистих фермерських господарствах з обмеженою площею землі, розташованої окремими орними ділянками по 0,5–3 га в одному полі, раціональним землекористуванням буде опрацювання землі полегшеними сільськогосподарськими машинами. Створення досконалих машин підвищує важливість питань раціонального використання народногосподарських ресурсів.

Одним з ефективних напрямків рішення цієї задачі є забезпечення відпрацювання конструкцій виробу на технологічність. 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. Основні конструкторсько-технологічні рішення закладаються в нові вироби на ранніх стадіях конструкторського підготування виробництва, як правило, на підставі порівняння і вибору найбільш раціональних із ряду можливих варіантів. При розробці нових виробів деякі

конструктивні недоліки залишаються на стадії конструювання невиявленими і неусуненими. Вони виявляються в період освоєння у виробництві або при експлуатації. Таке пізнє їх виявлення знижує ефективність нової техніки.

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.

Доскопалість конструктивного виконання обумовлюють поряд із ТКВ такі його якості, як економічність, надійність, естетичність, ергономічність, безпека і екологічність, транспортабельність, патентоспроможність. В даний час основною оцінкою результатів заходів щодо забезпечення технологічності виробів усе ще залишається якісна. Розроблені методи кількісної оцінки технологічності виробів [1] відносяться до прояву її у сфері технологічних процесів виготовлення й експлуатації виробу. Найбільш узагальнюючими при цьому вважаються вартісні характеристики [2]. Використання якісної оцінки технологічності є необхідною, але недостатньою умовою відірацьовування конструкції на технологічність. Одночасно з якісними за основні кількісні показники звичайно [4, 5] приймають трудомісткість, технологічну собівартість, а іноді і матеріалоемність – базові показники. Визначення технологічності за базовими показниками для нових виробів не є раціональним, тому що в проектному періоді важко, а іноді навіть неможливо виділити основний чи головний технічний параметр виробу, визначити або встановити виріб-аналог.

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 ремонтпридатність. 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.

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 $A = \{a, b\}$:

$$P(A) = \{\emptyset, \{a\}, \{b\}, \{a, b\}\}, \quad (1)$$

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:

$$K^c = \frac{m(P)^c + 1}{m(P_n)}, \tag{2}$$

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 у 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 [8].

Формалізований запис теореми:

$$\forall K \left((m(P)^c + 1) = (m(P)^p + 1) = m(P_n) \wedge K^c \wedge K^p \Rightarrow (\max K^c \wedge \max K^p) \right), \tag{3}$$

де K – будь-яка складальна одиниця; \forall – квантор загальності; \Rightarrow – імплікація; \wedge – кон'юнкція (сполучник “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 (триелементний) склад складальної одиниці на цьому структурному рівні є найбільшим для отримання максимальних складально- та ремонтпридатності.

Формалізовано ці ствердження мають вигляд:

$$\forall K \left((K^c \wedge K^p) \rightarrow \max \Rightarrow (m \rightarrow \min) \right), \tag{4}$$

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

$$\forall K \left((m \leq 3) \Rightarrow ((K^c \wedge K^p) = (\max)) \right). \tag{5}$$

Формалізація конструкцій дозволяє знаходити та виправляти помилки в період розробки. У даній роботі вирішувалась задача відпрацювання виробу на ремонтну технологічність, зокрема, технологічність складально- і ремонтпридатності. Запропонований алгоритм проведення такого процесу на прикладі оцінки конструктивної досконалості двох типів косарок навісних – тракторних та кінних. Конструктивно вони є втулковими або втулково-пальцевими. Відпрацювання креслень дозволило взяти за основу втулкову косарку і сконструювати її так, що вона складається з окремих функціональних груп (ножовий брус, основа, блок обертальний, траверса, блок підйомний тощо), як показано на рис. 1.

На відміну від наявних конструкцій, у запропонованій конструкції автори спробували вирішити таке питання: при якому найбільшому числі найменувань елементів, що входять у складальну одиницю, яка знаходиться одноразово в процесі з'єднання (роз'єднання), вірогідне досягнення максимальної складально- і ремонтпридатності, і прийшли до висновку, що тернарний склад є найбільшим для отримання максимальних складально- та ремонтпридатності.

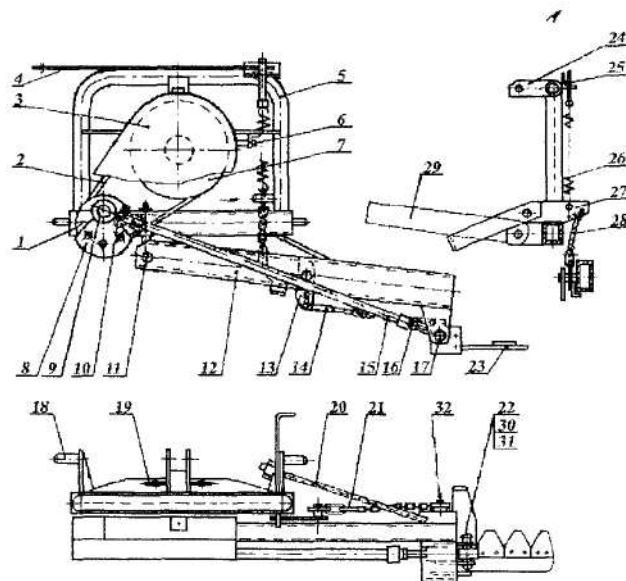


Рис. 1

Для складання запропоновано тернарний склад кожної групи (в межах всього механізму і з врахуванням закону ідемпотентності щодо кріпильних деталей). Це призвело до того, що для розбирання механізму і вилучення будь-якої групи з його складу не потрібно розбирати інші групи або від'єднувати деталі інших груп.

Для переходу від однієї косарки до іншої потрібна заміна лише ножевого бруса (для тракторних) та пожевого бруса і механізму приєднання (для кінних).

При відпрацьовуванні конструкцій косарок на технологічність значне місце відведене використанню конструктивно-технологічних рішень по уніфікації. Стандартизація, уніфікація та наступність технологічних рішень є якісними показниками підвищення технологічності конструкції деталі.

Уніфікація є не самоцілью, а ефективним засобом вирішення протиріч між постійним ускладненням конструкції виробів і обмеженнями по виділенню необхідних ресурсів. Застосування в конструкції виробів уніфікованих складових частин дозволяє до 2–3 разів зменшити кількість конструкторської документації, що випускається, до 1,5–2 разів скоротити терміни розробки окремих виробів і обсяги різноманітних видів іспитів, проведених для підтвердження необхідного рівня якості продукції, що випускається.

Оцінка уніфікації і її впливу на раціональне використання ресурсів також здійснюється на різних стадіях конструкторського підготування виробництва.

При використанні технічних рішень по уніфікації підвищується якість конструкторської документації, яка випускається, що знаходить свій відбиток у скороченні до 3–5 разів кількості її змін. Це, у свою чергу, призводить до відповідного зменшення кількості змін у конструкції виробів і відхилень від нормального ходу технологічних процесів.

Сучасна конструкторсько-технологічна концепція схиляється переважно до статичних форм уніфікації, що, застаріваючи, надають негативного впливу розвитку техніки. Виродження динамічної уніфікації, що включає в себе еволюцію усіх форм по мірі прогресу техніки, стримується відсутністю методів уніфікації деталей (в першу чергу). Пропонуються результати досліджень автора.

Кількісний критерій уніфікації деталей доцільно засновувати на понятті первинного елемента як найпростішої частини, що має найнижчий структурний рівень.

Доведено теорему про максимальну уніфікацію. Операція об'єднання тут розуміється як теоретико-множинна [7].

Визначення теореми (формула 6): *якщо поелементне об'єднання деталей дорівнює одному первинному елементу, то уніфікація цих деталей буде максимальною*. Формалізований запис теореми:

$$\forall d(((d \in D \in U) \wedge \left(\bigcup_{a_o} D = a_o \right) \wedge K^Y) \Rightarrow (K^Y = \max)), \quad (6)$$

де d – деталь заданого типу; D – заданий тип деталей, аналізований на рівні їхніх елементів; U – основна множина; \bigcup – операція об'єднання; a_o – первинний елемент; K^Y – кількісний критерій уніфікації.

$$K^Y = \frac{1}{n_a}, \quad (7)$$

де n_a – число первинних елементів у поелементному об'єднанні аналізованих деталей, або інакше – число видів елементів.

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. Так, при розробці конструкцій деталей, які використовуються в усіх типах косарок, уніфікації була приділена значна увага, наприклад, всі направляючі втулки були замінені на сальні блоки, під які всі кінцеві шийки валів та пальців були переточені на $\varnothing 28$ мм, всі траверси і деталі механізмів приєднання до трактора виконані однаково, в усіх необхідних випадках введено шпінтування, зведений до розумного мінімуму комплект кріпильних з'єднань і кількість кріпильних деталей для кожного механізму, виключено штифтування, введені елементи регулювання за рахунок конструктивних розробок типу рис. 2 тощо.

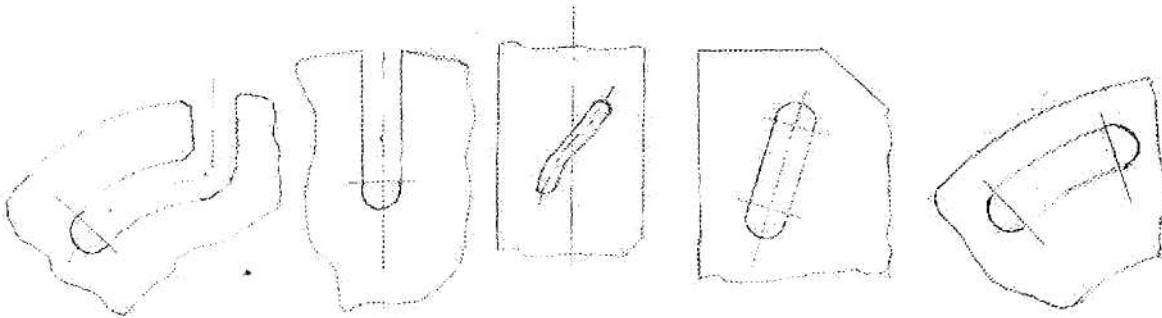


Рис. 2

В результаті конструкторського відпрацювання:

- за ствердженнями слюсарів-складальників (8 робітників), процес складання полегшився та значно прискорився (хронометраж не проводився);
- досягнута плавність ходів робочих органів, полегшено регулювання;
- загальна маса однієї косарки (в середньому 276 кг) зменшилась після регулювання на 37,76 кг.

Для формалізації структури конструкцій і процесу конструювання автором використані 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 і до алгебраїчних структур підсилює ствердження про непротивірччя та повноту теорії структури конструкцій, доказані для алгебраїчних систем.

Алгебраїчний підхід до конструювання дозволяє виводити формули, які є загальними правилами конструювання або оптимізації конструкцій. Для цього використано рекомендований апарат алгебри множин.

Згідно з визначеними кількісними критеріями складально- та ремонтпридатності при конструюванні косарок навісних використано твердження, що із зменшенням числа деталей та вузлів, які підлягають з'єднанню в складальній одиниці на відповідному структурному рівні, складально- та ремонтпридатність підвищується, а застосування уніфікованих деталей впливає не тільки на раціональне використання різноманітних видів народногосподарських ресурсів при розробці і виготовленні виробу, але і на процес його експлуатації. Так, спрощується технічне обслуговування конструкції, поліпшується її ремонтпридатність, скорочується кількість застосованого в процесі експлуатації інструменту і пристосувань, а, отже, знижується вартість і трудомісткість усього процесу експлуатації конструкції.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Прялин М.А.* Оценка степени преимущества конструкций при анализе их технологичности и ремонтпригодности // В кн.: Техническое обеспечение ремонтпригодности и диагностика промышленных изделий / Под ред. С.П. Ксенза, Л.П. Глазунова, А.А. Вольнского. – Л.: ЛДНТП, 1981. – С. 34–37.
2. *Лисичкин В.А.* Отраслевое научно-техническое прогнозирование. – М.: Экономика, 1971. – 231 с.
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. Анапьева, В.П. Купровича. – 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: Житом. сельскохоз. ин-т, 1991. – 167 с.; ил.

ЖЕЛЄЗНА Алла Олексіївна – доцент кафедри автоматизації і комп'ютеризованих технологій Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- конструювання вузлів і деталей машин;
- техноекологія, машини сільськогосподарського виробництва.

Подано 5.10.2001