

УДК 681.001.2

А.О. Железна, ст. викл.  
Житомирський інженерно-технологічний інститут  
Л.В. Лось, д.т.н.  
Державна агроекологічна академія України

## ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКІСНИХ КРИТЕРІЇВ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ СКЛАДАННЯ ТА РЕМОНТУ КОНСТРУКЦІЙ

*Запропонована методика утворення апріорних кількісних критеріїв складально- та ремонтпридатності. Для обґрунтування кількісних критеріїв доведена теорема про максимальні складально- та ремонтпридатність, виведено закон складально- та ремонтпридатності. Представлено в скороченому вигляді проект стандарту про кількісні критерії складально- та ремонтпридатності конструкцій за структурою.*

### 1. Склад кількісних критеріїв

В теперішній час кількісні показники технологічності складання та ремонту визначають на основі базових рівнів трудомісткості та собівартості [5, 6], які залежать від стану технології конкретного виробництва, кваліфікації його персоналу й інших факторів, що змінюються в часі.

При такому підході показники технологічності характеризують не технологічність, а досягнутий рівень технології та організації виробництва на конкретному підприємстві, яке виконує складання або ремонт. До того ж, ці показники – специфічні і не дозволяють оцінити кількісно технологічність на стадії розробки конструкції. Останнє призводить до зазізнення з визначенням недоліків, які виявляються на стадії випуску першої продукції в цехах, а не на етапі проєкційної документації (креслень). Немилучі переробки та коректування значно збільшують витрати виробництва.

Відсутність кількісних критеріїв значною мірою затримує підвищення економічних показників виробництва при необхідності дотримання відомих якісних критеріїв (зручність доступу до різних місць конструкції, зможу використання для ремонту стандартного інструменту й іншого оснащення тощо).

В основу технологійності складання і ремонту має бути покладений такий кількісний критерій, який дозволить би об'єктивно не лише оцінювати, але й ініціювати підвищення технологійності конструкції на початкових стадіях її створення.

В подальшому тексті поняття "технологійність складання" позначене як "складальність" або "складальнопридатність", а поняття технологійності ремонту – як "ремонтпридатність". Обидва поняття виходять лише з кількісного складу конструкцій.

Виконані авторами дослідження показали, що апріорні кількісні критерії складальності та ремонтпридатності можуть бути утворені на основі математичного поняття "множина підмножин (множина-ступінь)". Множиною-ступенем називається множина, елементами якої є всі підмножини будь-якої фіксованої множини. Наприклад, для трьохелементної (тернарної) множини  $A = \{a, b, c\}$ :

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

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

Виходячи з такого підходу, конструкції визначають лише порядок розташування деталей (вузлів), а послідовність складання або розбирання може бути будь-якою на кожному структурному рівні складу конструкції, тобто конструкція складальної одиниці володіє максимальною складальністю (відповідно ремонтпридатністю), якщо вона дозволяє складати (розбирати) конструкції в будь-якій послідовності і забезпечує можливість встановлення (зняття) кожної деталі (складальної одиниці) без встановлення або зняття іншої деталі (складальної одиниці).

Кількісний критерій складальнопридатності конструкції логічно визначити як відношення потужності множини можливих (реальних) підмножин різних послідовностей приєднання деталей (вузлів) до потужності множини-ступеня цієї конструкції:

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

де  $K^c$  – критерій складальності;  $m(P)^c$  – потужність множини реальних підмножин складальної одиниці, яку можливо отримати складанням (одиниця додається для врахування пустої

множини, що входить в знаменник);  $m(P_n)$  – потужність множини–степеня складальної одиниці, вирахована для її кількісного складу.

При обчисленні множин враховуються лише деталі та вузли конкретної складальної одиниці, подані в її специфікації (береться до уваги закон ідемпотентності, тобто декілька однакових елементів приймаються в формулах (2) і (3) як один елемент).

Аналогічно, кількісні критерії ремонтпридатності складальної одиниці логічно визначити як відношення потужності множини деталей (вузлів), які можна зняти, не знімаючи інші деталі (вузли), до множини степеня цієї складальної одиниці:

$$K^p = \frac{m(P)^p + 1}{m(P_n)}, \tag{3}$$

де  $K^p$  – критерій ремонтпридатності.

**2. Теорема про максимальні складальнопридатність та ремонтпридатність**

Доведення наступної теореми є обґрунтуванням кількісних критеріїв:

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

Формалізований запис теореми:

$$\forall K \left( (m(P)^c + 1) = (m(P)^p + 1) = m(P_n) \right) \wedge K^c \wedge K^p \Rightarrow (\max K^c \wedge \max K^p), \tag{4}$$

де  $K$  – будь-яка складальна одиниця;  $\forall$  – квантор загальності;  $\Rightarrow$  – імплікація, логічне наслідкування;  $\wedge$  – кон'юнкція (в даному записі – сполучник “і”);  $K^c$  – критерій складальнопридатності;  $K^p$  – критерій ремонтпридатності.

Доказ проведено за індукцією. Для прикладу взято загальновикористовувану просту конструкцію вузла, що складається з основи “а”, листової деталі – “в”, та деталей кріплення – “с” і “d” (рис. 1).

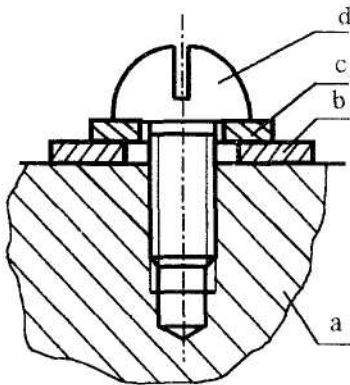


Рис. 1. Схематичне креслення простої складальної одиниці при  $K^c = K^p = 0,5$

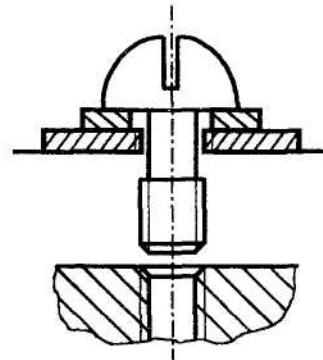


Рис. 2. Складальна одиниця, отримана перетворенням конструкції, поданої на рис. 1

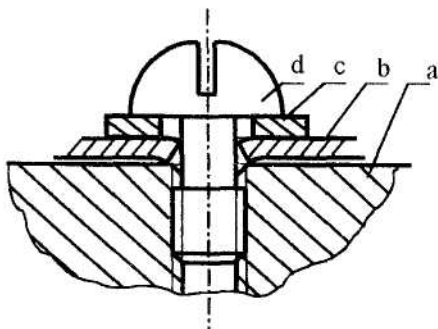


Рис. 3. Варіант 1.  $K^c = K^p = 1$

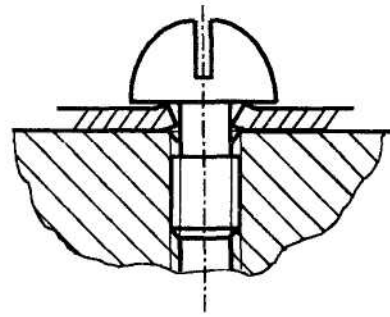


Рис. 3. Варіант 2.  $K^c = K^p = 1$

Визначена потужність множини–степеня такої складальної одиниці:

$$m(P_n) = 2^n, \quad m(P_4) = 2^4 = 16.$$

Реальне число підмножин при складанні (розбиранні) буде таким:

$$P(a, b, c, d) = \{a\}, \{d\}, \{a, d\}, \{b, c\}, \{c, d\}, \{b, c, d\}, \{a, b, c, d\},$$

тобто  $m(P(a, b, c, d)) = 7$ , тому що більшу кількість множин без конструктивних змін реально отримати при складанні (розбиранні) не можна.

Кількісний критерій при цьому:

$$K^c = K^p = \frac{m(P_{(a, b, c, d)}) + 1}{m(P_4)} = 0,5,$$

що визначає низькі ремонтно- та складальнопридатність.

Якщо вилучити з вузла деталь "с",  $K^c = K^p = 0,75$ . Критерій виросте, але не досягне максимуму, а вузол втратить у інших якостях.

Максимум  $K^c = K^p$  буде досягнуто при конструкціях, зображених на рис. 2, рис. 3, рис. 4 при умові складання вузла з двох елементів (рис. 2, рис. 3) або з трьох елементів (рис. 4).

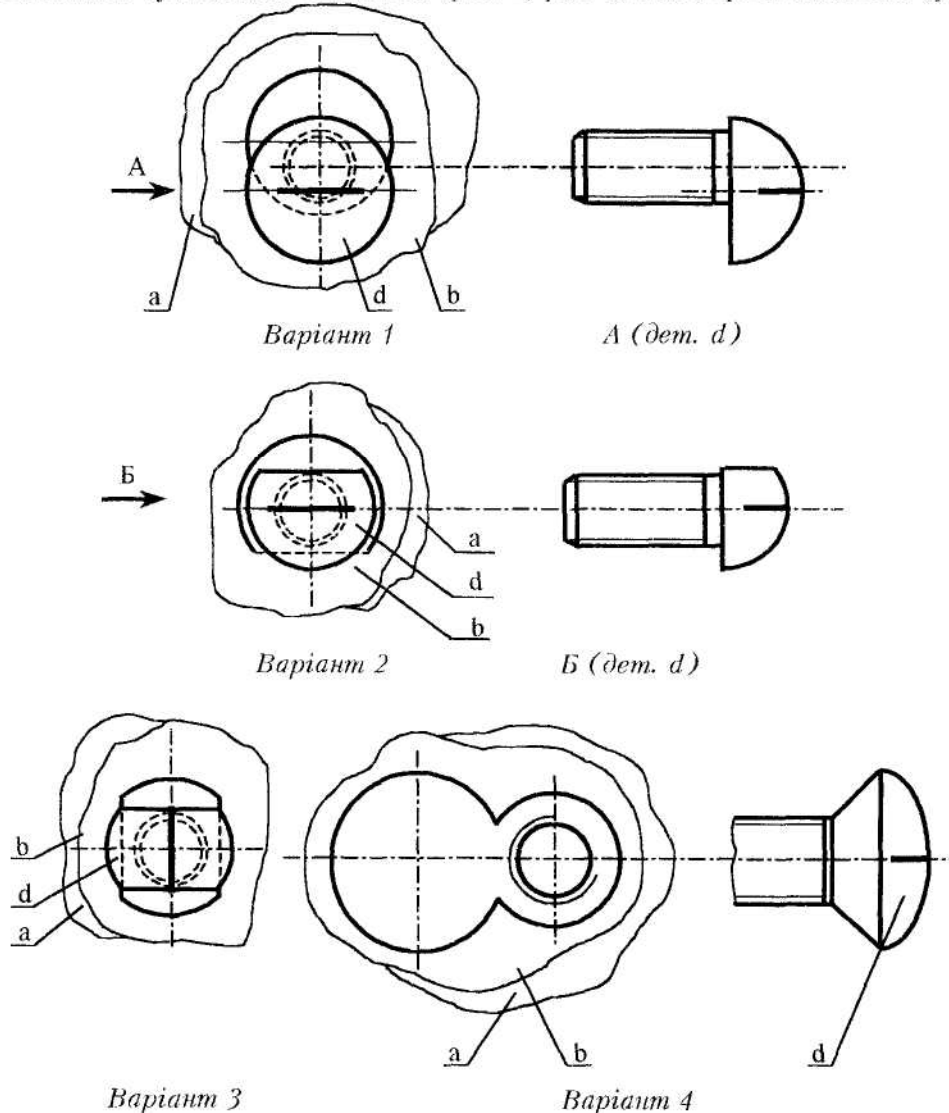


Рис. 4. Варіанти виконання кріпильної складальної одиниці при  $K^c = K^p = 1$ :  
 а – корпус, основа; б – обшивка, стінка; д – гвинт

Показані на рис. 2 деталі "б, с, д" об'єднані в окремий вузол і складають один елемент. Деталь "а" є другим елементом конструкції. В цьому варіанті дещо ускладнюється виготовлення деталі "д". Крім того, в деталі "б" отвір під деталь "д" виконують з різьбою. Вона може бути неповною, тому що не є кріпильною. Цієї особливості можна уникнути, якщо різь на деталі "д" виконувати накатуванням, а отвір під деталь "д" в деталі "б" виконувати з невеликим

відбортупанням, яке зминається при першому загвинчуванні деталі "d" і в подальшому є перешкодою для її випадання з отвору.

Відносно варіанта, що показаний на рис. 4, визначимо, що форми голівок і відповідно отворів під них можуть бути самими різними і не вичерпуються наведеними. Це свідчить про можливість задовольнити різні вимоги, що ставляться до складальної одиниці.

При підрахунках кількісних критеріїв число елементів в складальній одиниці враховується тільки для встановленого структурного рівня, при цьому однакові елементи приймаються за один елемент. Наприклад, деталь "b" закріплюється чотирма гвинтами, але в підмножині гвинт не буде врахований як найменування, без врахування кількості цих гвинтів у конкретній складальній одиниці, на конкретному структурному рівні.

Те ж саме стосується в даному випадку деталі "c".

Однак, якщо такі деталі, як "b" і "c" використовуються на цьому ж структурному рівні, але за іншим призначенням, в складі інших елементів, то вони враховуються в тих підмножинах, куди входять.

На наведених простих прикладах прослідковується тенденція підвищення, складально- та ремонтпридатності з зменшенням кількості деталей (вузлів) у складі визначеної складальної одиниці.

Ці приклади слугують як індуктивне підтвердження можливості зменшення числа елементів або їх перегрупування в складальній одиниці без зниження її параметрів.

Цим закінчується індуктивне доведення визначеної теореми. В даному викладенні доведення децю спрощене.

З теореми виходять два наслідки.

Наслідок I: Складально- та ремонтпридатність складальної одиниці підвищується при зменшенні її кількісного складу.

Формалізований запис наслідку I:

$$\forall K \left( (K^c \wedge K^p) \rightarrow \max \right) \Rightarrow (m \rightarrow \min), \quad (5)$$

де  $m$  – кількість найменувань деталей та (або) вузлів в складальній одиниці на встановленому структурному рівні;  $\rightarrow$  – відповідає, прямує.

Наслідок II: Тернарний (трьохелементний) склад складальної одиниці є найбільшим для отримання максимальних складально- та ремонтпридатності.

Формалізований запис наслідку II:

$$\forall K \left( (m \leq 3) \Rightarrow ((K^c \wedge K^p) = \max) \right). \quad (6)$$

### 3. Закон складально- та ремонтпридатності

З точки зору формальних логічних поглядів формула (4) тотожно істинна, про що свідчить її схема:

$$(A \wedge B \wedge C) \Rightarrow (B \wedge C), \quad (7)$$

де  $A$  заміное вираз  $(m(P)^c + 1 = (m(P)^p + 1) = m(P_n))$ ,  $B$  позначає  $K^c$ , а  $C$  –  $K^p$ .

Семантично істинність кількісних критеріїв у формулі (4) полягає в їх максимальному значенні. В формулі вони зв'язані кон'юнкцією, і тому права частина формули (4) буде істинною в змістовому значенні при найбільшій величині обох критеріїв. До того ж, формально, для істинності імплікації необхідна істинність лише консеквента, тому формула (4) змістовно також істинна. Вказані властивості даної формули свідчать про її загальнозначимість, що дає підстави вважати її законом.

Наслідки I і II підсилюють це ствердження. Наслідки, крім того, є правилами конструювання.

Закон складально- та ремонтпридатності по структурі конструкції може бути представлений так: максимальні складально- та ремонтпридатність по структурі досягаються в кожній конструкції, якщо при наявності заданого порядку розташування частин забезпечена можливість будь-якої послідовності складання (розбирання) відповідної складальної одиниці на визначеному структурному рівні.

Закон ілюстрований наведеними прикладами та доведеннями.

З урахуванням закону, відомі конструкції часто потрібно проектувати знову, і в багатьох випадках отримані конструкції мають нові і корисні якості, що дозволяє відносити їх до винаходів.

Закон не є методом створення винаходів, але ініціює розробку нової технологійно придатної техніки.

В навчальному процесі для студентів технологічних спеціальностей положення закону будуть корисними при відпрацюванні конструкцій, розроблених в курсових і дипломних проектах, при розрахунках розмірних ланцюжків, при в'язці типових та інших конструкцій до змінених умов виробництва тощо.

Враховуючи перевірену теоретичну основу отриманих результатів та їх ефективність, доцільно рекомендувати встановлені кількісні критерії для широкого загалу проектувальників у вигляді ДСТУ (в загальних положеннях і математичних залежностях) або СТІ (з прикладами конкретної галузі промисловості або спеціальності).

Проект стандарту, поданий в скороченому вигляді, пропонується нижче.

УДК 006.77:621.001.2

Група 52

## Державний стандарт України

Єдина система технологічної підготовки виробництва

ДСТУ

Кількісні критерії зібрання та ремонтпридатності конструкції

Постаповою Державного комітету України з стандартів від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_ терміл введення встановлений з \_\_\_\_\_

Цей стандарт встановлює математичні залежності для визначення кількісних критеріїв складально- та ремонтпридатності машини, приладу, складальної одиниці (в подальшому тексті – конструкції).

### 1. Загальні положення

- 1.1. Цей стандарт є рекомендованим при новому конструюванні та при модернізації конструкції, для якої складально- та ремонтпридатність по структурі є визначальною ознакою.
- 1.2. Кількісні критерії, отримані згідно з цим стандартом, слугують для відпрацювання документації конструкції (на стадії технічного проекту).
- 1.3. За методом, встановленим цим стандартом, підвищення складально- та ремонтпридатності конструкції досягається за рахунок мінімізації кількості деталей та складальних одиниць.
- 1.4. Метод виходить з математичного поняття множини–підмножини (множини–степеня).
- 1.5. При визначенні підмножини розглядається лише кількість типорозмірів складових частин конструкції без врахування кількості одиниць всередині типорозміру.

### 2. Кількісне визначення складально- та ремонтпридатності

- 2.1. Максимальна складальнопридатність конструкції – можливість складання її з будь-якого послідовного з'єднання деталей та вузлів, які входять в конструкцію на даному структурному рівні. Можливість складання забезпечується особливостями конструкції.
- 2.2. Максимальна ремонтпридатність конструкції – можливість розбирання її з від'єднанням деталей та вузлів, що входять в конструкцію на даному структурному рівні, в будь-якій послідовності.

*Примітка. Визначення п.п. 2.1 та п.п. 2.2 виходять з структури та складу складальної одиниці і не включають інших складових технологійності.*

- 2.3. Кількісно критерій складальнопридатності конструкції дорівнює:

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

де  $K^c$  – критерій складальнопридатності;  $m(P)^c$  – кількість множин реальних підмножин складальної одиниці, які можуть бути отримані при будь-якій послідовності складання на заданому структурному рівні.

$$m(P_n) = 2^n,$$

де  $m(P_n)$  – кількість (потужність) множини-степеня складальної одиниці;  $n$  – кількість найменувань деталей та вузлів, які входять в конструкцію за її специфікацією.

2.4. Максимальна складальнопридатність досягається при

$$m(P)^c + 1 = m(P_n). \text{ При цьому } K^c = 1.$$

*Примітка.* Поняття "потужність" є аналогом поняття "кількість" у застосуванні до множин.

2.5. Кількісно критерій ремонтупридатності конструкції дорівнює:

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

де  $K^p$  – критерій ремонтупридатності;  $m(P)^p$  – кількість множин розбирання.

2.6. Максимальна ремонтупридатність досягається при

$$m(P)^p + 1 = m(P_n). \text{ При цьому } K^p = 1.$$

2.7. Для вирішення питання ремонтупридатності окремої деталі допускається розглядати по  $K^c$  та  $K^p$ -ту частину конструкції, до якої входить визначена деталь.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Гильберт Д., Бернштейн П. Основания математики. Логические исчисления и формализация арифметики: Пер. с нем. – М.: Наука, 1979. – 520 с.
2. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. – Киев: Техника, 1975. – 768 с., ил.
3. Формальная логика. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1977. – 357 с.
4. Лось Л.В. Теория структуры конструкций технологичных машин и приборов. – Житомир: Житом. сельскохоз. ин-т, 1991. – 167 с., ил.
5. ГОСТ 14.202-73. Правила выбора показателей технологичности конструкций изделий.
6. ГОСТ 22952-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Методы расчета показателей ремонтупригодности по статистическим данным.

ЖЕЛІЗНА Алла Олексіївна – старший викладач кафедри автоматизації та комп'ютеризованих технологій Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- конструювання вузлів і деталей машин;
- метрологія та метрологічне забезпечення.

ЛОСЬ Леонід Васильович – заслужений працівник науки і техніки України, доктор технічних наук кафедри загальнотехнічних дисциплін Державної агроєкологічної академії України.

Наукові інтереси:

- теорія конструювання машин і приладів;
- теоретична екологія.

Подано 18.01.2001