

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕОРІЇ СТРУКТУРИ КОНСТРУКЦІЙ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН І ПРИЛАДІВ

Лось Л. В., Кухарець С. М., Цивенкова Н. М., Голубенко А. А.
Терещук М. Б.

1. Вступ

Недостатній рівень технологічності, ремонтпридатності та уніфікації конструкцій машин і приладів в значній мірі обумовлений відставанням досліджень з формалізації основ конструювання. Створення автоматизованих систем проектування, на яких реалізовані переважно рутинні процеси проектування та конструювання, не знижує актуальності досліджень з формалізації конструкцій, з визначення об'єктивних критеріїв оцінки виробів. Оскільки значна частина робіт, пов'язаних з інженерною творчістю, в наш час не може бути переведена на машинне конструювання.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є теорія структури конструкцій технологічних машин та приладів. Будь-яка наукова теорія повинна мати основу. Такою основою є загальний принцип, який пов'язує всі елементи теорії. Приймаємо загальний принцип, який можна назвати принципом необмеженого розділення конструкцій і будь-якого з'єднання її елементів. Коротко назовемо його принципом розділення-з'єднання.

Суть полягає в наступному: кожен конструкцію машини або приладу можна розділити на довільну кількість елементів, причому різної форми, і сполучити їх в будь-якому реальному варіанті. Зрозуміло, що вказане розчленування і сполучення конструкції здійснюється спочатку на її відображенні (кресленні, ескізі), а в реальній конструкції втілюється результат різних розбивок, комбінацій, з'єднань. Слід відмітити, що в теорії, поряд із загальним принципом, можуть бути принципи меншого ступеня спільності. Вони конкретизують основний принцип.

Для теорії структури конструкцій ідея виражається наступним визначенням: можливою є апіорна кількісна оцінка структури конструкцій машин і приладів на технологічність, уніфікацію і за іншими показниками на основі виявлення особливостей структури конструкцій і створення кількісних критеріїв.

Існуючі методи оцінки конструкцій не дають задовільних результатів при використанні їх на етапі розробки. Наприклад, в [1] встановлено 13 основних і додаткових показників технологічності. Причому усі вони повинні визначатися відносно базового виробу чи базових показників [2]. Такий підхід знижує достовірність оцінки, оскільки вибір базового виробу здійснюється за досягнутим рівнем і тому конструкцію неможливо об'єктивно оцінити на стадії розробки через використання в показниках, що застосовуються, інформації стосовно трудомісткості та собівартості. Тобто апостеріорних величин, які

можуть бути отримані після закінчення конструювання, освоєння у виробництві, визначення об'ємів партії та розробки технології.

Для підвищення якості конструювання і зменшення термінів створення нових конструкцій потрібні об'єктивні кількісні критерії оцінки виробів на етапі розробки. Такі критерії можуть бути отримані шляхом формалізації, яка базується на внутрішніх властивостях виробу. Виключне використання в показниках значень трудомісткості та собівартості знижує достовірність оцінки через залежність їх від типу виробництва та рівня технології конкретного підприємства-виробника.

3. Мета за дачі дослідження

Мета дослідження – визначити кількісні критерії, які дозволять апріорно оцінити відповідні структури конструкцій заданим рівням технологічності, ремонтпридатності, уніфікації, автоматизації та ін. Це дозволить ще на етапі проектування виявляти закономірності та визначити шляхи оптимізації структури конструкцій, узгодивши їх з технологічним оснащенням, а також вводити перевірені поняття оцінки конструкцій за кількісними критеріями в стандарти.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

1. Довести теорію існування нескінченної множини конструкцій, які походять з певної, покладеної в основу конструктивного ряду.
2. Створити методику отримання такої множини конструкцій шляхом додавання окремих конструктивних елементів чи ознак, що відповідають певним властивостям.
3. Виявити закономірності та визначити шляхи оптимізації структури конструкцій, пов'язавши їх кодуванням і ланцюгом послідовних перетворень.
4. Показати доцільність впровадження представленої теорії.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Пошук закономірностей структури конструкцій машин та приладів раціонально здійснювати, використовуючи теорії множин, обрахування предикатів першого порядку, теорію груп [3–6]. Це дозволяє створити об'єктивні кількісні критерії за апріорною оцінкою технологічності складання, ремонтпридатності, уніфікації, функціональної насиченості конструкцій, сприяючи їх удосконаленню.

Формалізація конструкцій також потрібна для інтенсифікації процесу конструювання та підвищення якісних показників документації, що розробляється, шляхом розширення спектру конструкторських задач, які вирішуються САПР. Також доцільним є придатність даної формалізації для інтелектуального (ручного) конструювання.

В фундамент теорії покладено загальний принцип як основу для дедукції, як синтезуючий початок. Із загального принципу розвиваються усі поняття, закони та інші елементи теорії. Наприклад, в основу теорії діалектики покладено принцип розвитку. Після завершення теорії принципи розвиваються та удосконалюються [7].

Згідно з [8–13], в теорії необхідною умовою є наявність ідеї, з якої випливає ціль (цілі), перспектива в напрямку від дослідження до практичного застосування результатів. На думку авторів [3, 4, 7, 14–17] уся теорія потенційно полягає в поняттях (термінах), розглядаючи поняття, як абстракцію [18, 19], уявне відбиття загальних суттєвих ознак досліджуваного об'єкта, явища, наукового факту. При формулюванні понять прагнуть до того, щоб об'єкт, що визначається, не використовувався у своєму визначенні.

При побудові теорії слід мінімізувати її вихідні посилення, тобто прагнути до меншої кількості аксіом та основних понять [5]. Усі частини теорії повинні задовольняти нижче наведеним вимогам.

Згідно з аналізом літературних джерел [7, 14, 15, 20, 21], теоретичним виразом логічного завершення наукової теорії є формалізація, яка пов'язує структуру теорії: принципи, судження, поняття, аксіоми, теореми, наслідки, закони та інші елементи теорії. Основною метою формалізації є доповнення та уточнення знань. Однак, надлишкова формалізація збіднює теорію.

Побудова теорії на основі аксіоматичного методу забезпечує строгість побудови, обмежує від зайвого при визначенні істинності наукових тверджень [9, 22]. Аксіоматичний метод передбачає знаходження такої системи аксіом, за якої значимі в теорії положення виводились логічно з даних аксіом. Прийнята система аксіом повинна задовольняти вимогам несуперечності, повноти та незалежності [4, 15].

Окрім аксіом, вимогам несуперечності та повноти повинна задовольняти і сама змістовна теорія, при чому розрізняють формальну та семантичну несуперечності, які однаково пов'язані між собою. Формально несуперечливою є теорія, якщо не існує такої формули, яка є її теоремою, що заперечення даної формули також є теоремою даної теорії [19]. Семантично несуперечливою є теорія, якщо вона має модель. Про повноту теорії слід стверджувати, якщо в ній зазначена певна послідовність, або певна множина формул та вказана процедура, за допомогою якої можна довести усі вказані формули [21]. Для змістовної теорії зазначений підхід не суперечить теоремам К. Геделя про неповноту, оскільки з результатів його наукової роботи не випливає неможливість доведення несуперечності не фінітними засобами [19].

Аналіз вище зазначеного дозволяє, з метою відповідності системи аксіом та змістовної теорії наведеним вище вимогам, в подальшому науковому дослідженні використати для їх формалізації числення предикатів I-го порядку. Даний вибір є доцільним з наступних причин. Аксіоми числення предикатів першого порядку задовольняють вимоги несуперечливості, повноти та незалежності. Застосовуючи дані аксіоми (їх моделі) в змістовній теорії переводимо в прикладну теорію вказані властивості, тобто отримуємо несуперечливу, повну та незалежну систему аксіом. Змістовні теорії характерні тим, що до логічних аксіом додаються власні аксіоми, які враховують специфіку певної теорії. До власних аксіом вимоги загальної значимості не ставляться.

Таким чином, використовуючи формалізацію класичного числення предикатів для описання прикладної теорії, при збереженні відображення усіх аксіом та теорем числення в змістовну теорію її можна вважати

несуперечливою та повною, підсилюючи дане твердження посиланням на виконання вказаного висновку для алгебраїчних систем [18].

З цієї причини для подальших досліджень в напрямку створення теорії структури конструкцій слід використовувати особливості побудови алгебраїчних систем [10, 11]. Використанням вказаних математичних засобів можна буде:

- вирішувати задачі отримання кількісних критеріїв апріорної оцінки конструкцій машин та приладів;
- виводити правила конструювання;
- формалізувати уніфікацію конструкцій та поєднувати її з уніфікацією технологічного оснащення;
- складати формули деталей з оптимізацією виробів на їх основі та ін.

5. Методи дослідження

Формулюванням аксіом завершується побудова фундаменту аксіоматичної теорії. Наступний крок – доведення теорем. Хоча зміст теорії, що розглядається, складають не математичні, а технічні об'єкти. Підхід до тверджень про конструкції, як до теорем, створює умови для коректності викладення, оскільки теорема, будучи ланкою апарату дедукції, повинна бути доведена в межах певних правил.

Доведення теорем існування присутнє в багатьох теоріях. Може здатися, що в у змістовних теоріях їх доведення – виконання формальних вимог побудови теорії. Однак у математиці доведення теорем існування (наприклад, первісної, інтегралів і т.п.) є ефективним шляхом її розвитку [21]. Дане зауваження стосується й інших наук. «В задачах механіки та фізики теореми існування становлять великий інтерес, тому що за їх допомогою отримуємо раціональний спосіб перевірки адекватності теорії (яка зводить в деяку математичну схему факти та явища фізичного світу), який не залежить від міркування фізичної правдоподібності і не пов'язаний з проведенням експериментів. Нажаль, теореми існування – це найбільш складна частина теорії» [7, 20].

Для конструювання теорема існування конструкцій корисна за кількома причинами. По-перше, вона, всупереч інерції мислення, може усунути в середовищі конструкторів дискусії (і тим самим заощадити час) про можливість або неможливість будь-яких конкретних конструкцій, оскільки факт існування усіх конструкцій з реальними параметрами буде доведений цією теоремою. Крім того, з теореми існування конструкцій випливають корисні наслідки.

Якщо провести паралелі з математикою, доведення теореми існування конструкцій, навіть якщо теорема здається очевидною, необхідно з позиції дотримання внутрішньої логіки побудови теорії. Наприклад, відома теорема Жордана (плоска проста замкнута крива розбиває площину на дві пов'язані компоненти і є їх спільним кордоном) видається очевидною, але має суворий доказ, важливий для природного розвитку топології [19].

Теорема існування дещо змінює підхід до конструювання в сенсі його абстрактного подання. Стає доцільним ввести поняття «простір конструкцій». Під ним розуміємо ідеальний простір, в якому розташовані будь-які відомі та ще невідомі нам, однак, враховуючи зазначену ідеалізацію, не вилучені з простору конструкцій вироби, існування

яких передбачається в названому просторі. Внаслідок такого кроку, традиційне уявлення про конструювання в даному випадку можна замінити абстракцією «вилучення технічних об'єктів з простору конструкцій», що є зручним при формалізації викладення. Отже, мова буде йти не про достовірність існування конструкцій, бо цей факт доведений теоремою існування стосовно реальних конструкцій, а про те, яку конкретну конструкцію необхідно «вилучити» з простору конструкцій для досягнення заданих реальних параметрів і яким методом це зробити. В просторі конструкцій передбачено існування тільки реальних конструкцій, тобто таких, чії параметри не суперечать як окремо, так і в певних поєднаннях, фізичним законам.

Для виведення теореми існування конструкції застосуємо наступні аксіоми:

A1. Будь-яка конструкція повністю визначається своїми елементами та своєю структурою.

A2. Усі конструкції є адитивними композиціями. Формалізований запис:

$$\forall K(K_m = \langle K_1 + K_2 + \dots + K_n \rangle),$$

де K – яка-небудь конструкція; при додаванні індексу – конкретна конструкція; K_{im} – конструкція, яка є i -тим елементом конструкції K_m .

A3. В будь-якій конструкції виконується відношення порядку:

$$\forall K(\langle K_1 + K_2 + \dots + K_n \rangle = K_m \neq K_1 + K_2 + \dots + K_n + K_{n-1}).$$

Будемо розрізняти поняття строгого та нестрогого порядку в розумінні, прийнятому в математиці.

A4. Будь-яка конструкція є наслідком іншої конструкції (тобто має попередника, має аналог):

$$\forall K(K_a \Rightarrow (K_b \Rightarrow K_a)),$$

де K – загальна кількість конструкцій; K_a, K_b – будь-які конкретні конструкції. Дані позначення збережені для запису наступних аксіом.

A5. В конструкціях має місце відношення транзитивності:

$$(K_a \Rightarrow (K_b \Rightarrow K_c)) \Rightarrow ((K_a \Rightarrow K_b) \Rightarrow (K_a \Rightarrow K_c)),$$

де K_c – яка-небудь конкретна конструкція. Решта позначень наведено в аксіомі A4. Квантор загальності в записі даної аксіоми не використовується.

Твердження про наявність різних відношень в конструкціях приймається з врахуванням того, що вказано конкретні параметри для їх порівняння. Параметрами, що застосовуються до конструкцій, називаються задані характеристики виробу, які визначають виконувани ним функції. В апараті математичної логіки, застосованому в даному випадку, цей термін використано для назви змінних, які вільно застосовуються в формулах.

A6. Істинність імплікації конструкцій сприяє їх потраплянню в один клас за параметрами істинності:

$$K_a \Rightarrow (K_b \Rightarrow (K_a \wedge K_b)).$$

A7. Відповідність конструкцій передбачає використання будь-якої з них за параметрами відповідності:

$$((K_a \wedge K_b) \Rightarrow K_a) \vee ((K_a \wedge K_b) \Rightarrow K_b).$$

A8. Будь-яка конструкція може бути з'єднана з іншою конструкцією:

$$(K_a \Rightarrow (K_a \vee K_b)) \wedge (K_b \Rightarrow (K_a \vee K_b)).$$

В аксіомі A8 враховано судження, що умови для з'єднання завжди можна конструктивно забезпечити.

A9. Якщо яка-небудь конструкція впливає з інших конструкцій, причому з кожної окремо, то вона буде впливати і з логічної суми:

$$(K_a \Rightarrow K_c) \Rightarrow ((K_b \Rightarrow K_c) \Rightarrow ((K_a \vee K_b) \Rightarrow K_c)).$$

A10. Якщо конструкція виключається через невідповідність будь-якому параметру, то це є причиною виключити за тією ж причиною конструкцію, з якої вона отримана:

$$(K_a \Rightarrow K_b) \Rightarrow ((K_a \Rightarrow \neg K_b) \Rightarrow \neg K_a).$$

A11. Будь-яка конструкція може бути замінена:

$$K_a \Rightarrow (\neg K_a \Rightarrow K_b).$$

A12. Виключенням виключення конструкції є введення даної конструкції:

$$\neg \neg K_a \Rightarrow K_a.$$

Правила виведення взято з обрахування предикатів 1-го порядку, використовуючи переважно правило підстановки і модус поненс (схему включення) [18]. Вкладаючи в модус поненс (МП) семантику конструювання, МП можна описати наступним чином: з відомої прийнятої будь-якої конструкції K_a та істинності правила (або алгоритму) отримання нових конструкцій $K_a \Rightarrow K_b$ впливає нова прийнятна конструкція K_b .

У вигляді формального запису:

$$MII \frac{K_a (K_a \Rightarrow K_b)}{K_c} \quad (1)$$

Для виведення теореми існування конструкції доведемо наступну лему: усі класи конструкцій нескінченні «вшир» та «вглиб».

Термін «нескінченність вшир» визначає нескінченний ряд конструкцій будь-якого класу. Термін «нескінченність вглиб» визначає ряд або ряди (в тому числі нескінченні за протяжністю та кількістю), які можуть бути утворені з початком та/або продовженням між будь-якою зафіксованою парою розташованих поруч конструкцій. Побудова рядів показана нижче.

Для доведення використано метод індукції. Визначення доведення за індукцією досить повно описано у класичних працях з основ математики і теорії доказів [12, 13, 15]. Воно розкривається на прикладі натурального ряду чисел, а саме: припускаючи істинність певного висловлювання, наприклад, про цифру 1, робимо висновок, що коли воно істинне також для будь-якої цифри n , воно буде істинним і для цифри $n+1$. Отже висновок: дане висловлювання є істинним для будь-якої цифри натурального ряду. Виходячи з посилання про нескінченність безлічі конструкцій, слід уточнити, що доказ буде здійснюватися за трансфінітною індукцією [3]. В подальшому, в [3] операція породження цифр є приписуванням цифри 1 до попередньої цифри, і, враховуючи конкретність способу побудови, не може викликати у такому разі заперечень під час виведення за індукцією.

Використання зазначеного методу в конструкціях змушує максимально спростити процедуру породження конструкції шляхом зведення її, в можливій мірі, до додавання простих елементів. Крім того, для посилення доказу за індукцією значно збільшено кількість досліджуваних об'єктів та їх різновидів, враховано причинно-наслідкові зв'язки та інші фактори. Використання причинно-наслідкових зв'язків розглянуто на прикладі. Маємо 3 будь-які конструкції із зафіксованими однаковими властивостями. Якщо одна з них виявила нову властивість, можна з великою ймовірністю вважати, що ця властивість є в інших. Ймовірність тим вища, чим більше властивостей розглянуто. Зрозуміло, що це мають бути суттєві властивості.

Розглянемо будь-який клас конструкцій. Ґрунтуючись на [3], класом конструкції будемо називати будь-який їх різновид, який має загальну ознаку (ознаки), яка попарно не перетинається з конструкціями, у яких дана ознака відсутня. Конструкції, віднесені до одного класу, в загальному випадку, мають відмінності між собою, але еквівалентні за ознаками розбиття на класи.

Для конкретизації доведення використаємо клас реальних конструкцій, наприклад, фіксатори перемикачів обертального типу з пружною фіксацією, що застосовуються у вимірювальних приладах. Розглянемо конструкції, які є винаходами. Розташуємо їх в ряд за датами реєстрації заявок на винахід (авторські свідоцтва) або за датами опублікування (інші джерела). Позначимо конструкцію [23] – K_I , конструкцію [24] – K_n , конструкцію [25] – K_{n+1} .

Перша частина доведення. Конструкція K_1 є найбільш давньою у даному класі і з неї можна почати ряд. Суттєвою властивістю, яка враховується на початку, є надійність роботи фіксатора. Дійсність висловлювання про фіксатори полягає в тому, що якщо фіксатор містить пластинчасту пружину, яка з'єднана зі стержнем ручки перемикача, елементи фіксації в ній та поглиблення під ці елементи в корпусі приладу, то фіксатор буде забезпечувати відповідний рівень надійності. Рівень надійності визначено максимальною кількістю перемикачів, які може гарантовано забезпечити фіксатор. Зрозуміло, що при порівнянні повинні виконуватись однакові умови: габаритні та інші розміри, властивості матеріалів, режими випробувань та ін. В даному випадку неможливо детально розглядати елементи конструкцій при переході від однієї конструкції до іншої, проте, при формалізації конструкцій, даному питанню приділяється увага. Фіксатори розглянутого класу, які розроблені після K_1 , мають той же рівень надійності, але відрізняються конструктивними елементами, враховуючи різні варіанти їх використання у виробках. Високі вимоги до надійності зумовили необхідність створення фіксатора [24], позначеного n_n , у якого, з метою виключення випадків перекошу пружини та випадання елементів фіксації, отвори в пружині під елементи фіксації розташовані на осі симетрії, перпендикулярній широким сторонам плоского стержня ручки перемикача. Поява конструкції K_{n+1} пов'язана з необхідністю подальшого підвищення надійності фіксаторів шляхом запобігання пошкоджень захисного покриття металевого стержня ручки під час затискання на ньому плоскої пружини.

В процесі освоєння виробництва конструкції виявилось, що для підвищення продуктивності праці на складальних операціях доцільно внести в конструкцію фіксатора істотні зміни. Нова конструкція K_{n+2} була також визнана винаходом [26]. В подальшому, питання про використання під час збирання роботів змінило конструкцію K_{n+2} відповідно до нових вимог працездатності, в результаті чого з'явився новий фіксатор K_{n+3} (рис. 1).

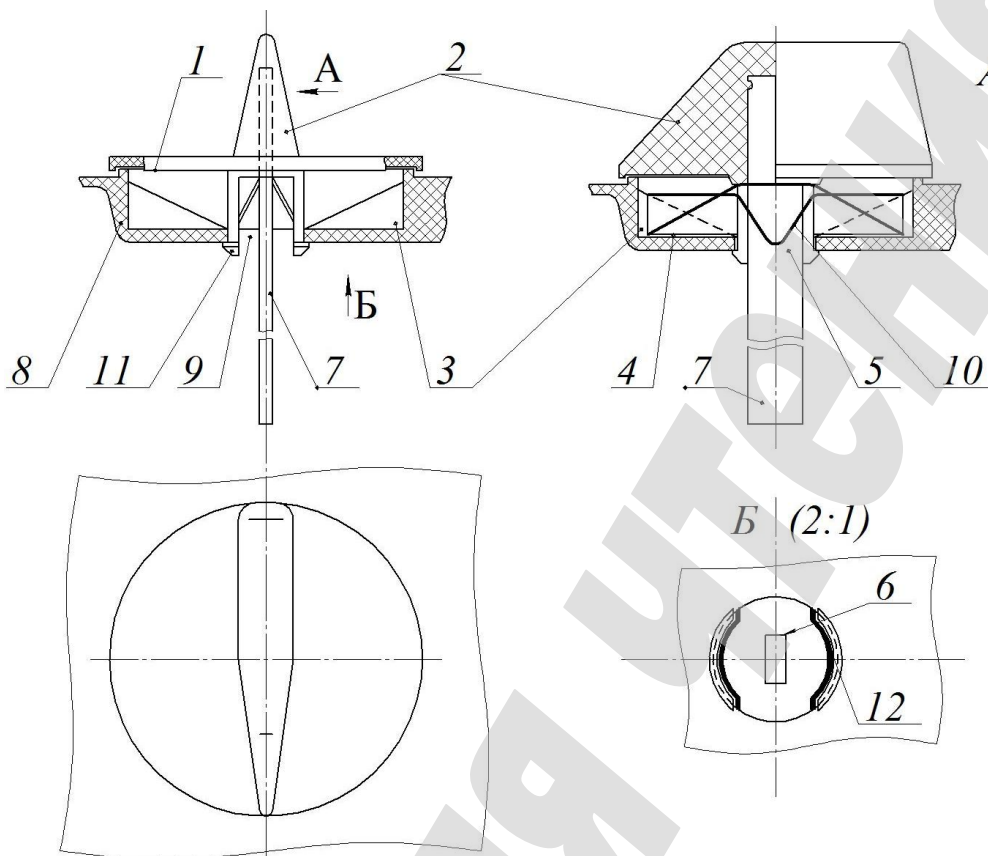


Рис. 1. Фіксатор K_{n+3}

Розглянемо коротко конструкцію K_{n+3} . Фіксатор має: корпус 1 з отвором під поворотну ручку 2 та з поглибленням 3 під елементи фіксації 4; пластинчасту пружину 5 з елементами фіксації 4 та отвором 6 для плоского стержня 7 поворотної ручки 2. Ручка 2 має, крім стержня 7, цапфу 8. В цапфі 8 знаходиться паз 9, паралельний широким сторонам стержня 7. Паз 9 розташований таким чином, щоб його поздовжня площина симетрії поєднувалася з поздовжньою площиною симетрії стержня 7, при чому з тією площиною стержня 7, яка паралельна його широким сторонам. З цією ж площиною симетрії стержня 7 співпадає поздовжня площина симетрії пружини 5. Елементи фіксації 4 пружини 5 мають форму консолей, вони знаходяться у заглибленнях 3, забезпечуючи тим самим фіксацію ручки 2 відносно корпуса 1. Плоский стержень 7 ручки 2 призначений для з'єднання з одним або кількома перемикачами. Відповідно, фіксація ручки 2 відповідає заданим положенням перемикачів. Елементи взаємодії пружини 5 з рукою 2 розташовані в пазу 9. В дані елементи входить отвір 6 і бокові фігурні симетричні пружні виступи 10 пружини 5. З торця цапфи 8 розташовано конічний ободок 11 з конусністю в бік вільного кінця стержня 7. Для покращення умов пружності половинок цапфи 8, утворених пазом 9, в них виготовлено поздовжні поглиблення 12. Довжина пружини 5 менша за діаметр ручки 2.

Особливості складання фіксатора K_{n+3} :

– спочатку на стержень 7 одягається пружина 5 через отвори 6 до розташування її в пазу 9. Причому виступи 10 упираються в бокові стінки паза

9, намагаючись розсунути їх, і, заклинюючись, перешкоджають вилученню пружини 5 із паза 9;

– надалі ручка 2 з пружиною 5, як єдине ціле, вставляються в корпус 1 з боку заглиблень 3 та, завдяки конічному ободу 11, застібаються на корпус 1;

– при встановленні обидві частини цапфи 8 вигинаються, потім, внаслідок дії сил пружності, займають початкове положення;

– крім того, виступи 10 розсовують половинки цапфи 8, забезпечуючи цим надійне закріплення ручки 2 в корпусі 1.

Фіксатор K_{n+3} працює наступним чином: перемикання здійснюється шляхом повороту ручки 2, на стержні 7 якої розташовані ротори перемикачів. Після повороту ручки 2 в задане положення, елементи 4 під впливом сил пружності пружини 5 входять в відповідне заглиблення 3 корпуса 1, здійснюючи фіксацію ручки 2 та роторів перемикачів в необхідному комутаційному положенні. Корпус 1 може бути окремим або поєднаним з корпусом приладу.

Таким чином, по мірі виникнення нових вимог створюються (або витягуються із простору конструкції) нові конструкції, відповідно новим вимогам. Такий процес є нескінченним, особливо якщо враховувати, що істотним змінам можуть підлягати всі вузли, деталі та їх елементи за будь-якою координатою, в будь-яких комбінаціях. Цим твердженням завершується доказ про нескінченність конструкцій «вшир», оскільки побудувати аналогічний ряд можна із будь-яких інших конструкцій.

Друга частина доведення. Після випуску на протязі декількох років приладів з фіксатором K_n нові вимоги зумовили появу конструкції K_{n+1} , яка продовжує ряд фіксаторів. Однак, виникла необхідність підвищити технологічність та довговічність вузла, в який входить фіксатор. Ці вимоги відносились до передньої панелі корпуса приладу. На ній розташовані ручка, пружина та інші елементи фіксатора. Оскільки ручка з плоским стержнем, пластинчата пружина та елементи фіксації були взяті без змін із K_n , то конструкція повинна слідувати за K_n . Однак, за K_n в ряду вже знаходиться K_{n+1} . Отже, нова конструкція повинна вийти з проміжку між K_n та K_{n+1} , додаючи ряду новий вимір, нібито «поглиблюючи» його. Позначимо цю конструкцію як $K_{n(n+1)}$. Вона описана в [27]. Потім між конструкціями K_n , $K_{n(n+1)}$ та K_{n+1} можна утворити нові конструкції відповідно $K_{n(n(n+1))}$ та $K_{n(n(n+1),(n+1))}$ і т. д.

Розглянемо конструкції, що суттєво відрізняються від попередніх, наприклад, машини для очищення зерна [28, 29]. Позначимо [28] – M_1 , [29] – M_2 . На даному етапі доведення обмежимося коротким фрагментом ряду, вважаючи, що висновки, внаслідок повторюваних ситуацій, поширюються на весь ряд. Машина характерна тим, що з метою кращого очищення отворів барабану, вона має додатковий ротор з декількох дисків, які скріплені вертикальними стійками, встановленими концентрично основному ротору, а циліндричні очисники закріплені на стійках додаткового ротору. В машині M_2 , з метою подальшого підвищення ступеня очищення решітного барабану, очисники мають дискові та щетинисті щітки, встановлені діаметрально протилежно відносно решітного барабану. Крім того, для переміщення

зернового шару зверху до низу решітний барабан здійснює, разом з обертальним рухом, осьовий коливальний рух. Недоліком машини M_1 , і більшою мірою машини M_2 , є підвищене зношення очисників та решіток внаслідок того, що очисники, маючи фрикційне зчеплення з решітним барабаном, не здійснюють коливальний рух уздовж осі обертання разом з барабаном. Це є причиною інтенсивного руйнівного тертя між очисниками та барабаном, негативні результати якого збільшують природну наявність великої кількості отворів в решітках. Для усунення вказаного недоліку була запропонована нова конструкція. Позначимо її $M_{1;2}$. Хоча створення $M_{1;2}$ має мету, відмінну від мети M_1 та M_2 , основні її конструктивні елементи були взяті як з M_1 так і з M_2 , тому нею вже неможливо продовжити ряд, вона має вийти із M_1 та M_2 , даючи початок новому ряду.

Такі кроки можливі для будь-якої пари конструкцій, які є сусідніми у ряді. Даний процес нескінченний і за конструкціями в ряді, і за числом рядів. Подальший розгляд конструкцій інших класів буде зайвим. Лема доведена.

Формалізований запис леми:

$$\forall K(K_1, \dots, K_n) \leftarrow K_{1, \dots, K_n, K_{n+1}, K_{n+2}, \dots, K_\infty} \dots \leftarrow K_{n, (n, (n+1))} K_{n, (n+1) K_{n, (n+1), (n+1)}} \rightarrow \quad (2)$$

Позначення конструкцій надані в доведенні. Слід додати, що літера K без індексу є загальним позначенням конструкцій довільного класу. При приєднанні її до квантору загальності слід читати: «Для всіх конструкцій». K_∞ означає будь-яку конструкцію при нескінченному розширенні ряду.

Наслідок 1. Всі класи конструкцій є незліченними множинами.

Візьмемо будь-який ряд конструкцій, наприклад, вже згадані приладні фіксатори, та поставимо їм у взаємно-однозначну відповідність натуральному ряду чисел, пронумерувавши кожну конструкцію в послідовності натурального ряду. Однак, як вказано в доведенні леми, між будь-якими двома конструкціями завжди може бути отримана нова конструкція. Відповідно, множина конструкцій є незліченною згідно [3].

Наслідок 2. Конструкції утворюють множину потужності континуума.

В даному випадку використано спосіб, наведений у доведенні наслідку 1. Отримуючи нові конструкції та ставлячи їх у відповідність раціональним та ірраціональним числам переходимо до позначення конструкцій дійсними числами. Відомо, що дійсні числа безперервні в своїй множині і потужність їх множини дорівнює потужності континуума. Відповідно, конструкції утворюють множину потужності континуума.

Зауважимо, що поняття «потужність» в теоретично-множинному сенсі є аналогом поняття «кількість» при застосуванні до нескінченних множин.

6. Результати дослідження

Наслідками 1 та 2 не вичерпується список наслідків теореми існування, які мають прикладне значення [30]. Їх можна доповнити результатами з оптимізації

форми деталей та іншими. Крім того, є наслідки, які викликають теоретичний інтерес. Наприклад, наслідок про те, що будь-яка множина конструкцій має злічену підмножину, що множина конструкцій є відкритою, про співвідношення потужностей множин та підмножин конструкцій та ін. Однак велика кількість наслідків не повинна заслонити важливе питання: чи є теорема існування конструкцій загально-значимою?

Відомо, що формула загально-значима, якщо вона тотожно істинна. Кожна загально-значима формула виражає певний закон [14]. З метою уточнення загальної значимості теореми існування конструкцій, в тому числі шляхом аналогії, зупинимось на якому-небудь перевіреному і достатньо відомому науковому факті, який розкриває закон. Розглянемо, для прикладу, перший закон Ньютона (закон інерції), згідно з яким при відсутності впливу зовнішніх сил, або при їх взаємній зрівноваженості матеріальне тіло зберігає стан спокою або рухається рівномірно відносно інерційної системи відліку. Формальний запис даного закону може бути наступним:

$$\forall T(J \Rightarrow (v \vee \bar{v})) \quad (3)$$

де T – будь-яке матеріальне тіло, яке розглядається як матеріальна точка; J – інерція; v – швидкість тіла T , яка через інерційність прийнятої системи відліку може бути або рівною нулю, або мати прямолінійний напрямок та постійне значення. Рівність швидкості нулю позначено в формулі одним з символів заперечення – лінія над буквою.

В формулі (3) диз'юнкція має розділовий сенс, тобто стверджується лише одне з двох виказувань. Отже, формула буде виконуватися, якщо тіло знаходиться або у стані спокою, або рівномірно та прямолінійно рухається. Отже, вона семантично істинна в зазначених реальних випадках прояву розглянутої властивості у встановленому об'ємі формули. Іншими словами, якщо інтерпретація фіксована і формула завжди виконується в зазначеній інтерпретації, то формула змістовно істинна. Крім того, формула (3) тотожно істинна синтаксично, за своєю формально логічною побудовою. Отже, виходячи з загальної значимості розглянутої формули та її семантичної істинності, є підстава стверджувати, що вона виражає закон.

Якщо перенести цей же підхід з вище зазначеного закону на теорему існування конструкцій, прослідкуємо аналогію. І для теореми існування і для наслідків 1 та 2 їх формальний запис є тотожно істинними формулами. Надалі, формули теореми існування і її наслідків семантично виконуються у всіх реальних випадках. Для більшої правдоподібності приведемо формулу теореми існування до наступного вигляду:

$$\exists K_x((K_1 \vee K_2 \vee \dots \vee K_n) \Rightarrow (p_1 \vee p_2 \vee \dots \vee p_n \vee \bar{p}_1 \vee \bar{p}_2 \vee \dots \vee \bar{p}_n)). \quad (4)$$

В даній формулі синтаксично більш ясною є її тотожна істинність.

Зберігаючи попередні позначення, формулу (4) можна прочитати наступним чином: існують конструкції, які задовольняють будь-яким фізичним

параметрам. Така теорія неминуче стикається з математичною ідеалізацією викладання. Повертаючись до абстракції простору конструкцій, логічно слід розраховувати на ефективність реальної ситуації, відповідно до якої нові вимоги лише виникають, а конструкції, які їм відповідають, вже існують в просторі конструкцій. Такий підхід формально зводить конструювання до методів вилучення обрисів необхідних вузлів та деталей з простору конструкцій. Обрисами конструкції є будь-яке її відображення, яке дозволяє перейти до матеріалізованого виробу, іншими словами, описова або фізична модель. Описовою моделлю є, зокрема, графічне відображення (креслення) і математичне моделювання.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Серед сильних сторін даного дослідження слід зазначити доведення теореми про існування конструкцій. Отримані результати з розвитку теорії запису конструкцій та виконанню формалізованих операцій з їх створення удосконалюють інтелектуальний конструкторський процес та сприяють розширенню використання САПР. Зокрема, спрощення логіко-математичного запису конструкцій є важливим компонентом їх оптимізації. Результатом запропонованої оптимізації є підвищення продуктивності інженерно-конструкторських робіт, зниження їх собівартості. Упорядкування проєктованих конструкцій за класами та рядами дозволяє спростити процес науково-технічного відбору конструкцій, які найкраще задовольняють висунутим до них вимогам. Система виключення цілого ряду конструкцій за певною спільною ознакою, що не задовольняє умовам пошуку, підвищує продуктивність процесу створення нових конструкцій в разі і добре піддається процесу автоматизації.

Weaknesses. Слабкі сторони дослідження пов'язані з достатньо високим впливом евристичної компоненти на процес наукового та інженерного пошуку. Повна формалізація цього процесу може призвести до зупинки розвитку науково-технічної думки. Існує ризик зведення процесу конструювання до відтворення нескінченного ряду подібних конструкцій, що відрізняються певними характеристиками, але лежать в межах одного конструктивного ряду.

Для запобігання негативного впливу запропонованої теорії на швидкість технічного прогресу слід чітко обмежити поле її використання. Дану теорію доцільно використовувати для оптимізації конструкції цілих виробів чи окремих їх компонентів, автоматизації процесу пошуку найкращого прототипу для удосконалення за сукупністю ознак.

Opportunities. З іншого боку, постійний розвиток технологій дозволяє створювати принципово нові конструкції з певним набором ознак. Таким чином, навіть концепт нового виробу може покласти початок ряду чи навіть класу конструкцій, розвиток якого може бути систематизований за представленою теорією. Тому що саме в момент виникнення ідеї принципово нової конструкції виникає необмежений за чисельністю ряд конструкцій, які від неї походять.

Перспективи подальших досліджень в даному випадку мають бути зорієнтовані на процес автоматизації створення конструктивного ряду на базі інноваційної концептуальної конструкції. Крім того, важливі проведення досліджень алгоритмізації процесу встановлення критеріїв істотності та кодування змін у виробі. Це дозволить створити електронну базу неіснуючих фізично конструкцій, які ще до етапу проектування можна аналізувати на відповідність поставленим задачам або звузити коло пошуку при проектуванні, відсікаючи ряди, що не підходять.

Потенційна прибутковість впровадження такої технології ілюструється витратами часу на проектування. Конструкція середньої складності, яка має прототип, проектується протягом 1–2 місяців. Конструкція, що немає прототипів, готується до впровадження від 6 місяців і вище. Впровадження запропонованої теорії в життя може скоротити тривалість проектування в рази, що знизить собівартість робіт з проектування в середньому на 20–30 % мінімум.

Threats. Основною «загрозою» для результатів даного дослідження є складність у впровадженні результатів дослідження в конкретний продукт. Крім надзвичайної наукомісткості і високих інтелектуальних затрат цілої групи спеціалістів з різних галузей знань, необхідні відповідні капітальні вкладення. Відсутність гарантованого швидкого і високого результату є стримуючим фактором для потенційних інвесторів.

Іншим ризиком є широкий і стрімко зростаючий ринок систем автоматизованого проектування від світових лідерів програмного забезпечення. І хоча аналоги потенційного програмного продукту, створеного на основі результатів дослідження, не існують у відкритому доступі, не є фактом відсутність схожих алгоритмів на стадії розробок і досліджень, особливо в галузі створення штучного інтелекту.

8. Висновки

1. Доведено теорему існування конструкцій, для чого встановлено, що множина конструкцій нескінченна. Таким чином, в деякому абстрактному просторі всі конструкції, що походять з певного класу чи ряду деталей, вже існують. Таким чином, процес проектування зводиться до виділення з нескінченної множини саме тих конструкцій, які задовольняють вимогам інженерного пошуку і порівняння їх за певними критеріями, наприклад, собівартістю чи матеріалоємністю.

Висока загальна значимість теореми існування конструкцій дозволяє вважати її законом. При чому отримана формула закону існування конструкцій та формалізований запис доведеної леми дійсні для будь-яких множин конструкцій.

2. Запропоновано методикау отримання нескінченної множини конструкцій шляхом додавання окремих конструктивних елементів чи ознак, що відповідають певним властивостям. Показано, що існують конструкції, які задовольняють будь-яким фізично реальним параметрам і вимогам, їх реальним комбінаціям, при цьому конструкції є первинним компонентом. Такі твердження мають силу і значущість законів, навіть якщо деякі з них здаються очевидними, дозволяють отримати

продуману коректну теорію структури конструкцій машин та приладів як змістовну інтерпретацію, модель логічних обрахунків.

3. Виявлено закономірності в класах та рядах множини конструкцій, що визначають їх властивості. Запропоновано шляхи оптимізації та підвищення продуктивності процесу конструювання шляхом встановлення зв'язку між ознаками конструкцій та їх кодуванням згідно ланцюга послідовних перетворень. Кодування конструкцій за місцем в ланцюгу перетворень відкриває широкі перспективи автоматизації процесу конструювання.

4. Встановлено, що отримані результати з розвитку теорії запису конструкцій та виконанню формалізованих операцій з їх створення удосконалюють інтелектуальний конструкторський процес та сприяють розширенню використання САПР. Зокрема, спрощення логіко-математичного запису конструкцій є компонентом їх оптимізації, за рахунок чого на 20–30 % знижуються витрати часу та собівартість проектування нових конструкцій.

Література

1. DSTU ISO 9001-95. Systemy yakosti. Model zabezpechennia yakosti v protsesi proektuvannia, rozroblennia, montazhu ta obsluhovuvannia [Text]. – Introduced from July 01, 1996. – Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 1996. – 30 p.

2. DSTU 3974-2000. Systemy rozroblennia ta postavlennia produktsii na vyrobnytstvo. Pravyla vykonannia doslidno-konstruktorskykh robit [Text]. – Introduced from November 27, 2000. – Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2000. – 38 p.

3. Aleksandrov, P. S. Vvedenie v teoriuu mnozhestv i obshchuiu topologiiu [Text] / P. S. Aleksandrov. – Moscow: Nauka, 1977. – 368 p.

4. Kolmogorov, A. N. Elementy teorii funktsii i funktsional'nogo analiza [Text] / A. N. Kolmogorov, S. V. Fomin. – Moscow: Nauka, 1976. – 544 p.

5. Lavrov, I. Problems in Set Theory, Mathematical Logic and the Theory of Algorithms [Text] / I. Lavrov, L. Maksimova; ed. by G. Corsi. – Springer US, 2003. – 282 p. doi:[10.1007/978-1-4615-0185-5](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0185-5)

6. Sigorskii, V. P. Matematicheskii apparat inzhenera [Text] / V. P. Sigorskii. – Kyiv: Tehnika, 1975. – 768 p.

7. Andreev, I. D. Teoriia kak forma organizatsii nauchnogo znaniia [Text] / P. S. Aleksandrov. – Moscow: Nauka, 1979. – 303 p.

8. Cattaneo, M. E. G. V. The likelihood interpretation as the foundation of fuzzy set theory [Text] / M. E. G. V. Cattaneo // International Journal of Approximate Reasoning. – 2017. – Vol. 90. – P. 333–340. doi:[10.1016/j.ijar.2017.08.006](https://doi.org/10.1016/j.ijar.2017.08.006)

9. Leigh, J. R. Neural networks, fuzzy logic, genetic algorithms, learning systems intelligent systems [Text] / J. R. Leigh // Control Theory. – IET, 2004. – P. 225–248. doi:[10.1049/pbce064e_ch17](https://doi.org/10.1049/pbce064e_ch17)

10. Maciejewski, A. J. On algebraic construction of certain integrable and super-integrable systems [Text] / A. J. Maciejewski, M. Przybylska, A. V. Tsiganov // Physica D: Nonlinear Phenomena. – 2011. – Vol. 240, No. 18. – P. 1426–1448. doi:[10.1016/j.physd.2011.05.020](https://doi.org/10.1016/j.physd.2011.05.020)

11. Kuru, S. The Perlick system type I: From the algebra of symmetries to the geometry of the trajectories [Text] / S. Kuru, J. Negro, O. Ragnisco // *Physics Letters A*. – 2017. – Vol. 381, No. 39. – P. 3355–3363. doi:[10.1016/j.physleta.2017.08.042](https://doi.org/10.1016/j.physleta.2017.08.042)
12. Stratulat S. Mechanically certifying formula-based Noetherian induction reasoning [Text] / S. Stratulat // *Journal of Symbolic Computation*. – 2017. – Vol. 80. – P. 209–249. doi:[10.1016/j.jsc.2016.07.014](https://doi.org/10.1016/j.jsc.2016.07.014)
13. Kaufman, A. Geometrical Factor Theory of Induction Logging [Text] / A. Kaufman, G. Itskovich // *Basic Principles of Induction Logging*. – Elsevier, 2017. – P. 173–226. doi:[10.1016/b978-0-12-802583-3.00006-x](https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802583-3.00006-x)
14. Silver, J. H. Some applications of model theory in set theory [Text] / J. H. Silver // *Annals of Mathematical Logic*. – 1971. – Vol. 3, No. 1. – P. 45–110. doi:[10.1016/0003-4843\(71\)90010-6](https://doi.org/10.1016/0003-4843(71)90010-6)
15. Hilbert, D. *Grundlagen der Mathematik I (Grundlehren der mathematischen Wissenschaften) (German Edition)* [Text] / D. Hilbert, P. Bernays. – Ed. 2. – Springer, 1968. – 480 p.
16. Engstrom, F. Dependence Logic with Generalized Quantifiers: Axiomatizations [Text] / F. Engstrom, J. Kontinen, J. Vaananen // *Lecture Notes in Computer Science*. – 2013. – P. 138–152. doi:[10.1007/978-3-642-39992-3_14](https://doi.org/10.1007/978-3-642-39992-3_14)
17. Perez-Gellego, P. Using ensembles for problems with characterizable changes in data distribution: A case study on quantification [Text] / P. Perez-Gellego, J. R. Quevedo, J. J. del Coz // *Information Fusion*. – 2017. – Vol. 34. – P. 87–100. doi:[10.1016/j.inffus.2016.07.001](https://doi.org/10.1016/j.inffus.2016.07.001)
18. Kuznetsov, O. P. *Diskretnaia matematika dlia inzhenera* [Text] / O. P. Kuznetsov, G. M. Adelson-Velskii. – Moscow: Energiia, 1980. – 344 p.
19. Vinogradov, I. M. *Matematicheskaia entsiklopediia* [Text] / ed. by I. M. Vinogradov. – Moscow: Sovetskaia Entsiklopediia. 1979. – Vol. 2. – 1104 p.
20. Fichera, G. *Existence Theorems in Elasticity* [Text] / G. Fichera // *Linear Theories of Elasticity and Thermoelasticity*. – Berlin, Heidelberg: Springer, 1973. – P. 347–389. doi:[10.1007/978-3-662-39776-3_3](https://doi.org/10.1007/978-3-662-39776-3_3)
21. Freiman, L. S. *Teoremy sushchestvovaniia* [Text] / L. S. Freiman. – Moscow: Nauka, 1971. – 135 p.
22. Chapra, S. *Numerical Methods for Engineers* [Text] / S. Chapra, R. Canale. – Ed. 7. – New York: McGraw-Hill Education, 2014. – 992 p.
23. *Elektricheskii mnogopridel'nyi pribor* [Text]: Patent of Austria 212427. – 1960.
24. *Fiksator perekliuchatelia mnogopredel'nogo elektroizmeritel'nogo pribora* [Text]: A. s. 646259 (USSR) / Grinberg I. P., Los L. V. – 1979. – Bull. No. 5.
25. *Fiksator perekliuchatelia* [Text]: A. s. 879578 (USSR) / Demchenko A. M., Grinberg I. P., Los L. V. – 1981. – Bull. No. 41.
26. *Fiksator perekliuchatelia* [Text]: A. s. 1126941 (USSR) / Demchenko A. M., Grinberg I. P., Los L. V. – 1984. – Bull. No. 44.
27. *Kommutatsionnoe ustroistvo mnogopredel'nogo elektroizmeritel'nogo pribora* [Text]: A. s. 987533 (USSR) / Grinberg I. P., Los L. V., Galitskii R. M., Bezusyi M. I. – 1983. – Bull. No. 1.

28. Vibrotsentrobezhnaiia zernoochistitel'naia mashina [Text]: A. s. 485784 (USSR) / Goncharov E. S., Prilutskii A. N., Voloshin N. I. – 1975. – Bull. No. 36.

29. Zernoochistitel'naia mashina [Text]: A. s. 976539 (USSR) / Goncharov E. S. – 1978.

30. Liu, Y. Materials discovery and design using machine learning [Text] / Y. Liu, T. Zhao, W. Ju, S. Shi // Journal of Materiomics. – 2017. – Vol. 3, No. 3. – P. 159–177. doi:[10.1016/j.jmat.2017.08.002](https://doi.org/10.1016/j.jmat.2017.08.002)

ТОЛЬКО ДЛЯ ЧТЕНИЯ