

П.П. Мельничук, к.т.н., доц.

Є.В. Скочко, к.т.н., проф.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ: ПРОБЛЕМИ ТА РІШЕННЯ

Розглянуті можливі наукові підходи при удосконаленні конструкцій і технологій в машинобудуванні.

Сучасний стан промислового виробництва призводить до необхідності розробки нових ефективних методів пошуку найкращих конструкцій та технологій, незмінних на певний період розвитку, та автоматизованих систем оптимального керування ними.

Завдяки розробці методології наукових досліджень на сьогоднішній день вдається вирішувати багато складних задач матеріального виробництва [1]:

- задачі оптимізації плану випуску продукції;
- задачі прогнозування розвитку;
- задачі оптимізації форм організації виробництва в галузі;
- задачі оптимального розподілу лімітованих ресурсів;
- задачі оптимального складання сумішей і сполук;
- задачі з раціонального розкрою матеріалів;
- транспортні задачі;
- задачі оптимізації деяких технологічних процесів тощо.

Але тільки в машинобудуванні залишилась велика кількість задач, пов'язаних з оптимізацією конструкцій – машин, механізмів, верстатів та інструментів – та з технологіями їх виготовлення. Тому пошук нових наукових підходів для вирішення подібних задач є найважливішою сьогочасною проблемою.

Більшість сучасних механізмів та машин нараховують у своєму складі від сотень до десятків тисяч деталей і контактів між ними, а частина з деталей при виготовленні має десятки технологічних операцій. Кількість перетворюваних видів енергії, рухів та силових чинників, які мають місце і діють при функціонуванні цих машин, сягає десятків, сотень, а то й тисяч, серед яких лише незначна є бажаної якості (тобто очікуваною). Значна кількість динамічних неврівноважених схем кінематичних ланцюгів механізмів і машин, деформованість деталей і стиків між ними, наявність завищених початкових зазорів та суттєве їх збільшення з часом експлуатації, теплоутворення та некерованого зношування деталей, разом з іншими супровідними процесами, призводять до значного ускладнення реальних процесів їх функціонування. Це створення миттєвих змін швидкостей відносного руху та тисків в контактах, виникнення та підсилення нелінійних взаємодій між ними у вигляді різного виду механічних коливань, поздовжніх, поперечних крутильних хвиль деформацій, розвитку всього спектру динамічних змін у взаємному переході окремих видів тертя, зносу тощо.

Для позитивних зворотних зв'язків, які існують при функціонуванні реальних механізмів, особливо пов'язаних з нелінійними ефектами, призводить до виникнення та розвитку динамічних процесів в механізмах. Вказані функціональні особливості ще більш вагомі в таких механізмах як металорізальні верстати, призначених для обробки деталей машин, внаслідок значних початкових нестабільностей навантажень (коливань величин припусків на обробку, твердості тощо), високих концентрацій напружень, експлуатації динамічно неврівноважених схем обробки тощо [2].

При вирішенні задач удосконалення технологічних процесів або процесів функціонування машин, металорізальних верстатів, інструментів і різноманітних механізмів шляхом поліпшення набору складових та їх параметрів, або різних задач організації виробництва, транспортних задач тощо, суттєву позитивну роль звичайно відіграють різні види їх моделювання, котрі дозволяють досягти прискорення поставленої мети із забезпеченням певної економії коштів. Модель є представленням об'єкта, системи або поняття (ідеї) в деякій, найчастіше спрощеній формі, відмінній від форми їх реального існування. Модель звичайно служить засобом, який допомагає нам у поясненні, розумінні або удосконаленні будь-якого об'єкта. Така модель може бути або масштабною копією об'єкта, або відобразити деякі характерні властивості цього об'єкта в абстрактній формі. Модель – це інструмент для проектування та порівняння, який дозволяє логічним шляхом спрогнозувати наслідок альтернативних дій або вибрати за моделлю найкраще технічне рішення. Побудована модель дає в руки різних фахівців та керівників метод, який підвищує ефективність їх суджень та інтуїції.

Здавна при дослідженнях використовуються мислені або інтуїтивні моделі, фізичні та математичні моделі [3, 4].

Метою інтуїтивного моделювання є мислений експеримент, який дозволяє фахівцю за натурним видом (кресленням, патентом, описом тощо) будь-якого обладнання зробити висновок щодо його відповід-

ности певним вимогам або вибрати з декількох конструкцій найдосконалішу. Аналогічно, для керівника – прийняти найкраще, з низки можливих рішення на виробництві.

Логіка та інтуїція – основні складові творчого процесу при мисленому моделюванні.

Згідно з енциклопедичним визначенням, інтуїція – це відображення дійсності в свідомості людини, при якій має місце підсвідомий характер процесів мислення – сприйняття, порівняння, аналізу і створення висновку, побудованому на догадці, без усвідомлення ходу цього процесу з фіксацією лише результату мислення.

Інтуїція – це явище і специфічний процес мислення, обумовлені значною попередньою пізнавальною діяльністю, тривалими творчими пошуками та набутих багатством соціального досвіду певної людини. Ця властивість кожної людини дуже індивідуальна, залежить від кількості набутих знань та досвіду і значною мірою визначається способами їх набуття (з критичним відношенням, проникненням у суть явищ зі специфічними порівняльним аналізом чи безпосереднім механічним запам'ятовуванням). Рельєфним проявом появи швидкого неочікуваного рішення по закладеній фахівцем в мозок проблеми є *insight* – раптове освянення – специфічний акт творчості.

Інтуїтивне моделювання дуже розповсюджене і підсвідомо використовується в роботі, у повсякденному житті, на кожному кроці будь-якої людини. Хоча точність такого моделювання не завжди висока і призводить іноді не до найкращих, а навіть до помилкових рішень, що пояснюється дуже складним набором чинників (рівнем знань, досвідом та аналітичними можливостями фахівця, повнотою, представленням та доступністю інформації, обмеженням в часі при прийнятті рішень тощо), швидкість такого моделювання велика, а вартість незначна. Підвищити точність та надійність рішень можна за рахунок дублювання інтуїтивного моделювання декількома фахівцями та шляхом створення підвищеної творчої атмосфери (музика, запахи, ходьба, рухи, відволікання уваги, перехід в думках на іншу тему тощо).

Фізична модель – це реальна конструкція з однаковою з досліджуванним об'єктом будовою (відрізняється, наприклад, більш дешевими матеріалами) чи з подібною будовою (більш спрощеною). Вона може бути з однаковими чи збільшеними розмірами (модель атома), або зменшеними розмірами (модель літака в аеродинамічній трубі). Фізична модель може мати однаковий або подібний принцип дії, чи фізичну природу (наприклад, гідравлічний удар в трубах моделюється електричним розрядом). Ця модель може мати однакове чи подібне робоче оточуюче середовище (наприклад, на збільшених моделях токарного прохідного різця зрізувану стружку можна моделювати струменем води). Фізична модель – це продукт схематизації реальної картини.

Головна мета фізичного моделювання – попереднє експериментальне визначення як загальних так і окремих характеристик майбутнього в побудові об'єкта, спрощення досліджень його поведінки в екстремальних умовах, зменшення загальних витрат. В основі фізичного моделювання лежать теорії подібностей і аналіз розмірностей [5, 6]. Фізичні закони для об'єкта і моделі повинні мати однаковий математичний опис. Наявність пропорційності між значеннями окремих характеристик на об'єкті та моделі дозволяє виконувати перерахунок експериментальних характеристик на досліджуваній об'єкт за допомогою критерію подібності. Широко моделюють механічні, гідравлічні, аеромеханічні, деформаційні, теплові та електродинамічні явища та процеси. Головною перевагою фізичного моделювання є можливість безпосереднього приєднання до моделі реальної виміральної та керуючої апаратури. Важливість фізичного моделювання як апарата дослідження важко переоцінити.

Головна проблема фізичного моделювання – трудність точного визначення критерію подібності та складність моделювання нелінійних процесів у досліджуваних об'єктах. Підвищення точності фізичного моделювання можливе завдяки виконанню декількох його видів, а також моделюванню як системи в цілому, так і окремих її підсистем.

При математичному моделюванні використовують загальні закони природознавства, спеціальні закони конкретних наук, результати спостереження та експериментів, імітаційне моделювання. Математичне моделювання виконується засобами математики та логіки з використанням ЕОМ. Вивчення математичних моделей дає змогу передбачити розвиток процесів, швидко розраховувати окремі їх характеристики, доцільно керувати цими процесами, проектувати системи з потрібними характеристиками тощо.

Математична модель представляє собою формальний ідеалізований опис основних закономірностей системи, яка досліджується (технічної будови чи устаткування, технологічного процесу тощо), у вигляді математичних рівнянь або нерівностей, що дозволяє робити висновки про поведінку оригінальної системи.

Дослідження об'єктів за допомогою математичних моделей виконується у два етапи: спочатку виконується побудова адекватної оригіналу (технічної системи, що вивчається) математичної моделі, а потім за допомогою дослідження цієї моделі здобувається потрібна інформація, яка переноситься на оригінал.

Математичне моделювання досліджуваних систем можна розділити на два основних напрямки: математичне моделювання систем на основі принципу оптимізації та моделювання на основі принципу імітації. Задачі для цих моделювань можуть бути детермінованими або стохастичними (імовірнісними).

В першому випадку математичні моделі оптимізації є інструментом для вирішення задач по визначенню оптимальних рішень з використанням методів математичного програмування (диференціальне та

варіаційне числення, лінійне, нелінійне та динамічне програмування, евристичне програмування та інші методи програмування).

Математичне моделювання системи на основі принципу імітації, яке дозволяє виявити закономірності динаміки її функціонування, вплив кожного окремого чинника на кожен з цільових функцій, встановити недоліки, переваги, резерви та шляхи підвищення ефективності і, в результаті, доцільно скорегувати прогноз розвитку системи, яка вивчається. Широке використання математичних моделей імітації в машинобудуванні пояснюється можливістю моделювання імовірнісних складних процесів, коли побудова моделей імітації виконується на основі ймовірісно-статистичних методів.

Систематичний підхід при математичному моделюванні дозволяє розглядати систему як цілісну сукупність взаємопов'язаних елементів, об'єднаних для досягнення єдиної мети, виявити властивості системи, її внутрішні та зовнішні зв'язки.

Внутрішні зв'язки – це зв'язки між елементами системи. Ці зв'язки досліджуються методами теорії ймовірностей та математичної статистики.

Зовнішні зв'язки – це зв'язки між системою, яка вивчається, і зовнішнім середовищем. Між системою та зовнішнім середовищем існує взаємозв'язок і взаємозалежність. Вплив, який зазнає система з боку зовнішнього середовища, прийнято називати вхідним, дії системи на зовнішнє середовище – вихідними.

Таким чином, структура будь-якої системи включає в себе вхід, процес, вихід, мету, зворотні зв'язки та обмеження. У випадку, коли досліджуваною системою є конструкція, якість її функціонування визначається через дослідження робочих процесів. На вхід системи подаються незалежні доцільно керовані змінні чинники. Вплив некерованих чинників дослідники стараються якимось чином зменшити або зробити малозмінними. Процес виконує перетворення незалежних змінних чинників на залежну змінну (відклик, цільову функцію, параметр оптимізації) виходу. Зворотній зв'язок дозволяє оцінити ефективність системи, тобто встановити відповідність між існуючою та необхідною величинами залежної змінної на виході, а отже, між існуючою та бажаною системами.

При математичному моделюванні головним на етапі постановки задачі є чітке визначення та формулювання мети дослідження. На цьому етапі визначаються залежності, які належить вивчити за результатами моделювання, а також найбільш суттєві чинники, на базі яких будується математична модель.

Побудова математичної моделі складається із стадії змістовного опису досліджуваної системи, складання формалізованої схеми та безпосереднього розробки математичної моделі.

Типові детерміновані задачі (без випадкових чинників) вирішуються за допомогою математичного моделювання лінійного та нелінійного програмувань або динамічного програмування, методами диференціального або варіаційного числення тощо. Але ці методи можуть використовуватись лише у випадках, коли механізми процесів відносно прості і добре вивчені, коли чітко обумовлені межі використання, а самі чинники, які визначають процес, детерміновані, тобто безмежно точні – не мають випадкових складових. На жаль, такі випадки відносно рідко зустрічаються на практиці.

Більшість реальних виробничих процесів, конструкцій машин, верстатів та їх функціонування дуже складні, вони зазнають впливу великої кількості змінних чинників і характеризуються як помилками їх задання, так і помилками у визначенні вихідних величин. Тому детерміністичний підхід в дослідженні таких систем стає неможливим.

У зв'язку з вказаними особливостями реальних технологічних процесів та процесів функціонування машин, механізмів, верстатів та інструментів, вивчення та оптимізацію яких доводиться виконувати через статистичне дослідження взаємозв'язків між змінними випадками величинами, між випадковими величинами звичайно існує такий зв'язок, коли зі зміною однієї величини змінюється розподіл іншої.

Серед задач і методів статистичного аналізу [7–11] в першу чергу слід назвати:

- методи оцінювання параметрів (метод максимальної правдоподібності, метод моментів, оцінювання за Байєсом);
- отримання інтервальних оцінок (оцінка довірчого інтервалу, надійної границі, довірчої ймовірності);
- перевірка гіпотез (гіпотези відносно середнього, гіпотези в лінійних моделях, гіпотез для дисперсій, гіпотез при порівнянні двох середніх);
- знаходження критеріїв для оцінки випадкових величин із довільним розподілом (критерії знаків, критерії стаціонарності, критерії випадковості, критерії узгодженості та незалежності тощо);
- виявлення та виключення аномальних значень тощо.

Відомо, що основними розділами математичного апарату, що обслуговує статистичну область досліджень, є:

- кореляційний аналіз;
- дисперсійний аналіз;
- регресійний аналіз;
- теорія планування багаточинникових експериментів.

Для визначення ступеня тiсноти (щiльностi) зв'язку мiж випадковими дослiджуваними величинами частiше за все користуються коефiциєнтом кореляцiї. Якщо вiдомо, що випадковi пов'язанi величини мають розподiл за нормальним законом, а коефiциєнт кореляцiї дорiвнює одиницi, то кажуть, що її величини мають функцiональну (нестатистичну) лiнiйну залежнiсть мiж собою. З iншого боку, рiвнiсть коефiциєнтів кореляцiї нулю свiдчить про повну незалежнiсть цих величин. Крім того, коефiциєнт кореляцiї, разом з середнiми зазначеннями та дисперсiями (розсiюванням) випадкових величин, входить до складу параметрiв, якi дають вичерпнi знання про статистичну залежнiсть величин, якi вивчаються. У випадку, коли роздiл випадкових величин вiдрiзняється від нормального, коефiциєнт кореляцiї визначається лише як одна з можливих характеристик ступеня тiсноти зв'язку. Для нормального закону роздiлу випадкових величин в залежностi від обсягу вiбiрки для певного значення коефiциєнта кореляцiї може бути визначений довірчий iнтервал – дiапазон значень, в якi з певною iмовiрностю попадають дiйснi значення випадкових величин. При вiдхиленнi дослiджуваної залежностi від лiнiйного виду коефiциєнт кореляцiї втрачає свiй змiст як характеристика ступеня тiсноти зв'язку. Бiльш надiйною характеристикою при цьому виявляється так зване кореляцiйне вiдношення, iнтерпретацiя якого не залежить від виду регресивної залежностi, яка дослiджується.

В будь-якому експериментi середнi значення величини, якi дослiджуються, змiнюються у зв'язку зi змiною основних чинникiв (якiсних i кiлькiсних) i другорядних, якi визначають умови дослiду, а також випадкових чинникiв. Дослiдження впливу тих чи iнших чинникiв на змiннiсть середнiх значень параметрiв є задачею дисперсiйного аналізу [10, 11].

Дисперсiйний аналіз полягає у вiдiленнi та оцiнцi окремих чинникiв, що викликають змiннiсть випадкової величини, яка вивчається. Для цього виконується розкладання сумарної вiбiркової дисперсiї на складовi, обумовленi незалежними чинниками. Кожна з цих складових представляє собою оцiнку дисперсiї генеральної сукупностi. Щоб визначити, чи є значущим вплив даного чинника, треба оцiнити значущiсть вiдповiдної вiбiркової дисперсiї в порiвняннi з дисперсiєю вiдтворюваностi, обумовленої випадковими чинниками. Перевiрка значущостi оцiнок дисперсiї виконується за критерiєм Фiшера. Якщо розраховане значення критерiю Фiшера виявляється меншим табличного, то нема пiдстав вважати значущим вплив чинника, який розглядається. Якщо ж розраховане значення критерiю Фiшера виявиться бiльшим табличного, то даний чинник впливає на змiннiсть його середнiх значень.

Чинники, якi вивчаються у дисперсiйному аналізi, бувають двох видiв: з випадковими рiвнями та з фiксованими рiвнями. Дисперсiйний аналіз виконується як одно-, так i багаточинниковим. В них, крiм вказаної дисперсiї вiдтворюваностi, визначаються також дисперсiї розсiювання значень як самих чинникiв, так i їх взаємодiї, а також дисперсiї похибок дослiдження. При плануваннi експерименту при дисперсiйному аналізi широке розповсюдження отримали так званi латинськi та гiпер-латинськi квадрати, а також латинськi куби.

Вiдомо, що iснує три основних типи математичних моделей: моделi, що базуються на принципах явищ переносу; моделi, що базуються на балансi рiзних величин, та емпиричнi моделi. У зв'язку з тим, що багато робочих i технологiчних процесiв не можна задовiльно описати моделями перших двох типiв через недостатнє розумiння самих процесiв або через надмiрну їх складнiсть замiсть них використовують емпиричнi моделi. Зрозумiло, що емпиричнi моделi, якi використовуються для опису процесiв, мають обмежену цiннiсть в тих випадках, коли дослiдник хоче перевiрити яку-небудь теорiю або передбачити поведiнку системи за межами дiапазонiв варiювання змiнних, використаних для побудови моделi.

Регресiйний аналіз – роздiл математичної статистики, який охоплює побудову i опис регресiйних залежностей, тобто емпиричних моделей на базi статистичних даних. Самими типовими задачами регресiйного аналізу є:

- визначення виду функцiї регресiї;
- оцiнка невідомих параметрiв цiєї функцiї та дослiдження властивостей оцiнки;
- перевiрка гiпотези про те, що задана функцiя є функцiєю регресiї однієї випадкової величини на другу.

В регресiйному аналізi широко використовуються метод найменших квадратiв та його модифiкацiї, метод максимальної правдоподiбностi та метод довірчих iнтервалiв.

Регресiйний метод – один з найрозповсюдженiших методiв дослiдження залежностей в механiцi, машинобудуваннi, економiцi, фiзицi, теорiї вимiрювань, бiологiї, хiмiї тощо.

Таким чином, регресiйний аналіз полягає у виборi виду регресiйної моделi (першого, другого чи третього ступеня), визначеннi коефiциєнтiв (частинних похiдних), якi визначають напрям та суттєвiсть впливу окремих чинникiв чи їх поєднань на дослiджуваний параметр, статистичному дослiдженнi моделi та фiзичному дослiдженнi результатiв моделювання.

В машинобудуваннi – при проектуваннi робочих процесiв в конструкцiях машин або технологiчних процесiв виготовлення – не iснує всеосяжних суворих теорiй, якi б дозволяли в деталях i в цiлому до кiнця розумiти механiзми головних та супровiдних паразитних процесiв. Тому подiбнi задачi приходиться вiрiшувати при неповному знаннi механiзмiв протiкання багатьох процесiв та явищ.

Спостереження за будь-яким процесом – технологічним у виробництві або робочим в дослідженні конструкцій – при виконанні поточних вимірювань значень важливих чинників та якого-небудь показника ефективності забезпечують основу для виконання так званого пасивного експерименту. Результатом дослідження може бути регресійна модель першого чи більш високого порядку з визначеним впливом (чисельним та знаковим) чинників та їх поєднання на досліджуваний параметр. Але пасивний експеримент звичайно забезпечує лише знижену точність регресійної моделі, тому що дисперсія коефіцієнтів регресійної функції, дисперсії коефіцієнтів регресії та коваріації (взаємодії чинників) залежить від координат точок, в яких проводились спостереження за процесом. Ця негативна особливість пасивного експерименту підводить до ідеї створення активного планування багаточинникового експерименту – вибору найкращого розташування експериментальних точок в просторі незалежних змінних (чинників) [7, 12–22].

Велика кількість експериментальних задач у машинобудуванні і взагалі у промисловості формуються як задачі екстремальні: визначення оптимального складу технологічного процесу та його режимів, оптимальних умов роботи та найкращої конструкції машини тощо. Завдяки більш повному використанню інформації, деякій “компенсації” похибок значень кожного досліді, оптимальному розташуванні точок у чинниковому просторі та лінійному перетворенню координат при усвідомленому активному експериментуванні – попередньому плануванні багаточинникових експериментів – вдається подолати недоліки класичного регресійного аналізу, зокрема кореляцію між коефіцієнтами рівняння регресії.

Під плануванням експерименту звичайно розуміють попередню процедуру вибору кількості та умов проведення дослідів, необхідних і достатніх для вирішення постановленої задачі із заданою точністю. Основні переваги активного експерименту пов’язані з тим, що він дозволяє:

- мінімізувати загальну кількість дослідів;
- вибрати чіткі, логічно обгрунтовані процедури при дослідженні;
- використовувати математичний апарат для формалізації дій експериментатора;
- одночасно варіювати всіма змінними та оптимально використовувати чинниковий простір;
- оптимально організувати експеримент, щоб виконувались початкові передумови регресійного аналізу;
- отримувати кращі математичні моделі, ніж моделі пасивного експерименту;
- рандомізувати умови дослідів, тобто заважаючи фактори перетворити у випадкові величини;
- оцінювати елемент невизначеності, пов’язаний з експериментом.

При плануванні експерименту залежна змінна (відгук, вихід, цільова функція, параметр оптимізації) повинна задовольняти ряду вимог. Бажано, щоб вона була єдиною, однозначною, характеризувалась числом, мала чіткий фізичний зміст, відрізнялась статистичною ефективністю, мала економічну природу.

Незалежні змінні (входи, чинники) можуть бути якісними і кількісними. До чинників також пред’являють низку вимог. Вони повинні безпосередньо діяти на об’єкт, бути дійсно незалежними, мати можливість безпосереднього виміру та керування, а також кожен з чинників повинен мати свою область визначення. Сукупність чинників повинна бути сумісною, а між собою чинники не повинні бути закорельованими.

В умовах обмеженої точності задання величин досліджуваних чинників та вимірювань значень досліджуваної цільової функції при експерименті важливого значення набуває віднесення результатів дослідження до однієї генеральної сукупності. Для цього при плануванні багаточинникового експерименту необхідно узгодити діапазони варіювання окремих чинників з різною суттєвістю впливу кожного на цільову функцію з метою приблизного вирівнювання “абсолютного” впливу на останню.

Для попереднього відсіювання найбільш суттєвих чинників для подальшого експериментування звичайно використовують метод випадкового балансу, метод апіорного ранжування або передпланування, запропонований Адлером Ю.П. [16].

Серед найпростіших методів планування експерименту треба назвати метод крутого сходження (чи спуску). Задача вирішується поетапно. Всі чинники одночасно варіюються на двох окремих рівнях. За результатами дослідження створюється лінійна регресійна модель. Її вивчення дозволяє виявити напрям подальшого руху до екстремуму. Після декількох екстраполяційних кроків (без дослідів) при доцільній зміні кожного з чинників виконується наступна серія дослідів. Експеримент закінчується в області екстремуму. Найсуттєвішим недоліком цього методу є можливість його використання лише в однокремальних залежностях. Крім того, у нього невелика точність та мала надійність. В дослідженнях використовуються як повний чинниковий експеримент, так і дробовий (зменшений) чинниковий експеримент.

Більш досконалим є планування екстремальних експериментів при варіюванні чинників на двох рівнях з допоміжними зірковими та нульовою точками. Це – симетричні композиційні ортогональні плани та композиційні ротатбельні плани другого порядку (тобто з квадратними та взаємодіючими членами в регресійній моделі). Спрощує перетворення, тобто приведення до канонічного виду моделі, дозволяє легко і точно описати майже стаціонарну область і знайти екстремум. Недоліком цього планування є досить обмежений чинниковий простір, який може бути описаний вказаними моделями. У зв’язку з остан-

нім, параметрична оптимізація можлива і ефективна лише на останньому етапі удосконалення. Попереднім етапом повинна бути структурна оптимізація [2], побудована на основі системних досліджень об'єкта.

Розділ науки “Системні дослідження” [23–30] з'явився як наслідок дуже поглибленого розвитку окремих дуже вузьких напрямків у науці, що спричинило розрив між деякими з них, додаткові розгалуження шляхів пошуку та появу стиків між окремими напрямками. Подоланню окремих недоліків розвитку і присвячені системотехніка та системний аналіз. Крім того, системний аналіз, разом з його розділами – декомпозицією та іншими складовими, можна було б вважати “поверненням до початкових витоків”, коли підсистема чи інша, більш дрібна складова системи а процесі аналізу піддається сумніву в плані досконалості (відомо, що з часом, внаслідок психологічної інерції деякі із знань переходять в розряд догм). За приклад можна взяти звичайний токарний прохідний різець з його вразливою вершинною формою. Критичний аналіз дозволяє удосконалити його до безвершинної форми, але, водночас щоб і не перевантажити верстат шляхом переведу його в невібростійкий стан.

Як відомо, схема системного підходу при удосконаленні робочих (для конструкцій) та технологічний процесів може бути представленою у вигляді прямих та зворотних, кільцевих та перехресних зв'язків між семи його гранями: ідеалізація – декомпозиція – композиція – рішення – виділення проблеми – опис об'єкта – встановлення критеріїв оцінки. На першому етапі удосконалення – структурній оптимізації – достатньо досягнення лише низки кращих якісних структурних рішень при аналізі вказаних граней об'єкта, що удосконалюється. А вже на другому етапі – параметричній оптимізації – знаходяться оптимальні значення кожного з рішень (тобто якісних варіантів). На останньому етапі обирається і затверджується один, найкращий, з урахуванням економічних показників, варіант удосконалення технологічного чи робочого процесу. Покращений робочий процес дає підстави для вирішення задач удосконалення конструкції будь-якого верстата, інструменту чи машини.

Головними складовими для виконання критичного аналізу будь-якого декомпозованого елемента конструкції слід вважати як якість виконання ним певної функції, так і якість узгодження з попереднім та наступним елементами.

Використання розробок з оптимального конструювання машин, верстатів тощо [29–35], разом з аналізом їх функціонування, динамічними, тепловими, зносостійкими характеристиками, та досягненнями прикладних і фундаментальних наук, шляхом паралельного або компромісного вирішення дозволить також досягти суттєвого поліпшення їх технічних характеристик.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Шарпов О.Д., Терехов Л.Л., Сіднев С.П. Системний аналіз: Навч. посібник / О.Д. Шарпов та ін. – К.: Вища шк., 1993. – 303 с.
2. Скочко Є.В. Різальні інструменти: Навч. посібник для студентів вузів. – Житомир: ЖІТІ, 2000. – 208 с.
3. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
4. Пляскин И.И. Оптимизация технических решений в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1982. – 176 с.
5. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1967.
6. Гухман А.А. Введение в теорию подобия: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1973. – 296 с.
7. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. – М.: Мир, 1972. – 381 с.
8. Браунли К.А. Статистическая теория и методология в науке и технике. – М.: Наука, 1977. – 404 с.
9. Дэниел К. Применение статистики в промышленном эксперименте. – М.: Мир, 1979. – 300 с.
10. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. – М.: Мир, 1973. – 957 с.
11. Де Гроот М. Оптимальные статистические решения. – М.: Мир, 1974. – 492 с.
12. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента. – М.: Мир, 1967. – 406 с.
13. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1965. – 338 с.
14. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1971. – 220 с.
15. Горский В.Г., Адлер Ю.П. Планирование промышленных экспериментов. – М.: Металлургия, 1974. – 264 с.
16. Адлер Ю.П. Предпланирование эксперимента. – М.: Знание, 1978. – 72 с.
17. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
18. Уайлд Д.Дж. Методы поиска экстремума. – М.: Наука, 1967. – 276 с.

19. *Финни Д.* Введение в теорию планирования экспериментов. – М.: Наука, 1970. – 288 с.
20. *Геминтерн В.И., Каган Б.М.* Методы оптимального проектирования. – М.: Энергия, 1989. – 160 с.
21. *Новиков Ф.С., Арсов Я.Б.* Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304 с.
22. *Горский В.Г., Адлер Ю.П., Талалай А.М.* Планирование промышленных экспериментов (модели динамики). – М.: Металлургия, 1978.– 112 с.
23. *Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П.* Введение в системный анализ: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 367 с.
24. *Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Дубиняк С.А.* Теорія технічних систем / Під загальною ред. проф. Ю.М. Кузнецова. – К.: Тернопіль, 1997. – 310 с.
25. *Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем / Искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 417 с.
26. *Холл А.Д.* Опыт методологии для системотехники: Пер. с англ. – М.: Сов. радио, 1975. – 448 с.
27. *Дискон Дж.Р.* Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений. – М.: Мир, 1969. – 440 с.
28. *Первозванский А.А., Гайцгорн В.Г.* Декомпозиция, агрегатирование и принятие решений. – М.: Наука, 1979. – 344 с.
29. *Мюллер И.* Эвристические методы в инженерных разработках: Пер. с нем. – М.: Радио и связь, 1984.– 144 с.
30. *Скочко Є.В.* Системний аналіз і удосконалення різальних інструментів та технологічних оброблюваних систем // Вісник ЖФ КП. – 1994. – № 1. – С. 101–110.
31. *Бушуев В.В.* Основы конструирования станков. – М.: Станкин, 1992. – 520 с.
32. *Борисов В.И.* Общая методология конструирования машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 120 с.
33. *Баничук Н.В.* Введение в оптимизацию конструкций. – М.: Машиностроение, 1986. – 300 с.
34. *Дабяян А.В.* Проектирование технических систем. – М.: Машиностроение, 1986. – 251 с.
35. *Гринев В.Б., Филиппов А.П.* Оптимизация элементов конструкций по механическим характеристикам. – К.: Наукова думка, 1975. – 220 с.

МЕЛЬНИЧУК Петро Петрович – кандидат технічних наук, доцент, ректор Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- міцність конструкцій.

СКОЧКО Євген Вікторович – кандидат технічних наук, професор кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем.

Наукові інтереси:

- теорія різання;
- металорізальні інструменти та верстати.

Подано 10.09.2000