

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**В.Ю. Щербина**

**МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ  
(ДОДАТКОВІ РОЗДІЛИ)**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для студентів,  
які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»,  
спеціалізацією «Інжинирінг, комп'ютерне моделювання та  
проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних  
матеріалів та виробів»*

**Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2018**

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

Методологія проектування (додаткові розділи). Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів які навчаються за освітньо-науковою програмою магістерської підготовки, спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжинирінг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів та виробів» / В. Ю. Щербина; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 66 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 4 від 20.12.2018 р.) за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету (протокол № 10 від 26.11.2018 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

# **МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (ДОДАТКОВІ РОЗДІЛИ) КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

Укладачі: *Щербина Валерій Юрійович*, доктор техн. наук, доцент

Відповідальний

редактор *Гондляр О.В.*, доктор техн. наук, професор

Рецензенти: *Марчевський В.М.*, канд. техн. наук, професор

В курсі «Методологія проектування» значна увага приділяється вияву і використанню взаємозв'язку між окремими спеціальними дисциплінами, що виникають в процесі проектування обладнання хімічного машинобудування. Курс включає особливі методи досліджень і рішень задач безпосередньо процесу проектування з удосконаленням машин та апаратів і підвищенням їх ефективності. Сюди входять такі розділи, як технологічне проектування, морфологічні моделі, системний підхід та інше, які представляють значний інтерес для сучасного інженера-конструктора.

Метою викладення курсу є вивчення методів технологічного прогнозування параметрів машин, що проектуються з урахуванням вимог експлуатації і виготовлення машин, вузлів і деталей, ознайомлення з основами СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ і засобами планування НДР на стадіях визначення мети проекту і його доопрацюванням.

Для студентів технічних спеціальностей вищих закладів освіти.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018 рік

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ТЕМА 1 ЕТАПИ ПРОЕКТУВАННЯ ПРИ РОЗРОБЦІ НОВИХ МАШИН ТА МОДЕРНІЗАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ..... | 4  |
| Введення.....  | 4  |
| 1.1 Складові та структура в етапах життєвого циклу .....                           | 4  |
| 1.2 Визначення перспективних рішень в проектуванні.....                            | 8  |
| 1.2.1 Відкриття.....   | 9  |
| 1.2.2 Винахід .....  | 16 |
| 1.2.3 Інновації .....  | 21 |
| ТЕМА 2 КОНСТРУЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ОСНОВІ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ.....               | 24 |
| 2.1 Загальні положення .....   | 24 |
| 2.2 Вимоги експлуатації й вимоги виробництва .....                                 | 24 |
| 2.3 Два процеси проектування деталі .....  | 25 |
| 2.4 Структурний аналіз конструкції деталі .....                                    | 25 |
| 2.5 Структурний аналіз технологічного процесу виготовлення деталі .....            | 28 |
| 2.6 Системна модель проектування оптимальної конструкції деталі .....              | 30 |
| 2.7 Послідовність рішення задачі оптимізації конструкції деталі.....               | 31 |
| ТЕМА 3 ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ.....                      | 32 |
| 3.1 Загальні положення .....   | 32 |
| 3.1 Системи для розрахунку на міцність.....  | 33 |
| 3.2 Системи для розв'язку задач аерогідродинаміки.....                             | 41 |
| 3.3 Системи проектування .....   | 45 |
| 3.4 Комбіновані системи .....  | 49 |
| ТЕМА 4 ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЇ.....                                     | 54 |
| 4.1 Помилки вимірів .....  | 54 |
| 4.1.1 Класифікація погрешностей вимірів.....                                       | 54 |
| 4.1.2 Погрешність результату вимірювання.....                                      | 55 |
| 4.1.3 Інструментальна погрешність вимірювання .....                                | 59 |
| 4.2 Звітні документи та публікації про проведені дослідження .....                 | 61 |
| 4.2.1 Публікація результатів роботи.....   | 61 |
| 4.2.2 Виклад матеріалу.....  | 62 |
| 4.2.3 Опис методики.....   | 62 |
| 4.2.4 Структура статті, опис ілюстрацій .....                                      | 63 |
| ЛІТЕРАТУРА.....  | 65 |

## **ТЕМА 1 ЕТАПИ ПРОЕКТУВАННЯ ПРИ РОЗРОБЦІ НОВИХ МАШИН ТА МОДЕРНІЗАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ.**

### ***Введення.***

Механічне обладнання за час свого існування проходить ряд етапів, від ідеї створення до впровадження у виробництво й утилізації, що називається життєвим циклом виробу.

Проектування як етап цього циклу, передусє виробництву й робить можливим виготовлення необхідної кількості виробів із заданими характеристиками. Проектування, у перекладі з латинської projectus, означає "кинутий уперед", тобто проект - це опис того, чого ще не має, і що буде створено в майбутньому. Проектування забезпечує отримання технічної документації, що повністю й однозначно описує всі відомості, необхідні й достатні для виготовлення виробів.

Проектування являє собою складний і творчий процес діяльності фахівця (проектувальника), інваріантний до різних типів виробів і складності. Проектування вимагає від проектувальника крім спеціальних, предметних знань, також знань методології, засобів і правил виконання проектних процедур. Сучасне проектування здійснюється в програмному середовищі, так називаній системі інформаційної підтримки життєвого циклу виробів, що робить необхідним освоєння відповідного програмного забезпечення.

### ***1.1 Складові та структура в етапах життєвого циклу***

Життєвий цикл промислових виробів включає ряд етапів, починаючи від зародження ідеї нового продукту до його утилізації по закінченні строку використання. Основні етапи життєвого циклу промислової продукції представлені на мал. 1.1. До них ставляться етапи проектування, технологічної підготовки виробництва (ТПП), властиво виробництва, реалізації продукції, експлуатації й, нарешті, утилізації.

На рис. 1.1 зазначені основні типи АС із їхньою прив'язкою до тих або інших етапів життєвого циклу виробів.

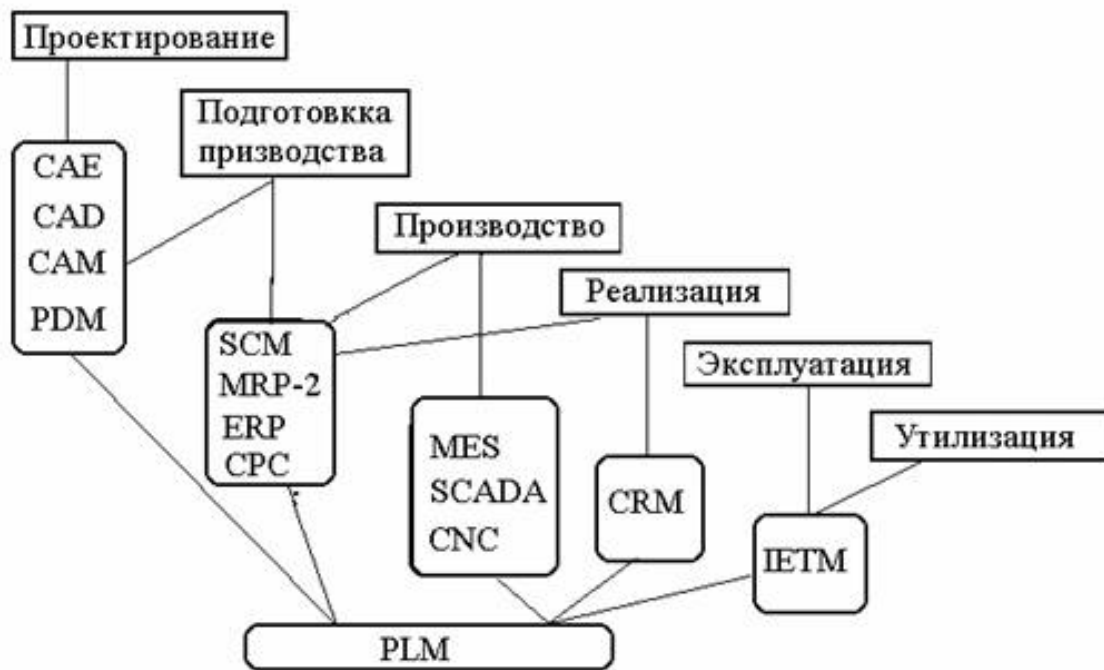


Рис. 1.1. Життєвий цикл об'єкту проектування

В системи автоматизованого проектування здійснюється автоматизація проектування. У машинобудівних галузях промисловості прийнято виділяти системи функціонального, конструкторського й технологічного проектування. Перші з них називають *системами розрахунків й інженерного аналізу* або системами *CAE (Computer Aided Engineering)*. Системи конструкторського проектування називають системами *CAD (Computer Aided Design)*. Проектування технологічних процесів становить частину технологічної підготовки виробництва й виконується в системах *CAM (Computer Aided Manufacturing)*.

Для рішення проблем спільного функціонування компонентів системи автоматизованого проектування різного призначення, координації роботи систем CAE/CAD/CAM, керування проектними даними й проектуванням розробляються системи, що одержали назву систем керування проектними даними *PDM (Product Data Management)*. Системи PDM або входять до складу модулів конкретної системи автоматизованого проектування, або мають самостійне значення й можуть працювати разом з різними системи автоматизованого проектування.

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

На більшості етапів життєвого циклу, починаючи з визначення підприємств-постачальників вихідних матеріалів і компонентів і кінчаючи реалізацією продукції, потрібні послуги системи керування ланцюжками поставок - Supply Chain Management (SCM). Ланцюг поставок звичайно визначають як сукупність стадій збільшення доданої вартості продукції при її русі від компаній-постачальників до компаній-споживачів. При керуванні ланцюгом поставок мається на увазі просування матеріального потоку з мінімальними витратами.

Координація роботи багатьох підприємств-партнерів з використанням технологій Intrenet покладає на системи E-commerce, називані системами керування даними в інтегрованому інформаційному просторі *CPC (Collaborative Product Commerce)*

Інформаційна підтримка етапу виробництва продукції здійснюється *автоматизованими системами керування підприємством (АСКП)* і *автоматизованими системами керування технологічними процесами (АСКТП)*.

До АСУП відносяться системи планування й керування підприємством *ERP (Enterprise Resource Planning)*, планування виробництва й вимог до матеріалів *MRP-2 (Manufacturing Requirement Planning)* і згадані вище системи *SCM*. Найбільш розвинені системи *ERP* виконують різні бізнес-функції, пов'язані із плануванням виробництва, закупівлями, збутом продукції, аналізом перспектив маркетингу, керуванням фінансами, персоналом, складським господарством, обліком основних фондів і т.п. Системи *MRP-2* орієнтовані, головним чином, на бізнес-функції, безпосередньо пов'язані з виробництвом. У деяких випадках системи *SCM* й *MRP-2* входять як підсистеми в *ERP*, останнім часом їх частіше розглядають як самостійні системи.

Проміжне положення між АСКП й АСКТП займає виробнича виконавча система *MES (Manufacturing Execution Systems)*, призначена для рішення оперативних завдань керування проектуванням, виробництвом і маркетингом.

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

До складу АСКТП входить система *SCADA* (*Supervisory Control and Data Acquisition*), що виконує диспетчерські функції (збір й обробка даних про стан устаткування й технологічних процесів) і що допомагає розробляти програмне забезпечення для убудованого устаткування. Для безпосереднього програмного керування технологічним устаткуванням використовують системи *CNC* (*Computer Numerical Control*) на базі контролерів (спеціалізованих комп'ютерів, названих промисловими), які убудовані в технологічне устаткування із числовим програмним керуванням (ЧПК).

На етапі реалізації продукції виконуються функції керування відносинами із замовниками й покупцями, проводиться аналіз ринкової ситуації, визначаються перспективи попиту на плановані вироби. Ці функції покладені на систему CRM.

Функції навчання обслуговуючого персоналу покладені на інтерактивні електронні технічні керівництва ІЕТМ (*Interactive Electronic Technical Manuals*), з їхньою допомогою виконуються діагностичні операції, пошук компонентів, що відмовили, замовлення додаткових запасних деталей і деякі інші операції на етапі експлуатації систем.

Керування даними в інформаційному просторі, єдиному для різних автоматизованих систем, покладає на систему керування життєвим циклом продукції, що реалізують технології *PLM* (*Product Lifecycle Management*). Технології PLM поєднують методики й засоби інформаційної підтримки виробів протягом всіх етапів життєвого циклу виробів. Характерна риса PLM - забезпечення взаємодії як засобів автоматизації різних виробників, так і різних автоматизованих систем багатьох підприємств, тобто технології PLM (включаючи технології CPC) є основою, що інтегрує інформаційний простір, у якому функціонують системи автоматизованого проектування, ERP, PDM, SCM, CRM й інші автоматизовані системи багатьох підприємств.

## **1.2 Визначення перспективних рішень в проектуванні**

Визначимося з поняттями: відкриття, винахід й інновація:

- **ВІДКРИТТЯ** - це встановлені невідомі раніше об'єктивно існуючі закономірності властивостей й явищ матеріального світу, що вносять корінні зміни у рівень пізнання. ... .

Фактично це нове досягнення, що здійснюються в процесі наукового пізнання природи і суспільства. Воно лежить в основі науково-технічної революції, надаючи принципово нові напрямки розвитку науки і техніки і революціонізуючи суспільне виробництво. Наукові відкриття й винаходи прискорюють процес розвитку науки й техніки, даючи факти підтверджують або спростовують теорію. Відкриття невідомих раніше об'єктивно існуючих закономірностей, властивостей, явищ матеріального світу, що вносять корінні зміни у рівень пізнання.

- **ВИНАХІД** - технічне рішення, що вносить новизну, практичну застосовність, корисність для господарської діяльності. Щоб винахід був визнаним, це рішення також повинне мати рівень винахідництва, тобто, не бути очевидним, виходячи з поточного рівня знань фахівців. Об'єктами винаходу можуть визнаватися: пристрій, спосіб, речовина, штам мікроорганізму, культури кліток рослин і тварин, а також нове застосування відомого раніше пристрою, способу, речовини, штаму.

- **ІННОВАЦІЯ** - це нова або вдосконалена продукція або нова вдосконалена технологія, використовувана в практичній діяльності. У сучасному світі інновації втілюються в новій наукомісткій продукції й високих технологіях.

Таким чином, інновація, це нововведення в галузі техніки, технології, організації праці або управління, засноване на використанні досягнень науки й передового досвіду, що забезпечує якісне підвищення ефективності виробничої системи або якості продукції. Причому не всяке нововведення або новаторство може бути інновацією, а тільки таке, котре серйозно підвищує ефективність діючої системи.



## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

Термін *innovatio* походить із нової латини і являє собою синтез слів *investio* (одягаю) і *novatio* (обновляю).

У такий спосіб необхідний наступний процес: інвестиції — розробка — процес впровадження — отримання якісного поліпшення.

Інакше кажучи, відкриття - це виявлення існуючих законів природи, винахід - це застосування відкритих законів для створення нової технічної системи, а інновація - це масове використання створеного винаходу.

### **1.2.1 Відкриття**

Відкриття можуть бути класифіковані в такий спосіб:

- Повторні й одночасні.
- Передбачені.
- Несподівані (випадкові).
- Передчасні.
- Запізнілі.
- «Помилкові» відкриття

#### **1) Повторні й одночасні відкриття**

В історії науки більшість фундаментальних відкриттів, пов'язаних з розв'язанням фундаментальних проблем робилося кількома вченими, які працюючи в різних країнах, приходили до однакових результатів. У наукознавстві відношення між первинним відкриттям і його повторенням інтенсивно вивчається. Р. Мертон й Е. Барбер проаналізували 264 історично зафіксованих випадків повторних відкриттів. Більша частина 179 виконана двома вченими, 51 трьома, 17 чотирма, 6 п'ятеро, 8 шість.

Найбільше широко відомі наступні:

- Багато з 500 відкритих Гуком законів були паралельно відкриті іншими вченими.
- Лорд Кельвін, зробив 32 відкриття. Ці відкриття включають відкриття, зроблених іншими 30 ученими. При цьому більшість із них вторинні, деякі трьома й трохи чотирма.

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

- Теорія відносності. А. Пуанкаре й А. Ейнштейн й інші.

Особливий інтерес представляють випадки ОДНОЧАСНИХ ВІДКРИТТІВ, тих випадків, коли першовідкривачів поділяли буквально години:

- **Теорія природного добору.** Чарльз Дарвін й Уоллес прочитали доповіді про еволюції видів у Лінеєвському товаристві 1 липня 1858 року. Але Дарвін розробляв теорію еволюції видів 20 років, тоді як Уоллес - один тиждень.

- **Збіг соціальних криз із максимумами сонячної активності.** А.Л.Чижевський зробив висновок про цьому одночасно з етнографом У.І Анучиным, що описав цей факт у книзі "Соціальний закон".

### **2) Передбачені відкриття**

До таких відкриттів можна віднести:

- **Плутон.** Ще за чверть століття до нього відомий американський астроном Персиваль Ловелл почав вивчати Нептун, що впливав на відхилення в русі Урана. Ловелл приписував вплив на Уран якоїсь "планети X", що знаходиться за орбітою Нептуна. В 1929 році Клайд Томбо відновив пошуки й 18 лютого 1930 року знайшов планету майже в місці що передвіщав Ловел.

- **Супутники Урана.** При відкритті з літака випадково були виявлені кільця Урана. Аналіз їхньої резонансної структури дозволив радянським астрономам Н. Н. Гарькавому й А.М. Фридману пророчити цілу серію супутників Урана. Через півроку при прольоті космічного корабля Вояджер 2 поблизу Уран 24 січня 1986 року всі ці супутники були виявлені на відстанях що були передбачені.

- **Пророкування Менделєєва.** Крім "екаалюмінія" (майбутнього Ga, відкритого П.Лекоком де Буабодраном в 1875), "екабора" (Sc, відкритого шведським ученим Л.Нильсоном в 1879) і "екасиліція" (Ge, відкритого німецьким ученим К.Винклером в 1886) Менделєєв передбачив існування аналогів марганцю (в майбутньому Tc й Re), телуру (Po), йоду (At), цезію (Fr), барію (Ra), танталу (Pa).

- **Інертні гази.** Рамзай прийшов до висновку, що існує ціла група хімічних елементів, що розташовується в періодичній системі між лужними металами й галогенами. Користуючись періодичним законом і методом Менделєєва, була

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

визначена кількість невідомих інертних газів й їхні властивості, зокрема атомні маси. Це дозволило здійснити цілеспрямовані пошуки інертних газів .

- **Радіохвилі.** Відкриті Герцом у лабораторних умовах на основі пророкування Максвелла про існування іншої, не світлової хвилі.

### **3) Несподівані (випадкові) відкриття**

Їхній опис став повною несподіванкою для наукового співтовариства. Тільки цей тип відкриттів може бути з повним правом віднесений до числа відкриттів ВИПАДКОВИХ:

- **Рентгенівські промені**

- **Електричний струм**

- **Електрон.**

- **Радіоактивність.** Відкриття А.Беккерелем в 1896 році радіоактивності не могло бути передбачене, тому що домінувала непорушна істина про неподільність атома.

- **Відкриття атомної енергії.** Незадовго до відкриття процесу розподілу ядер урану академік А.Ф.Іоффе стверджував, що про практичне використання атомної енергії мова може йти тільки через сто років. Резерфорд, що відкрив атомні ядра і їхнє розщеплення, виступаючи на з'їзді Британської асоціації сприяння розвитку науки (1933), заявив, що "...усякий, хто очікує одержання енергії в результаті трансформації атомів, говорить дурницю...".

Це відкриття не є повністю несподіваним. Багато вчених пророчили можливість використання енергії, отриманої за рахунок перетворення речовини, і навіть зв'язували цю енергію з атомними реакціями.

### **4) Події – попередники**

Відкриттю ядерної енергії сприяли події - попередники, які підготували базу для нього (Таблиця).

**Таблиця**

Основні віхи в історії відкритті ядерної енергії.

|         |   |
|---------|---|
| 1905 р. | Еквівалентність маси Я енергії. Публікація стаття Ейнштейна, що |
|---------|---|

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

|             |  |
|-------------|--|
|             | установили еквівалентність маси й енергії  |
| 1906 р.     | Ізотопи радіоактивних елементів. Відкриття хімічно ідентичних елементів з різними радіоактивними властивостями                     |
| 1911 р.     | Структура атома. Експерименти Резерфорда що показали, що маса атома зосереджена в позитивно зарядженому ядрі                       |
| 1913 р.     | Ізотопи й нерадіоактивні елементи. Відкриття ізотопів завдяки розходженню у фізичних властивостях                                  |
| 1919 р.     | Випромінення протонів атомами азоту. Перша штучно викликана ядерна реакція.  |
| 1919 м      | Мас-спектроскопія. Точне визначення маси ізотопів  |
| 1920-і роки | Дефект маси ("пакувальний множник"). Відкриття того, що маса ядра менше суми мас ядра, тобто менше суми мас складових його часток. |
| 1932 р.     | Відкриття нейтрона   |
| 1938 р.     | Розподіл ядра урану  |
| 1939 р.     | Гіпотетична ланцюгова реакція  |
| 1942 р.     | Здійснена ланцюгова реакція  |

Аналогічні події передували відкриттю Періодичної Таблиці Елементів.

Першу спробу систематизації елементів почав німецький хімік Йоганн Вольфганг Деберейнер, що сформулював в 1829 р. закон триад. Деберейнер звернув увагу на те, що в рядах подібних по властивостях елементів спостерігається закономірна зміна атомної маси.

В 1843 р. Леопольд Гмелин привів таблицю хімічно подібних елементів, класифікованих по групах у порядку зростання "сполучних мас".

В 1850 р. німецький лікар Макс фон Петтенкофер спробував знайти в елементів співвідношення, подібні тим, що виявляються в гомологічних рядах, тобто в рядах сполучень, що відрізняються одна від одної групою  $\text{CH}_2$ . Він вказав, що атомні ваги деяких елементів відрізняються одна від одної на величину, кратну восьми. На наступний рік подібні міркування висловив і

французький хімік-органік Жан Батист Андре Дюма. В 1859 р. цю ідею детально розробив німецький учений Адольф Штреккер; кілька варіантів таблиць запропонував в 1857-1868 р. англійський хімік Вільям Одлінг.

Олександр Еміль Бегуйе де Шанкуртуа в 1862 р. запропонував гвинтовий графік елементів, розташованих у порядку зростання атомних ваг – так звана "земна спіраль" (*vis tellurique*).

Джон Олександр Рейну Ньюлендс в 1864 р. опублікував таблицю елементів, що відображає запропонований ним закон октав. Ньюлендс показав, що в ряді елементів, розміщених у порядку зростання атомних ваг, властивості восьмого елемента подібні властивостями першого. У таблиці Ньюлендса подібні елементи розташовувалися в горизонтальних рядах; однак, у тому самому ряді часто виявлялися й елементи зовсім несхожі. Крім того, у деяких осередках Ньюлендс змушений був розмістити по два елемента; нарешті, таблиця Ньюлендса не містить вільних місць.

Кілька спроб систематизації елементів почав в 60-і роки XIX століття німецький хімік Юлиус Лотар Мейер. В 1864 р. Мейер опублікував свою першу таблицю, у яку включені 42 елемента (з 63), розміщені в шість стовпців відповідно до їхніх валентностей. Запропонована таблиця "Природа елементів як функція їхньої атомної ваги" складалася з дев'яти вертикальних стовпців, подібні елементи розташовувалися в горизонтальних рядах; деякі осередки таблиці Мейер залишив незаповненими.

У березні 1869 р. російський хімік Дмитро Іванович Менделєєв представив Російському хімічному суспільству періодичний закон хімічних елементів.

## **5) Передчасні відкриття**

Такі відкриття відбуваються, коли наукове співтовариство виявляється невідповідне до прийняття даного відкриття і його заперечує або не помічає. Без розуміння відкриття науковим співтовариством воно не може бути використане в прикладних дослідженнях, а потім у технології.

- **Кисень.** Ще в XVII в. було відомо про збільшення ваги деяких речовин при їхньому випалюванні. Тоді ж французький хімік Леферб припустив, що причиною

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

даного явища є приєднання якогось "esprit universelle" (загального духу). Однак гіпотеза не отримала подальшого розвитку до кінця XVIII в. через панування флогістонної теорії. Факт збільшення ваги ряду тіл при їхньому випалі був перевідкритий у другій половині XVIII століття й зіграв величезну роль у створенні теорії горіння, що представляла альтернативу флогістонної теорії й, зрештою, зруйнувала її.

- **Теорія Менделя.** Грегор Мендель (1822 - 1884) - відкрив закони спадкування ознак і зв'язав їх з комбінаторикою спадкоємних факторів або генів. На початку 50-х років Б.Мак-Клінток (1902-1992) - відкрив мобільні елементи, здатні випадливо переміщатися по хромосомах і поза ними. Лише на рубежі 80-х років стало очевидним, що рухливі гени повсюдні. Виникла нова, або мобільна, генетика.

Загалом при передчасному відкритті відбувається затримка терміном в 25-30 років у їхньому визнанні. Слід відмітити, що це не каприз, а закономірне явище в історії науки. Корінь цього явища знаходиться в самій природі творчості й у соціально-психологічні особливості отримання знань й їхню передачу, трансляцію в суспільство

### **б) Запізнілі відкриття**

Історія науки знає чимало випадків, коли вчені ігнорували виявлений факт, що перебував у глибокому протиріччі з існуючою системою уявлень. Пізніше ж встановлення цього факту або процесу відіграло величезну роль у створенні нової концепції.

- **Взаємодія електрики й магнетизму.** Через 2 роки після винаходу стовпа вольты відхилення магнітної стрілки під впливом електричного струму, що проходить поблизу, першим спостерігав італієць Романьези. Пізніше це спостереження було забуто. Відкриття, зроблене Г.Х.Ерстедом, виявило, що сила діюча між магнітною стрілкою й провідником зі струмом спрямована не по прямій, а перпендикулярно до неї.

- **Здогад про тяжіння** був висловлений ще Ф. Бюконом.

- **Броуновський рух.** Відомий ботанік Роберт Броун (1773-1858) відкрив у 1827 році безладний рух пилка у воді. Броун вважав, що має справу з якимись живими істотами. Але незабаром було помічене, що настільки ж спонтанно у воді рухаються інертні мікрочастинки фарби карміну. Натуралісти ухилилися від пояснення цього явища, вважаючи це справою фізиків. Фізики не вважали за потрібне вивчати цей рух. Лише через сто років фізик Жан Перрен зумів витлумачити це явище як рух атомів й установив навіть число атомів в одному грамі водню. Відкриття було зроблено за допомогою лупи, хоча пройшло вже 200 років як був винайдений мікроскоп (1608 рік).

- **Відкриття реліктового випромінювання** в космосі безпосередньо пов'язане зі створенням в 1964 р. у США надчуттєвої радіоантени. Відсутність такої антени й стало причиною затримки.

## 7) Помилкові відкриття

Найвідоміше "випадкове" це відкриття Колумбом Америки, замість Індії. Але чи було воно випадковим? Тобто, дана подія явно носить не випадковий характер, і повинна відноситися до розділу помилкових відкриттів. Адже в епоху великих географічних відкриттів мандрівники плили відкривати нові землі, заздалегідь не знаючи, що й де вони знайдуть. Але випадковості тут не було. Хоча помилок подібного роду було безліч. Наприклад, знаменитий французький мореплавець Лаперуз помилково вирішив, що Сахалін - це півострів. Його помилку підтвердив Крузенштерн. І тільки експедиція Невельського на "Байкалі" виправила цю помилку.

Значна частина випадкових відкриттів (30/52) належить до хімії й до близьких галузей (біохімія, фармацевтика). Причому, більша частина цих відкриттів припадає на відкриття нових елементів (йод, фосфор, інертні газы) або з'єднань (бензол, індиго). І це аж ніяк не випадково. Адже дані речовини вже існували в природі й неминуче були б відкриті. Все питання, коли й ким буде це зроблено.

Проте, питання про "випадковості" таких відкриттів також не зовсім простий. Звичайно випадковість тільки в тім, що збіг обставин дає можливість

дослідникові спостерігати результати випадкового досвіду, а він повинен зробити правильні висновки.

Дійсно, при відкритті нових речовин має місце елемент випадковості. Це пов'язане з тим, що дослідник не знає заздалегідь, що саме він отримає (як і мандрівник). Однак сам об'єкт відкриття при цьому успішно існував у природі. Тобто, ми маємо практично близьку аналогію з географічним відкриттям.

Аналогічна історія з відомими "випадковими відкриттями" у сні Періодичної таблиці елементів і структурної формули бензолу. Ці образи приснилися Менделєєву й Кеккуле, які до цього моменту довго й наполегливо працювали над цими питаннями. І нарешті, побачили можливі рішення. Один - у вигляді таблиці з незаповненими клітками, інший - змії, що кусає свій хвіст.

Ще більш яскраво ця тенденція виражена для відкриттів у фізику. Причому, вважати такі відкриття випадковістю навряд чи правомірно. Всі вони (радіоактивність, електромагнетизм, теорія тяжіння) були зроблені вченими, які цілеспрямовано вели роботи в даному напрямку. Прикладом "не випадковості" відкриттів служать численні повторні й, навіть, одночасні відкриття.

### **1.2.2 Винахід**

Організація винахідницької й раціоналізаторської роботи визначається "Положенням про відкриття, винаходи й раціоналізаторські пропозиції", "Положенням промислових зразків", "Інструкцією об винагороду за відкриття, винаходи й раціоналізаторські пропозиції й за промислові зразки" й іншими документами.

У положенні про відкриття, винаходи й раціоналізаторські пропозиції дане наступне визначення поняттю "винахід": винаходом називається рішення, що відрізняється істотною новизною, технічного завдання в будь-якій галузі народного господарства. . . , що дає позитивний ефект. Звідси випливає, що кожен винахід повинне містити три складові:

1. рішення певного технічного завдання;
2. це рішення повинне бути новим;
3. це рішення повинне давати позитивний ефект.



Істотно новим визнається таке рішення технічного завдання, що не було відомо світовій науці й техніці в момент подачі заявки на винахід. Істотною вважається така новизна, що в об'єкті винаходу (пристрої, способі, речовині) обумовлює отримання нового технічного, хімічного або подібного результату, від якого залежать корисність або переваги винаходу. Технічні рішення, що мають істотну новизну, дають об'єкту винаходу нові властивості.

Одержання тільки економічного ефекту не може слугувати критерієм істотності новизни, тому що він є наслідком нового технічного ефекту й підтверджує корисність й істотність новизни.

Неправильним є представлення про те, що істотно новим є тільки такі пропозиції, які виражають рішення зовсім нових технічних завдань. Істотна новизна тісно пов'язана з позитивним ефектом. Під поняттям "позитивний ефект" мається на увазі конкретна користь, створювана винаходом, наприклад, підвищення продуктивності машини; поліпшення якості й здешевлення продукту; спрощення процесу виробництва; поліпшення умов праці й техніки безпеки й т.д., а також досягнення колишнього ефекту більш простими засобами або способами без зниження якості продукту або практичною перевагою виникаючих переваг у порівнянні з попередніми технічними рішеннями того ж завдання.

Об'єктами винаходів у будівельному машинобудуванні є пристрої, способи або речовини. До пристроїв ставляться прилади, машини, вироби, устаткування, електричні схеми й т.д. До способів належать способи виготовлення виробів, одержання матеріалів і т.д. До речовин відносяться суміші (сировинні й інші), нові матеріали й т.д.

З наведених визначень виходить, що випадкових винаходів бути не може, оскільки всі винаходи створюються цілеспрямовано. Дійсно, серед розглянутих прикладів важко знайти абсолютно випадкові винаходи. У цьому полягає їх відмінність від відкриттів.

## **1) Неминучість винаходу**

У якому ступені винахід неминучий? Якщо новий винахід забезпечує досягнення деякого рівня функціональних характеристик, що перевищують ті, які

були раніше, чи можна вважати його несподіванкою, або потрібно вважати його неминучим результатом науково-технічного розвитку? Можна привести багато переконливих прикладів того, що винахід дійсно є неминучим.

Наприклад Гілфілан сформулював принцип еквівалентного винаходу: "Усвідомлена необхідність задовольняється різними як відмінними, так і повторними винаходами, над якими одночасно й паралельно працюють інші вчені, часто зовсім не схожим шляхом досягаючи тієї ж мети в той же самий час". Відповідно до цього принципу він дає висновок: "Одиночний винахід ніколи не робить перевороту в цивілізації й не вносить завдяки своїй появі ніяких серйозних змін у життя людей". Інакше кажучи, якась зміна, так чи інакше, могло б відбутися навіть і без винаходу, тому що інші, уже зроблені винаходи, виконують ту ж функцію іншим способом.

Технологічні нововведення з'являються як реакція на соціальні й економічні потреби. Певна потреба може бути задоволена кожним з декількох способів, які з технічної точки зору зовсім не обов'язково повинні бути схожими. Розробка багатьох, різних, технічних способів може бути продовжена доти, поки один з них не стане домінуючим. Якщо жоден з них не став домінуючим, можуть паралельно існувати кілька конкуруючих способів.

## **2) Випадкові (помилкові) винаходу**

Винаходи такого роду досить рідкі. Наприклад:

- **Печиво зі шматочками шоколаду.** Один із самих популярних видів печива в США. Воно було винайдено в 1930-і роки, коли господарка невеликого готелю вирішила спекти масляне печиво. Жінка розламала шоколадну плитку й перемішала шматочки шоколаду з тістом, розраховуючи, що шоколад матиме коричневий колір й шоколадний присмак. Однак з духовки вона дістала печиво зі шматочками шоколаду.

- **Клейкі папірці для заміток.** З'явилися в результаті невдалого експерименту по посиленню стійкості клею. В 1968 році співробітник дослідницької лабораторії компанії 3М намагався поліпшити якість клейкої стрічки (скотча). Він отримав

щільний клей, що не усмоктувався, і був зовсім не потрібний для виробництва скотча. Дослідник не знав, яким способом можна його використовувати. Через чотири роки, його колега, згадав про клей, для закріплювати паперових закладок які б не ушкоджували сторінок книги. В 1980 році Post-it Notes були вперше випущені в продаж.

Добре видно, що всі перераховані винаходи, стали результатами побічних ефектів цілеспрямованої роботи. Тобто, ці й інші відкриття, які, зараховуються до випадкових, у дійсності є помилковими.

### **3) Повторні й одночасні винаходи**

У Британській енциклопедії в розділі "Винаходи і відкриття" перераховується ряд повторних винаходів. Особливо вдалим прикладом є приклад з пароплавом. У статті відзначається, що ще до Роберта Фултона приблизно близько 30 пароплавів було побудовано й діяло в Англії й Сполучених Штатах, причому найперший пароплав з'явився в 1787 р., за 20 років до фултоновського "Клермонта". У статті згадуються винаходи, які були повторені неодноразово:

- телеграф,
- косарка,
- кіно,
- електрична лампа накаливання,
- швейна машина
- ліфт

На основі цього робиться висновок: "При наявності технічної спадковості й сприятливих соціальних умов винахід неминучий".

### **4) Події – попередники**

Можливо, здасться трохи дивним той факт, що додаткове попередження про відкриття транзистора з'явилося набагато раніше 1945 р. В 1925 р. Лильєнфельд отримав патент на твердотільний підсилювач. Із креслення, наведеного в патенті, ясно, що пристрій, міг бути канальним транзистором. В 1935 р. Оскар Хейл із Берліна отримав англійський патент № 439457 на пристрій, у якому можна

впізнати каналний транзистор. Невідомо, чи сконструювали б коли-небудь Лильєнфельд і Хейл працюючі моделі своїх пристроїв. Труднощі могли виникнути головним чином через матеріали, що були в той час. Проте, сам факт існування патентів міг слугувати попередженням про те, що існують варіанти досягнення необхідних у даному, випадку функціональних характеристик, крім вакуумної лампи.

### **5) Одночасні винаходи**

Найвідомішим з таких подій є винахід телефону:

- **Телефон.** М. Белл представив прохання на отримання патенту на телефон на 2 години раніше Елізи Грей (24 лютого 1876 року).
- **Радіо.** Практично одночасно винайдено Поповим і Маркони.
- **Підзорна труба.** На самому початку XVII століття в Голландії майже одночасно про цей винахід заявили три оптики - Липперсгей, Мециус й Янсен.

### **6) Несподівані винаходи**

Як уже було відзначено, несподіваних винаходів не буває. Часто як приклад такого «несподіваного» винаходу приводять винахід гуми.

- **Гума.** В 1844 році винахідник Чарльз Гудийр\Charles Goodyear випадково відкрив рецепт виготовлення матеріалу, що не розм'якшується при високих температурах й не стає м'яким на морозі. Нова технологія отримала назву вулканізації. Гудийр, багато років безуспішно намагаючись поліпшити якість каучуку, один раз випадково нагрів суміш каучуку й сірки на кухонній плиті. Таким чином відносно Гудийра, то випадковістю був тільки час винаходу, адже він багато років змішував каучук з різними речовинами. Просто, цього разу йому повезло більше. Тобто, це типовий приклад методу проб і помилок.

### **7) Передчасні (передбачені) винаходу**

Всі передчасні винаходи за повних умов можуть бути віднесені до розряду передбачених. Дійсно, якщо був зроблений винахід, що не знайшло застосування

у своєму часі, те це значить, що винахідник угадав виникнення потреби в цьому винаході тоді, коли цієї потреби ще не було.

Найвідоміші приклади таких винаходів:

- **Леонардо да Вінчі**: проект вертольота (1475), бойового гарматного візка (1483), вогнепальної нарізної зброї, верстата для насічки напилків, верстата для прядіння канатів, верстата для нарізування гвинтів, прокатного стана, волочильного стана, тангенціальної турбіни, відцентрового насоса, гідравлічного преса й парашута (близько 1500).

- **Кулібін**: ліхтар із дзеркальним відбивачем (прототип прожектора), ліфт і гнучкий протез ноги (близько 1779).

### **8) Запізнілі винаходи**

- **Лазер**. Так, перший лазер запрацював тільки в 1960 році, хоча теоретично лазери могли бути створені безпосередньо після появи роботи Ейнштейна про квантову теорію індукованого випромінювання (1916 г). Запізнювання пов'язане з тим, що створення генератора було легше зробити радіофізикам, ніж оптикам.

- **Телескоп**. Підзорні труби були у вжитку вже в 13 столітті, але треба було ще 4 сторіччя, щоб замість однієї пари стекол використати відразу 4 пари й у такий спосіб створити телескоп.

- **Менісковий Телескоп**. На думку самого винахідника цей телескоп міг бути винайдений на 100 років раніше.

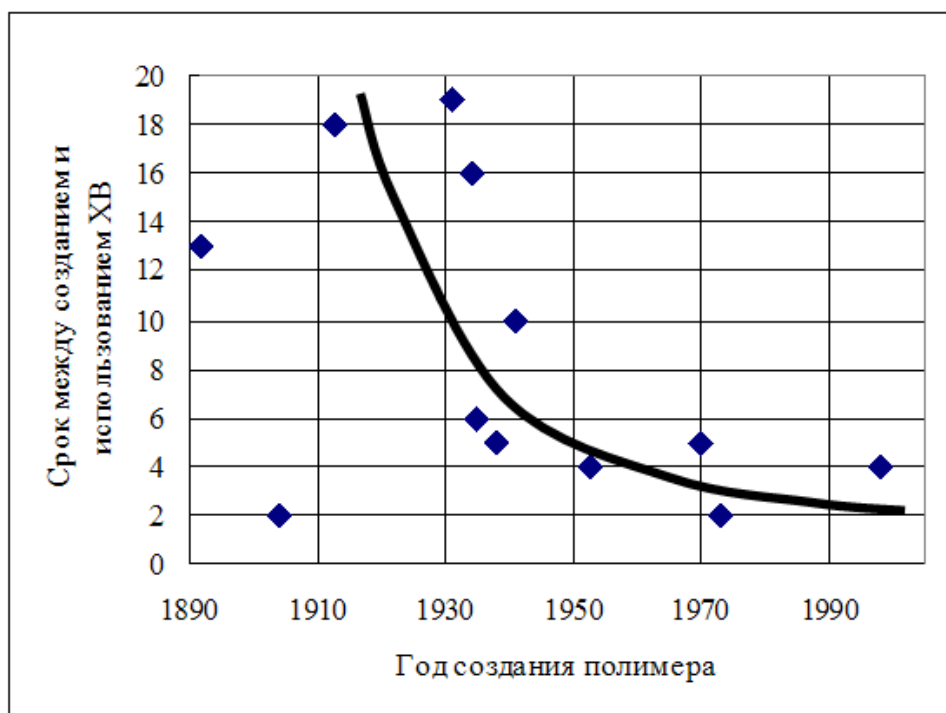
### **1.2.3 Інновації**

Логічним продовженням відкриття й створеного на його основі винаходу є широке застосування цього винаходу в практиці. Тобто, розвиток техніки проходить досить добре обкреслений цикл, що включає більш-менш відмінні один від іншого послідовні етапи. Час, необхідний для того, щоб перебороти всю послідовність подій, змінюється від одного нововведення до іншого, але нововведення ніколи не робить швидкого стрибка від наукового відкриття до широкого його застосування і тільки поступово проникає в інші галузі. Ця обставина надає можливість розробнику ураховувати "попередження" про зміни в техніці й розглядати явища, що його цікавлять, у зародковому стані.

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

Наприклад, Аинн У виявив, що для ряду нововведень, впроваджених після другої світової війни, треба було 22 роки, перш ніж нововведення забезпечило 0,1% сукупного суспільного продукту. У результаті чого робить висновок: "Майже всі без винятку технологічні нововведення, які вплинуть на нашу економіку й суспільство протягом наступних років або, уже впроваджені в промисловість як вироби або процеси, або такі які будуть мати значний вплив протягом наступних десяти років, уже, щонайменше, перебувають у стадії готовності й промислової розробки". Можна було б ще додати: ті нововведення, які будуть мати істотне значення через десять років, базуються на уже завершених наукових дослідженнях. У роботі [1], показано, що від моменту завершення науково-дослідної роботи, до використання цього дослідження в дослідно-конструкторських розробках проходить у середньому 14 років.

На Рис. 1.2 показано, що яке запізнювання відбувається й при використанні полімерних матеріалів.



*Рис. 1.2. Життєвий цикл об'єкта проектування*

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

Крім того, наведений графік ілюструє ще одну цікаву загальну тенденцію: строк між створенням і промисловим випуском матеріалу зменшується. Ця ж тенденція характерна й для інших матеріалів.

### **Одночасні інновації**

Коли з'явився яке-небудь дійсно важливий винахід, то його впровадження починається практично одночасно в різних країнах. Особливо це помітно в такій ключовій області як оборона. Найвідомішими прикладами є створення реактивної авіації, ракетної техніки й атомної зброї.

### **Запізнілі інновації**

На поширення інновації значний вплив робить середовище, тобто людське суспільство, потреби якого ця інновація задовольняє. Однак, саме суспільство не позбавлене недоліків. Найвідомішими прикладами гальмування інновації по ідеологічних причинах є гоніння на генетику (реакційне навчання по Менделю) і кібернетику (лженаука, «продажна дівка» імперіалізму) у СРСР, що привело до катастрофічного відставання в цих галузях.

## **ВИСНОВКИ**

Таким чином, для відкриттів поняття «випадковість» має дуже обмежене використання й справедливе тільки для так званих «несподіваних» відкриттів. Дійсно, якщо в природі існує явище, то воно рано, або пізно, буде відкрито. Причому, якщо створено досить міцну базу (у вигляді подій - попередників) те вся його «випадковість» буде визначатися тільки часом і місцем цього відкриття.

Що стосується винаходів, то зовсім випадкових винаходів бути не може, тому що для будь-якого винаходу існує якийсь відкриття, на якому воно базується. Всі «випадкові» винаходи є результатом помилок при створенні зовсім інших винаходів.

Таким чином, що ідея про закономірності розвитку техніки є справедливою. Це дозволяє сподіватися, що в майбутньому можуть бути створені більш ефективні механізми для пророкування появи нових винаходів.

## **ТЕМА 2 КОНСТРУЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ОСНОВІ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ**

### **2.1 Загальні положення**

Машини й складальні одиниці /вузли/ збирають із окремих деталей. Конструкцію деталі розглядають як сукупність функціональних і структурних частин, прийнятих за підсистеми. Ці підсистеми взаємозалежні й забезпечують службове призначення деталі як системи. Рівень досконалості конструкції деталі в значній мірі визначає якість всієї машини.

### **2.2 Вимоги експлуатації й вимоги виробництва**

При конструюванні необхідно забезпечити виконання:

- вимог експлуатації;
- вимог виробництва /виготовлення/.

Ці вимоги найчастіше носять суперечливий характер, тому вибір оптимального варіанта конструкції вимагає використання системного підходу.

Вимоги експлуатації містять наступні основні потреби:

- службового призначення;
- технологічного процесу ремонту;
- організації проведення ремонту.

Вимоги виробництва /виготовлення/ містять наступні основні етапи, які повинні бути враховані в конструкції:

- технологічного процесу;
- обслуговування технологічного процесу;
- допоміжного процесу;
- обслуговування допоміжного процесу;
- організації виробництва.



### **2.3 Два процеси проектування деталі**

При проектуванні протікає два процеси:

- розрахунок конструкції /розмірів/ деталі.
- зображення конструкції деталі;

Залежно від наявності розрахункових методик, складності конструкції, наявності розрахункової бази ці два процеси можуть протікати:

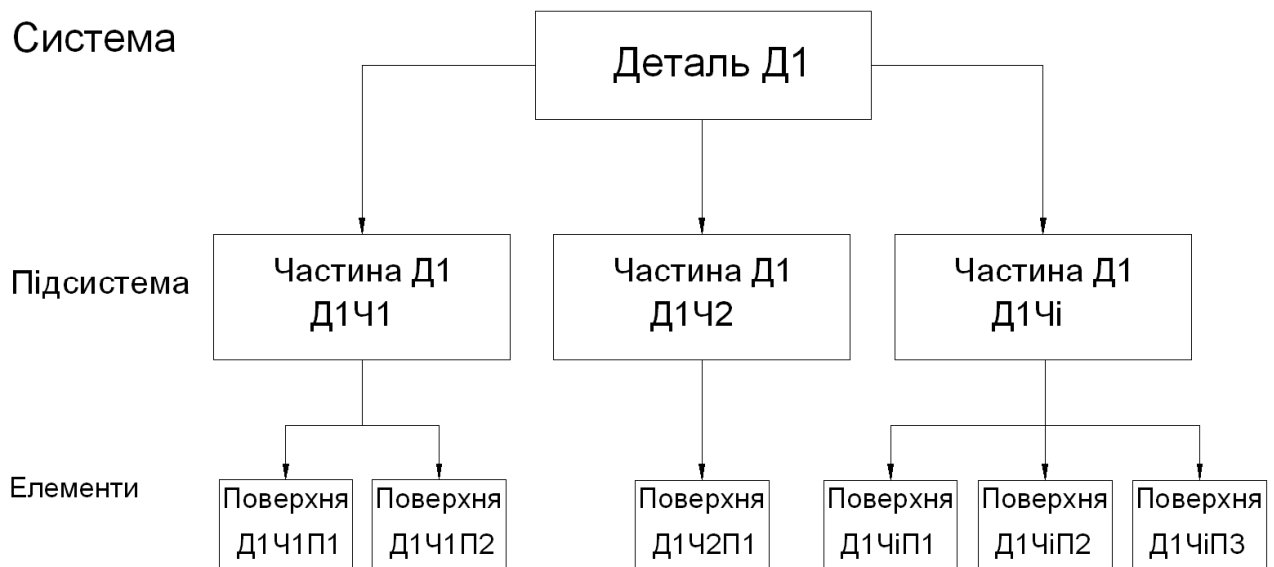
- паралельно;
- послідовно;
- чергуючись.

Через нерозв'язаність цих факторів, зараз багато розмірів деталей встановлюються конструктором за аналогією. Так, при проектуванні зубчастих коліс розрахунком отримують тільки 30% розмірів необхідних для виготовлення деталей. Це приводить до багатьох змін, внесеним у креслення деталей у процесі доведення машини й навіть при її серійному виробництві. Цим у значній мірі пояснюється існування таких структурних підрозділів на машинобудівних підприємствах як конструкторські. Цих доробок можна було б уникнути при більш глибокому комплексному розгляді питань при конструюванні.

### **2.4 Структурний аналіз конструкції деталі**

Звичайно деталь приймається як система, функціональні й структурні частини деталі розглядають як підсистеми, а поверхні деталі - як елементи.

На рис.2.1 дана структурна схема конструкції деталі.



*Рис.2.1 Структурна схема конструкції деталі.*

ПРИКЛАД. Побудувати структурну схему вилки механізму ножиців живильника склоформуючої машини. Структурна схема наведена на рис.2.2.

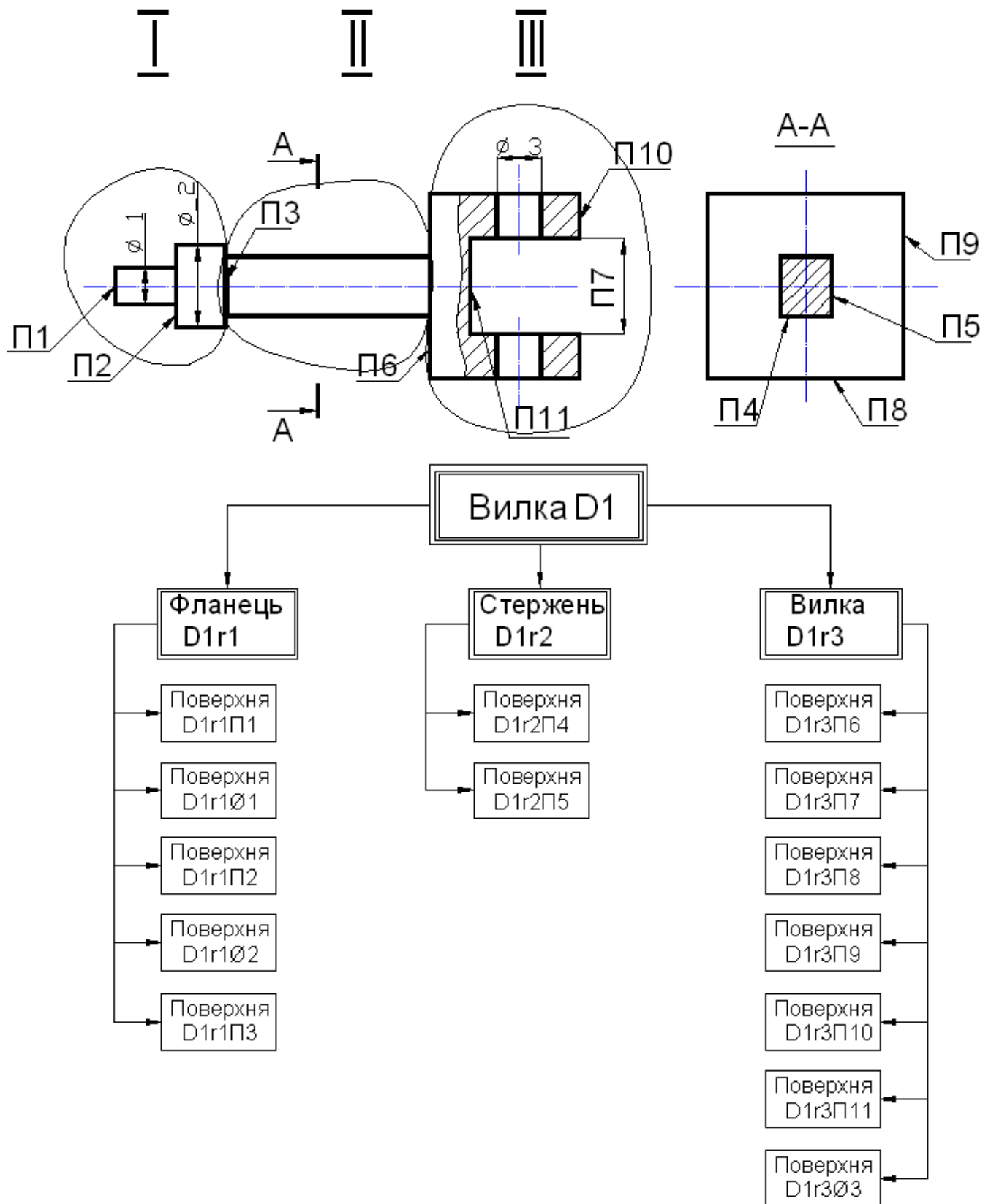


Рис.2.2 Структурна схема вилки механізму ножиців живильника

## 2.5 Структурний аналіз технологічного процесу виготовлення деталі

Стосовно до механічної обробки виробничий процес приймають за систему, технологічний і допоміжний процеси - за підсистеми, а операції технологічного й допоміжного процесів - за елементи.

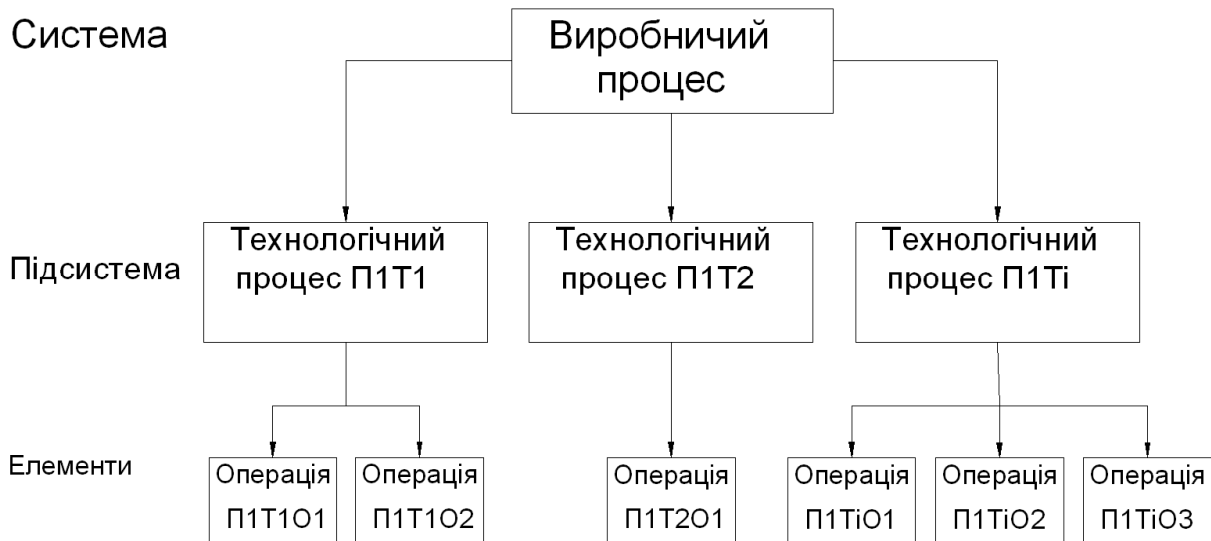


Рис.2.3 Структурна схема виробничого процесу.

Прийнято розглядати три типи виробництва:

- одиничне /індивідуальне/;
- серійне;
- масове.

Цей розподіл умовний й залежить від обсягу виробництва і його складності.

Вимоги службового призначення носять постійний характер, а вимоги виробництва залежать від обсягу випуску деталей.

ПРИКЛАД. Побудувати структуру виробничого процесу виготовлення корпусу плунжера живильника. Структура наведена на рис.2.4.

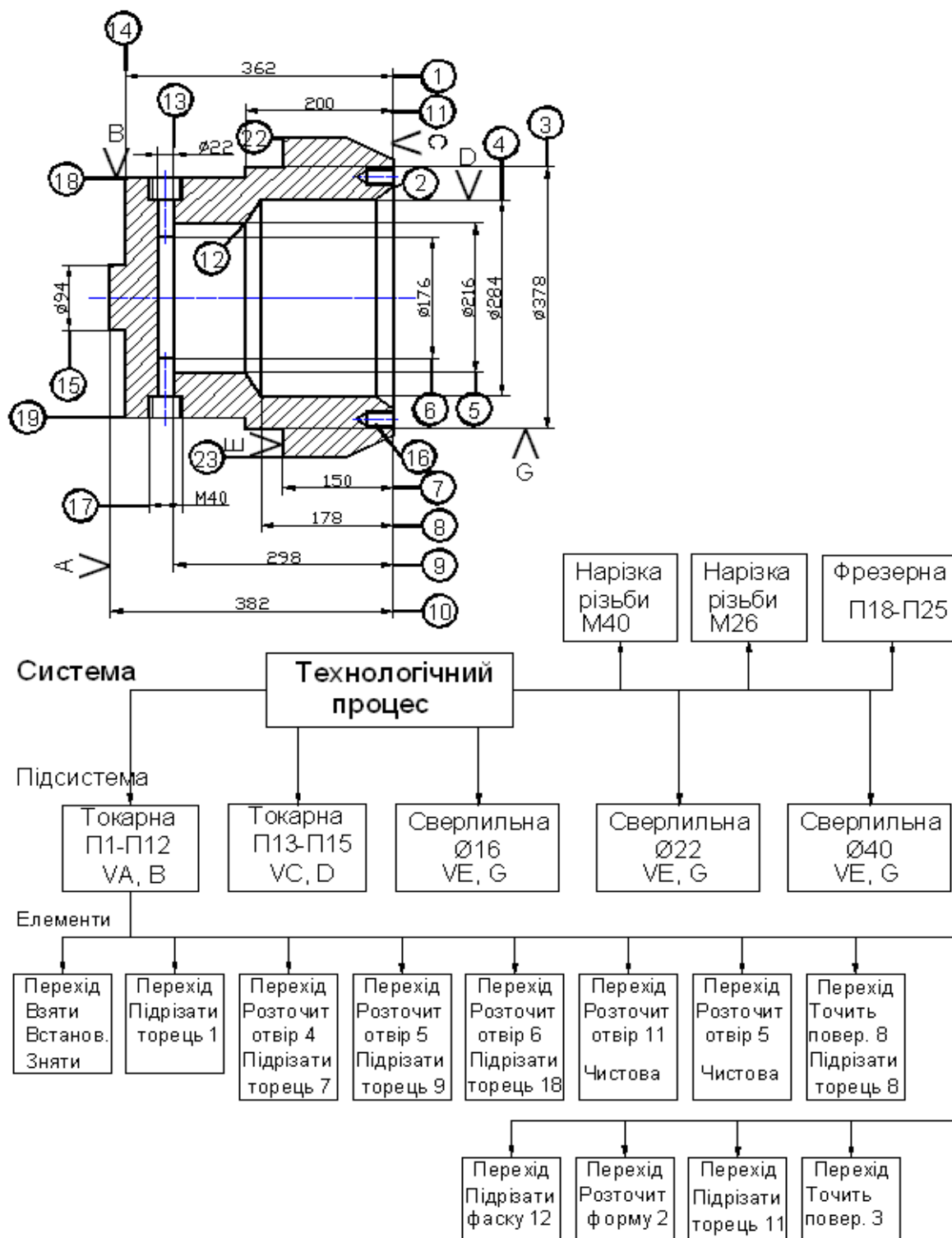


Рис.2.4. Структурна схема виробничого процесу виготовлення корпуса плунжера живильника

## 2.6 Системна модель проектування оптимальної конструкції деталі

Кожній вимозі експлуатаційного й виробничого характеру може відповідати деяке число варіантів конструкції деталі. Це створює передумови для розробки оптимальної конструкції деталі.

На рис.2.5 наведена системна модель проектування оптимальної конструкції, де

Э1, Э2, Э3 - вимоги експлуатаційного характеру,

Д1Е1, Д2Е2...- варіанти деталі, що відповідають цим вимогам,

П1, П2, ...Пі - варіанти вимог виробничого характеру,

Д1П1, Д2П1...- варіанти деталі, що відповідають цим вимогам.



Рис.2.5 Системна модель проектування оптимальної конструкції деталі.

У варіантах деталі Д1Е1, Д2Е1, Діэ1, Д1Е2, Д2Е2, Діэ2, Д1Эі, Д2Эі, Діэі у відомій мірі задовільняються вимоги виробництва.

Варіанти конструкції деталі Д1П1, Д2П1, Діп1, Д1П2, Д2П2, Діп2, Д1Пі, Д2Пі, Діпі найбільше повно відповідають вимогам виробництва /виготовлення/.

### **2.7 Послідовність рішення задачі оптимізації конструкції деталі**

На стадії розробки варіантів конструкції деталі повністю задовольняються вимоги експлуатації й обмежено задовольняються вимоги виробництва в частині загальних вимог технологічного процесу виготовлення й у ще меншій мері вимоги організації виробництва.

На стадіях розробки поопераційного технологічного процесу виготовлення деталі й остаточного рішення по організації виробництва повністю задовольняються вимоги виробництва й по цих результатах вибирається оптимальний варіант конструкції деталі Дізі=Доптэопт.

Визначивши всі вимоги експлуатації Дізі виконавши пункт поопераційного технологічного процесу виготовлення деталі знаходимо оптимальний Діпі, виконуємо для нього операційні процеси, де остаточно враховуємо Пі і вибираємо оптимальний варіант конструкції з урахуванням Дізі. Оптимальним може виявитися Діпі, Дізі або ж новий варіант конструкції, що складає із частин Діпі, Дізі.

## ТЕМА 3 ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

### 3.1 Загальні положення

Методи моделювання роботи конструкцій при дії різних фізичних навантажень, без натурного моделювання, виникли досить давно. Поява і розвиток обчислювальної техніки дало новий поштовх удосконалюванню чисельних методів аналізу, що є сьогодні основним інструментом конструктора. Системи автоматизації проектувальних робіт, які засновані на чисельних методах, стали невід'ємною частиною процесу конструювання деталей та виробів. Для успішного застосування кожен розрахунковий пакет повинний відповідати двом вимогам:

1. Утілювати найефективніші чисельні алгоритми;
2. Надавати користувачу розвинутій набір сервісних функцій по підготовці вихідних даних і обробці результатів розрахунку.

У залежності від ступеня відповідності даним критеріям усі програмні засоби автоматизації підрозділяються на легкі, середні і важкі. Ця ступінь, у даному випадку, є показником потужності й ефективності. Розглянемо можливості деяких комплексів орієнтованих на автоматизацію проектування, підготовку виробництва, інженерних розрахунків і аналізу конструкцій.

#### **Системи для розрахунку на міцність**

Використовується для розрахунку конструкцій різного типу з врахуванням різних фізичних впливів. Виконуються як лінійні, так і нелінійні, статичні та динамічні розрахунки конструкцій. За звичай виконуються рішення лінійних і нелінійних задач стійкості і теплофізики.

ANSYS, CATIA, NOSTRAN, ABAQUS, АПРОКС, ВЕСНА.

#### **Системи для розв'язку задач аерогідродинаміки**



## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

Використовуються для рішення задач механіки рідин і газів що включають стаціонарні й нестаціонарні моделі; ламінарні моделі - модель Ньютона й неньютоновские рідини. Широкий вибір моделей турбулентності, теплопровідність; вільні поверхні.

ANSYS, Star-CD, CFX, FLUENT, FlowVision.

### **Системи проектування**

Використовуються для широкого спектра проектно-конструкторських робіт. Дозволяє здійснювати 2D та 3D проектування і конструювання, швидку підготовку і випуск різноманітної креслярсько-конструкторської документації, створення технічних текстово-графічних документів. Твердотільне параметричне моделювання складних деталей та складальних креслень

**AutoCAD, КОМПАС, SolidWorks**

### *3.1 Системи для розрахунку на міцність*

**ANSYS** - Скінченоелементний пакет. Найбільш використовуваний засіб для забезпечення інженерних розрахунків у світі. Універсальний розрахунковий комплекс, що застосовується у різних видах аналізу. Використовується для розрахунку конструкцій різного типу (авіабудування, суднобудування, машинобудування, будівництво, енергетика, електронна промисловість і ін.) з врахуванням різних фізичних впливів. З його допомогою виконуються як лінійні, так і нелінійні статичні та динамічні розрахунки конструкцій, аналіз усталостних руйнувань, рішення лінійних і нелінійних задач стійкості і теплофізики. Задачі гідро- і газодинаміки, акустики, електродинаміки й електростатики, п'єзоелектрика. Єдиний із представлених на світовому ринку комплекс, за допомогою якого, з використанням однієї бази, розв'язуються задачі типу теплофізика-міцність, електродинаміка-міцність, гідро-газодинаміка і міцність і ін. ANSYS дозволяє конструктору ще в процесі проектування передбачити поведінку виробу і провести розрахунок на

міцність, модальний і тепловий аналізи. Звести задачу до значень напружень, деформацій та розподілу температур і теплових потоків, які виникають при роботі виробу. Ґрунтуючись на виведених програмою колірних контурах, що являють градації “необхідності” матеріалу (залишити, забрати), конструктор може вилучити непотрібний матеріал, підводячи конструкцію до оптимального вагового співвідношення. Розроблювач – ANSYS Inc., США.  
<http://www.ansys.com> <http://www.cosmos.rcnet.ru> <http://www.spark.nstu.nsk.su>

**NOSTRAN** - Msc/nastran для Windows – це система інженерних розрахунків, заснована на методі кінцевих елементів. Пакет розроблений фахівцями фірми Macneal Schwendler Corporation (США) на базі широкої відомої однойменної системи для UNIX.

Геометричні моделі для Msc/nastran можна як формувати за допомогою внутрішнього препроцесора системи, так і імпортувати з будь-якої іншої CAD-системи. Msc/nastran для Windows має прямий інтерфейс з системою твердотілого параметричного моделювання Solidworks. Крім того, система може працювати з готовими скінченоелементними моделями, які були створені за допомогою інших систем інженерних розрахунків і потім передані в Msc/nastran.

Система має модульну архітектуру, і конкретна конфігурація може бути визначена окремо для кожного користувача. При цьому для роботи з будь-яким з додаткових модулів необхідно мати базовий модуль Basic Analysis, який дозволяє проводити наступні види розрахунків:

- Лінійні статичні розрахунки. Аналіз напруги і переміщень під впливом як фізичних, так і теплових навантажень;
- Розрахунок власних частот і форм коливань;
- Визначення подовжнього вигину для центрально навантаженого стрижня.

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

Модулі Advanced Analysis розширюють можливості базового модуля і дозволяють проводити нелінійний і динамічний аналіз, а також тепловий розрахунок.

Модуль нелінійного аналізу (Nonlinear Analysis) дозволяє вирішувати статичні і динамічні завдання з урахуванням фізичної і геометричної нелінійності.

Розглядаються наступні види фізичної нелінійності (нелінійні властивості матеріалів):

- Пластичність (для малих деформацій).
- Умови текучості по Мізесу і Трісці.
- Умови текучості Мору-Кулона і Друкера-прагера.
- Ізотропне, кінематичне і комбіноване зміцнення.
- Білінійний і багатоточковий методи завдання кривих залежності напруги від деформацій.

- Гіперпружні властивості (для великих деформацій).
- Нелінійна пружність (для малих деформацій).
- Термопружність.
- В'язкоупругість(повзучість).
- В'язкопружність з урахуванням пластичності.

Геометрична нелінійність:

- Великі переміщення і великі кути повороту (модифікований лагранжіан).
- Великі деформації (повний лагранжіан для гіперпружних матеріалів).
- Аналіз втрати стійкості.
- Стежачі навантаження.

Модуль розрахунку теплопередачі (Heat Transfer) вирішує наступні завдання:

- Лінійний і/або нелінійний сталий стан.
- Лінійні і/або нелінійні перехідні процеси.

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

- Простий перехід до розрахунку температурних деформацій і напруги.

Модуль динамічного аналізу (Dynamic Response) призначений для вирішення завдань дослідження напружено-деформованого стану конструкцій, які схильні до дії навантажень, що змінюються залежно від часу або частоти.

Повністю інтегрована в Msc/nastran для Windows система Cfdesign вирішує завдання гідрогазодинаміки, включаючи ламінарний і турбулентний перебіг рідини і газу з можливістю розрахунку процесів теплопередачі.

Існує і "полегшений" модуль MSC Working Model, повністю інтегрований з пакетом Solidworks (що працює як вбудоване застосування) і призначений спеціально для конструкторів, що працюють з Solidworks, але що не володіють глибокими теоретичними знаннями в області розрахунків методом кінцевих елементів. <http://www.nostran.com>

**COSMOS** - Cosmos/m – один з найбільш передових і універсальних пакетів звичайно-елементного аналізу – включає наступні можливості:

- створення геометричних моделей як окремих деталей, так і складок;
- звичайно-елементне представлення геометричних моделей для подальшого аналізу;
- сучасні способи візуалізації геометричних об'єктів і результатів рішення.

Предметами дослідження можуть виступати тепловий і напружено-деформований стан елементів конструкції, стійкість і частотні характеристики об'єктів, динамічний відгук, в тому, електромагнетизм, високочастотний аналіз, динаміка рідких середовищ. Велика частина завдань вирішується і в нелінійній постановці.

Cosmos/m – модульна система, яка функціонує на платформах Windows і UNIX. Зараз існує 10 модулів, один з яких (GEOSTAR) є пре- і процесором поста, два (OPTSTAR – оптимізація, Translators – транслятори для FEM-форматів –

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

допоміжні, а сім останніх – обчислювальні і призначені для вирішення різноманітних завдань математичної фізики.

З модулів komponуються пакети Cosmos/m, які можна достатньо умовно розділити по варіантах на Базовий (Basic), Проміжний (Intermediate) і Вдосконалений (Advanced). Кожен з варіантів залежно від рівня складності вирішуваних завдань адресований різним групам користувачів. В той же час користувач сам може визначити необхідний набір модулів. <http://www.cosmos.com>

**ABAQUS** - ABAQUS Програмний скінченоелементний комплекс ABAQUS загального призначення, як для проведення інженерного аналізу на міцність, так і для науково-дослідних і учбових цілей.

Основні сфери діяльності, де може і вже використовується ABAQUS:

- автомобілебудування (BMW, FORD, General Motors, Mercedes, Toyota, Volvo, Goodyear);
- авіабудування/Оборона (General Dynamics, Lockheed Martin, US Navy, Boeing);
- електроніка (HP, Motorola, IBM, Digital);
- металургія (British Steel, Dupont);
- виробництво енергії (ABB, AEA Technology, EPRI, Атоменергопроект);
- нафтовидобуток і переробка (Exxon/mobil, Shell, Dow);
- виробництво товарів народного споживання (3m, Kodak, Gillette);
- загальна механіка і геомеханіка (Geoconsult, ISMES, ВНІІГ Веденєєва).

За допомогою ABAQUS можна проводити аналіз таких складних проблем як розрахунок міцності турбомашин, рухових установок, шасі і трансмісій, виробництво шин, зварка, аналіз аварійних зіткнень (краш-тести), тести на падіння, надпластичні формування, пробиття матеріалу, розрахунок композиційних структур, литво металів, контактна взаємодія великого числа тіл і

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

контакт, сейсмічні дії, вибухові дії, розрахунок надійності ядерних реакторів, розрахунок міцності електронних компонент.

ABAQUS тісно інтегрований практично зі всіма CAD-системами, має сучасний і могутній власний пре-постпроцесор Abaqus/cae. Слід також відзначити зв'язок через інтерфейси з іншими програмними продуктами такими як ADAMS (кінематика і динаміка вузлів і механізмів), SYSNOISE (акустика і віброакустика), Moldflow (литво пластмас) Flowvision (аеро- і гідродинаміка).

Програмний комплекс ABAQUS доступний на всіх стандартних платформах від персональних комп'ютерів з Windows до робочих станцій під UNIX і багатопроцесорних систем.

Застосовується в різних областях з використанням багатопроцесорних обчислювальних систем дозволяючи виконувати наступні типи задач:

- Статичний аналіз напруги / переміщень
- В'язкопружний / вязкопластичеський відгук
- Перехідний динамічний аналіз напруги / переміщень
- Перехідною або сталий аналіз теплопередачі
- Перехідною або сталий аналіз дифузії маси
- Тепло - механіка (послідовне або повністю зв'язане рішення)
- Тепло - електрика
- Потік в пористому середовищі - механіка
- Напруження - дифузія маси (послідовно зв'язане рішення)
- Пьезоелектрика (тільки лінійна)
- Контактний аналіз
- Акустика - вібрації (тільки лінійна)

<http://www.tesis.com.ru/software/abaqus/platforms.php>.

**ADAMS** - Динаміка і кінематика складних механічних схем (механізмів) довільного виду, у т.ч. у реальному масштабі часу. Двосторонній зв'язок з

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

більшістю кінцево-елементних пакетів. Візуалізація результатів моделювання (відеореалістична анімація). Спеціалізовані модулі для конкретних галузей промисловості. Розроблювач - Mechanical Dynamics, Inc., США.  
<http://www.adams.com> <http://www.designtechnologies.com> <http://www.uscad.com>

**CATIA/CADAM Solutions** - CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) - це цілком інтегрована універсальна CAD/CAM/CAE система високого рівня, що дозволяє забезпечити рівнобіжне проведення конструкторсько-виробничого циклу САТІА. Будучи універсальною системою автоматизованого проектування, широко застосовується на великих машинобудівних підприємствах в усьому світі для автоматизованого проектування, підготовки виробництва, реінженерінга, випробування і виготовлення деталей та вузлів. Число фірм-користувачів САТІА перевищує 8 тисяч. Функції, підтримувані САТІА/CADAM Solutions: · адміністрування - планування, керування ресурсами, інспектування і документування проекту; · опис усіх механічних зв'язків між компонентами об'єкта і приведення їх у стан просторового взаємного позиціонування; · автоматичний аналіз геометричних і логічних конфліктів · аналіз властивостей складних складальних креслень; · розроблений інструментарій трасувань систем комунікацій з дотриманням заданих обмежень; · спеціалізовані додатки для технологічної підготовки виробництва. Компанії DASSAULT SYSTEMES (Франція) і IBM (США) є спільними розроблювачами і розповсюджувачами цієї системи автоматизованого проектування. <http://www.catia.ibm.com> <http://www.catia.com> <http://www.catia.ru> <http://www.ibm.ru> <http://www.catia.spb.ru>

**Pro/ENGINEER** - Система високого рівня, САПР для єдиного циклу проектування–виробництво. Програмний комплекс Pro/ENGINEER охоплює весь цикл “конструювання – виробництво” у машинобудуванні. В усьому світі більш 16000 компаній використовують програмні продукти фірми PTC для скорочення тривалості наскрізних проектно-виробничих циклів, оптимізації інженерних процесів і поліпшення якості продукції. Ядро Pro/ENGINEER використовує унікальну по своїх можливостях технологію - Proven Technology, засновану на граничних представленнях. Розроблювач - Parametric Technology

Corporation, США. <http://www.ptc.com> <http://www.cv.com> <http://www.solver-net.com> <http://www.solver-net.ru>

**LS-DYNA** - багатоцільова програма, що використовує метод кінцевих елементів(МКЕ), - призначена для аналізу нелінійного динамічного відгуку тривимірних пружних структур. Включає високоефективний алгоритм рішення нелінійних і швидкоминучих процесів, автоматизований процес рішення контактних задач, а також безліч функцій по перевірці одержуваного рішення дозволяють інженерам в усім світі успішно вирішувати важкі завдання удару, руйнування й формування. Унікальний математичний апарат включає більше 25 алгоритмів контактної взаємодії, більше 100 рівнянь стану, що дозволяє вирішувати завдання: Нелінійної динаміки, Теплові; Руйнування; Розвитку тріщин; Контактну; Квазистатику; Ейлерового формулювання МКЕ; Довільного лагранж-ейлерова поводження; Акустики в реальному масштабі часу; Багатодисциплінарного аналізу: міцність, теплофізика, акустика;

**Eta/DYNAFORM** - спеціалізований програмний комплекс, орієнтований на моделювання процесів листового штампування й математичний апарат, що використає як ядро, програми LS-DYNA. Пре- і постпроцесинг DYNAFORM побудований з урахуванням всіх специфічних особливостей техпроцеса: він автоматизує стандартні операції підготовки розрахункової схеми й функції оцінки й інтерпретації результатів аналізу й базується на загальноприйнятій термінології, знайомій кожному інженерові-технологу. Інструментарій програми включає: Автоматична побудова сіток; Адаптивні сітки з анімацією історії побудови; Велику бібліотеку промислових матеріалів; Автоматизоване позиціонування інструмента; Залучення явищ втрати стійкості аркуша - жолоблення; Розрахунок тангенціальних зусиль під притисками (гальмовими ребрами); Розрахунок пружного розвантаження виробу; Високоякісну візуалізацію всіх результатів й анімацію; Побудова граничної діаграми "формуємості".

**CADfix** включає унікальний набір засобів по відновленню геометричних моделей, аж до одержання твердотільної моделі по незв'язаному каркасному наборі опорних ліній, а також по модифікації й експорту геометричних файлів. Одним з найважливіших призначень CADfix – створення розрахункових



моделей для кінцево-елементного розрахунку - доведення твердотільної геометрії до прийнятної для розбивки стану й безпосередня розбивка на кінцеві елементи. Можливості CADfix: Автоматичне сканування й візуалізація виявлених проблем з підказкою методики вирішення; Автоматизована ітераційна процедура відновлення моделі; Обрізка поверхонь; Зшивка в межах автоматично обумовленої або точності, що задає користувачем; Розбивка твердих тіл на більше прості складові; Наявність власного сіткового генератора;

**C-MOLD** виконує чисельне моделювання процесів обробки пластмас. Заснована на МКЕ програма C-MOLD призначена для комп'ютерного моделювання процесів обробки всіх видів пластмас. У програмі реалізоване моделювання велика кількість технологічних процесів, зокрема: лиття, термопластів під тиском, інжекційного лиття із застосуванням газу, процесів двухкомпонентного лиття, пневмовакуумформування з урахуванням явищ усадки й жолоблення й багатьох інших, а крім того, розрахунок параметрів матеріалу й виробу на всіх стадіях обробки з можливістю оптимізації як форми лиття (положення, форма літників і т.д.), так і самого виробу.

### ***3.2 Системи для розв'язку задач аерогідродинаміки***

**Star-CD** була першою у світі програмою, що включила в себе процедуру так званих ковзних сіток. Ефективна паралелізація алгоритму рішення, заснованого на застосуванні методу кінцевих об'ємів, у сполученні з унікальними методиками автоматизованої розбивки області течії дозволяє моделювати завдання будь-якого ступеня геометричної складності. Традиційними галузями застосування Star-CD є наступні: Транспорт; Енергетика; Хімічна й обробна; Загальне машинобудування; Будівельна; Електротехнічна й електронна; Газо- і нафтовидобуток;

Star-CD є багатоцільовим єдиним CFD-пакетом, що надає користувачеві наступні можливості для рішення завдань механіки рідин і газів на всіх типах сіток: Стаціонарні й нестаціонарні течії; Ламінарні течії - модель Ньютона й неньютонівські рідини; Турбулентні течії (застосовується трохи найбільш відомих моделей); Стисливі, нестисливі (включаючи біля- і надзвукові);

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

Теплопереніс (конвективний, радіаційний, теплопровідність із урахуванням твердих тіл); Массопереніс; Хімічні реакції; Горіння газоподібного, рідкого й твердого палива; Розподілений опір (наприклад, у пористих середовищах, теплообмінниках); Багатокомпонентні плини.

[www.cadferm.ru/program/star\\_cd/star\\_cd.htm](http://www.cadferm.ru/program/star_cd/star_cd.htm)

**CFX** - програмний комплекс, призначений для розрахунку задач аеро- і гідродинаміки. З 2003 року CFX входить до складу програмного комплексу ANSYS, більше правильна назва ANSYS CFX. Сполучає унікальні можливості аналізу гідрогазодинамічних процесів, багатофазних потоків, хімічної кінетики, горіння, радіаційного теплообміну й багатьох інших. CFX забезпечує принципово новий рівень рішення завдань обчислювальної гідрогазодинаміки за рахунок унікального сполучення технологій, починаючи від прямого інтерфейсу до більшості CAD систем і закінчуючи можливістю проводити сполучений рідинно-структурний аналіз разом з ANSYS Multiphysics. Широкий вибір моделей турбулентності, у сполученні з лінійним решателем з технологією "Algebraic Coupled Multigrid" дозволяє домогтися високої точності результатів при рішенні різного класу завдань. CFX є визнаним лідером при розрахунках турбомашин. Програма CFX має широкий спектр додатків, по основних галузях: аерокосмічна, автомобілебудування, суднобудування й морська техніка, нафтогазова й хімічна, турбомашинобудування, теплотехніка, вентиляція й кондиціонування, біомедицинські додатки.

**FLUENT** - програмний комплекс, призначений для рішення завдань механіки рідин і газів. З 2006 року FLUENT входить до складу програмного комплексу ANSYS. Використає неструктуровану сіткову технологію (типи елементів - гексаедри, тетраедри, призми й піраміди). Адаптація розрахункової сітки дозволяє отримати точне рішення для областей з великими градієнтами потоку, наприклад, для прикордонних шарів. Можливості використати моделі динамічної адаптивної сітки дозволяють проводити наступні розрахунки: потоки в циліндрах, клапани й інших. FLUENT дозволяє проводити спільні розрахунки ротор-статор для турбомашин, використовуючи технологію ковзних сіток. В FLUENT включені ламінарні й турбулентні моделі гідродинаміки, теплопередачі, фазових переходів і радіації, а також моделі для

розрахунку кавітації, стисливих рідин, теплообміну, теплопровідності, реальних газів, і модуль для розрахунку вологої пари. FLUENT є визнаним лідером при розрахунку хімічних реакцій і завдань горіння. FLUENT використовує найсучасніші підходи для моделювання хімічних реакцій. База даних містить властивості багатьох газоподібних, твердих, пиловугільних, і рідких паливних матеріалів. Також доступні моделі для пророкування NO<sub>x</sub>. FLUENT містить у собі безліч моделей турбулентності: кілька версій моделі /k-epsilon, моделі /k-omega, Reynolds stress модель (RSM), LES модель, DES модель. Один з кращих пакетів в області багатофазного моделювання. Різні можливості програми дозволяють отримувати найглибші відомості про встаткування. FLUENT використовує такі моделі як: VOF, mixture і модель Ейлера. Для деяких багатофазних явищ може використатися модель дискретної фази (DPM). VOF моделі використовуються для розрахунку течій з вільними поверхнями. Модель кавітації дозволяє розрахувати насоси, паливні інжектори, корабельні гвинти. FLUENT дозволяє виконувати паралельні обчислення на Windows, Linux, і Unix платформах. При цьому можуть бути використані многопроцесорні машини або кластери. FLUENT має клієнт-серверну архітектуру. FLUENT характеризується досить гарною масштабованістю.  
[www.processflow.ru/fluent.html](http://www.processflow.ru/fluent.html), <http://www.fluent.com/software/fluent/>

**FlowVision** моделює тривимірні стаціонарні/нестаціонарні нестисливі потоки рідини в різних технічних додатках. Використання різних моделей турбулентності й адаптивної розрахункової сітки дозволяє моделювати складні рухи рідини, включаючи плинні із сильним закрученням і з горінням. FlowVision заснований на кінцево-об'ємному методі рішення рівнянь гідродинаміки й використовує прямокутну адаптивну сітку з локальним здібнюванням. Для апроксимації криволінійної геометрії з підвищеною точністю FlowVision використовує нову технологію - підсіточну геометрію. Ця технологія дозволяє імпортувати геометрію із САПР систем й обмінюватися інформацією із системами кінцево-елементного аналізу. FlowVision ефективно використовується для рішення наступних промислових завдань: Зовнішня аеро-гідродинаміка: обтікання автомобіля, судна, літака, ракети, будинків і споруджень (визначення коефіцієнтів опору й піднімальної сили, розподілене

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

навантаження, тепло- і масопереніс) Внутрішня аеро- гідродинаміка: течію у салоні автомобіля й у подкапотнім просторі, вентиляція внутрішніх відсіків, рух газів і рідин по магістралях і трубопроводам. Моделювання турбомашин: плин рідини у турбінах, компресорах, насосах, урахування впливу гребних гвинтів на обтікання судна. Моделювання процесів горіння; технологічних процесів: моделювання теплопереносу в мікроелектронних схемах, розрахунок витрат-напірних характеристик ежекторного насоса, розрахунок змішувачів і газових міксерів, спільний теплоперенос між рідиною й твердими тілами. Моделювання процесів виготовлення деталей: лиття металів, розрахунок процесів затвердіння й кристалізації. [www.tesis.com.ru/1level/2level/cadme/programs/flowvis/long.html](http://www.tesis.com.ru/1level/2level/cadme/programs/flowvis/long.html) , [www.flowvision.ru/](http://www.flowvision.ru/)

**FLOW-3D** - це CFD пакет загального призначення здатний моделювати велику розмаїтість завдань течії рідини й/або газу. Спеціалізацією пакета є моделювання течій з вільною поверхнею, FLOW-3D є чудовою програмою для моделювання обмежених і внутрішніх течій. FLOW-3D забезпечує високоточне моделювання течій з вільною поверхнею, використовуючи метод кінцевих об'ємів. Використовуваний в FLOW-3D метод FAVOR є унікальним методом, відсутнім в інших CFD пакетах. FAVOR досить простий у використанні й забезпечує високу точність моделювання. [www.cad.ru/ru/software/detail.php?ID=3749](http://www.cad.ru/ru/software/detail.php?ID=3749), [www.flow3d.com/Parallel.htm](http://www.flow3d.com/Parallel.htm)

**GDTGasDynamicsTool** - це програмний продукт, розроблений для обчислювального моделювання газо-динамічних процесів у широкому колі граничних і початкових умов. Текуче середовище, внутрішні й зовнішні проблеми аеродинаміки, балістика, горіння й детонація - це всього лише кілька явищ, які можна моделювати за допомогою GDT продукту. Сфери застосування: Екологія й захист навколишнього середовища, Машинобудівне проектування, Проектування просторових систем, Вивчення фізично - хімічних процесів горіння, Технології озброєння. Пакет GDT дозволяє: Зробити ефективним використання можливостей багатопроцесорних обчислювальних

систем, Установлювати різні граничні умови в будь-якій точці області, Змінювати конфігурацію моделюваної проблеми що моделюється оперативно в ході обчислювального . Зчитувати значення кожного параметра в будь-якій крапці рахункової області в ході обчислення. Зберігати конфігурацію області й результати обчислень для наступного використання. Установлювати динамічні сценарії, що складаються з необмеженого числа кроків, у яких користувач може встановлювати різні початкові й граничні умови на кожному кроці.  
[www.cfd.ru/](http://www.cfd.ru/)

**3D QuickFill** - Програма, що дозволяє на ранніх стадіях проектування виробу провести аналіз лиття по тривимірній твердотільній моделі. Надає можливість конструктору спостерігати процес заповнення литевої форми з наданням інформації про: часове заповнення прес-форми; час охолодження деталі; розподіл температури; наявність “раковин”; маса виробу. Розроблювач –Moldflow Corporation Advanced CAE Technologies, Inc., США. <http://www.cmold.com>

### **3.3 Системи проектування**

**AutoCAD** - розробка компанії [Autodesk](http://www.autodesk.com) - найпоширеніша САПР, що функціонує на платформі MS Windows. AutoCAD — це традиційний, перевірений часом інструмент інженерної графіки, тривимірного моделювання і візуалізації, що постійно доповнюється новими можливостями. Платформа AutoCAD забезпечує ефективне підвищення продуктивності праці в будь-якій області діяльності, зв'язаної з точним графічним представленням результатів — від астрономічних спостережень до розкрою одягу. Продукти AutoCAD призначені для виконання широкого спектру інженерних робіт в таких областях як будівництво та архітектура, картографія, геодезія, машинобудування. Функціонал AutoCAD доповнюють більш як 5000 спеціалізованих програм–додатків для найрізноманітніших галузей. До них відносяться AutoCAD, Internet Publishing Kit, AutoCAD LT, S8 Architectural, S8 Architectural Designer, S8 Architectural Professional, S8 Building Services, S8 Civil/Survey, S8 Survey Professional, AutoCAD AEC (UK/Ire.), AutoCAD Mechanical, Autodesk Mechanical Desktop, AutoCAD Map та багато інших. Продукт Autodesk World дозволяє оперувати даними в

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

середовищі Windows і Microsoft Office включаючи векторні та растрові зображення. <http://usa.autodesk.com/>

**КОМПАС** - Один з лідируючих російських продуктів. САД–система, призначена для широкого спектра проектно-конструкторських робіт, легка в освоєнні, зручна в роботі і при цьому має не велику вартість, що є прийнятним для комплексного оснащення російських, українських та інших підприємств на території СНД. Дозволяє здійснювати двовимірне проектування і конструювання, швидко підготовку і випуск різноманітної креслярсько-конструкторської документації, створення технічних текстово-графічних документів. Розроблювач – Аскон, Росія. <http://www.ascon.ru>

**Genius** - Продукти Genius є програмним забезпеченням для конструювання в машинобудуванні і створення креслень із застосуванням AutoCAD. Genius Desktop – Об'єктно-орієнтована система тривимірного проектування машинобудівних деталей і складальних креслень на базі Mechanical Desktop. Пакет пропонує додаткові зручні інструменти для нанесення типових конструктивних елементів, наповнення конструкції стандартними виробами у виді твердотельних моделей, що значно полегшує роботу конструктора при управлінні компонентами складальних креслень. Genius має у своєму розпорядженні бібліотеки стандартних деталей у вигляді готових параметричних деталей по цілому ряду типових стандартів.

**CADMECH** - CADMECH – система проектування деталей і складальних одиниць на базі AutoCAD. CADMECH Desktop - тривимірна система проектування деталей і складальних одиниць на базі Mechanical Desktop. Розроблювач - НПО “Интермех”, Мінськ. <http://www.intermech.ru>

**Autodesk Inventor** - [Autodesk Inventor](http://www.inventor.ru/main.cfm) - програма тривимірного параметричного моделювання складних об'єктів. Робота зі складальними кресленнями налічує близько 13 000 компонентів. Прогресивний інтерфейс, що дозволяє освоїти роботу з програмою за декілька днів, та підтримка даних, виконаних у програмах на платформі AutoCAD дозволяє в короткі строки будувати складні 3D моделі. <http://www.inventor.ru/main.cfm>

**DYNAMIC DESIGNER** - Інтегрована й у середовище Mechanical Desktop розрахунковий модуль для проведення динамічного і кінематичного аналізу механізмів. Розроблювач - Mechanical Dynamics, США.

**DesignSpace** - Програма, призначена для роботи в середовищі Mechanical Desktop, що вбудовується в меню Mechanical Desktop і використовує той же інтерфейс і геометрію. Пакет DesignSpace дозволяє проводити перевірочні і проектувальні розрахунки елементів твердотільних конструкцій, створених у середовищі Autodesk Mechanical Desktop. В ньому реалізовані розрахунки статичної міцності конструкцій і визначення форм і частот власних коливань. Від конструктора не потрібно додаткових знань про розрахунок конструкції, йому потрібно мати тільки представлення про роботу своєї деталі в умовах реальної експлуатації. Від конструктора потрібно введення тільки характеристик матеріалу деталі і зовнішніх факторів: прискорення, робочої температури, граничних умов і зовнішнього навантаження. Після розрахунку конструктору потрібно тільки відобразити результати і проаналізувати їх. Розроблювач – ANSYS Inc., США.  
<http://www.designspace.com>    <http://www.ansys.com>    <http://www.cosmos.rcnet.ru>  
<http://www.spark.nstu.nsk.su>

**MSC/InCheck** – інтегрований у Mechanical Desktop розрахунковий модуль для проведення аналізу на міцність та оптимізацію конструкції: статична міцність (напруги і деформації); вібрації; стійкість; тепловий аналіз (теплопровідність і теплообмін). Розроблювач - The MacNeal-Schwendler Corporation, США.  
<http://www.mscsoftware.co>

**T-FLEX CAD** - Система параметричного проектування і креслення T-FLEX CAD є розробкою російської фірми "Топ Системи". Система забезпечує: параметричне проектування і моделювання; проектування і виконання складальних креслень; повний набір функцій створення і редагування креслень. Просторове моделювання, що базується на технології ACIS; параметричне тривимірне твердотільне моделювання; керування кресленнями; підготовка даних для систем із ЧПУ; імітація руху конструкції. Система T-FLEX CAD потрапила в огляд кращих САПР за 1997 рік. Розроблювач – Топ-Системи, Москва.  
<http://www.tfex.com> <http://www.topsystems.ru>

**bCAD** – програмний проект, спрямований на розробку новітніх технологій 3D графіки і САПР, а також програм для 2D проектування та точне креслення, 3D моделювання і фотореалістичне тонування. Передбачена програмна система 3D моделювання і візуалізації для РС. Система bCAD спроектована та розроблена як універсальне робоче місце проектувальника, що дозволяє робити широкий спектр робіт у наскрізному режимі – від креслення до об'ємної моделі і навпаки - від тривимірного представлення до плоских проекцій. Використовується для виконання технічної документації, що відповідають вимогам стандартів, та озробки реалістичних зображень при підготовці даних для розрахункових систем. Система поєднує в собі CAD, 3D моделювання і фотореалістичну візуалізацію. Розроблювач - ProPro Group, Новосибірськ. <http://www.propro.ru>

**CADRA** - Система двовимірного проектування і креслення для машинобудування. Розроблювач – SofTECH, Inc., США. <http://www.softech.com>

**CADMAX** - CADMAX SolidMaster – система автоматизованого проектування, що забезпечує двовимірне, тривимірне поверхневе і твердотільне моделювання в проектуванні. Розроблювач – CADMAX Corp., США. <http://www.cadmax.com>

**CADkey** - 3D графічний пакет для проектування, твердотільного, поверхневого і каркасного моделювання, візуалізації і документування простих і складних деталей і складальних одиниць. 250000 інсталяцій у різних країнах. Розроблювач - Baystate Technologies, США. <http://www.cadkey.com> <http://www.cadkey.de>  
<http://www.colla.lv>

**DesignCAD Pro** - Система двовимірного і тривимірного проектування і моделювання для професійних конструкторів і проектувальників. Розроблювач – ViaGrafix, США. <http://www.viagrafix.com>

**IronCAD** - Система автоматизованого проектування для машинобудування. Забезпечує двовимірне проектування і тривимірне твердотільне моделювання. Розроблювач - Visionary Design Systems, Inc., США. <http://www.ironcad.com>

**Cimatron** – інтегрована CAD/CAM що надає повний набір засобів для конструювання виробів, розробки креслярсько–конструкторської документації, інженерного аналізу, створення керуючих програм для верстатів із ЧПУ.

**Surface Express** - Система поверхневого моделювання. Розроблювач – MCS, Inc., США. <http://www.mcsaz.com>



### **3.4 Комбіновані системи**

**SolidWorks** - Потужний машинобудівний CAD пакет для твердотільного параметричного моделювання складних деталей та складальних креслень. Система конструювання середнього класу, що базується на параметричному геометричному ядрі Parasolid. Створена спеціально для використання на персональних комп'ютерах під керуванням операційних систем Windows. Розроблювач - SolidWorks Corporation, США. <http://www.solidworks.com>, <http://www.uscad.com>, <http://www.delcam.ru>, <http://www.ascon.ru> <http://www.colla.lv>

**SolidEdge** - SolidEdge є принципово новою системою автоматизованого конструювання, що призначена для розробки складальних вузлів і геометричного моделювання окремих деталей. Solid Edge розроблений спеціально для конструювання виробів машинобудування. Являє собою систему середнього рівня, що забезпечує ефективне об'єктно-орієнтоване параметричне моделювання в середовищі MS Windows. Базується на ядрі геометричного моделювання Parasolid. Розроблювач – Unigraphics Solutions, США. <http://www.solid-edge.com/> <http://www.cosmos.rcnet.ru> <http://www.ugsolutions.ru> <http://www.solid-edge.com>

**Unigraphics**-Система Unigraphics є CAD/CAM/CAE - системою високого рівня. Unigraphics дозволяє здійснювати цілком віртуальне проектування виробів, механообробка деталей складних форм, має цілком асоціативну базу даних майстрів-моделі, Unigraphics Solutions, одна із компаній, що швидко розвиваються, виробляючи системи автоматизованого проектування, виробництва і керування проектами. Займається розробкою, продажем і технічною підтримкою програмного забезпечення для автоматизації проектування, виробництва, інженерного аналізу і керування проектами для всіх областей промисловості, включаючи автомобілебудування, авіаційну і космічну промисловість, верстатобудування, виробництво товарів народного споживання і т.п. Серія продуктів Unigraphics Solutions, Inc.: Unigraphics Solutions, Parasolid, Solid Edge, Unigraphics, IMAN, ProductVision, GRIP. Розроблювач - Unigraphics Solutions, Inc., США. <http://www.plmsolutions-eds.com/> <http://www.cosmos.rcnet.ru> <http://www.ugsolutions.ru/> <http://www.int.kiev.ua>

**CADdy** - Система по функціональних можливостях займає проміжне положення між системами низького і високого рівнів. Призначена для рішення комплексних інтегрованих технологій від стадії проектування до стадії виробництва в таких областях, як:· архітектура;· проектування промислових установок;· машинобудування;· електроніка;· устаткування (опалення, вентиляція, сантехніка, електротехніка);· інженерні мережі і дороги;· геодезія, картографія. Розроблювач - фірма ZIEGLER-Informatics Gmb, Німеччина. <http://www.caddy.de>  
<http://www.plaza.ch> <http://www.caddy.ru>

**OmniCAD** - Система двовимірного проектування, креслення і тривимірного поверхневого моделювання. Розроблювач – CAMM s.r.l., Італія. <http://www.camm.it>

**think3**-Система автоматизованого проектування для машинобудування середнього рівня. Забезпечує двовимірне проектування, тривимірне поверхневе і твердотільне моделювання, проектування виробів з листових матеріалів, асоціативність двовимірного креслення з тривимірною моделлю, фотореалістичне представлення проекту. Розроблювач – thnk3, Inc., США. <http://www.think3.com> <http://www.dial-eng.spb.ru>

**TEBIS** - CAD/CAM система. Двовимірне проектування та тривимірне моделювання в креслення. Розроблювач – Tebis AG, Німеччина. <http://www.tebis.de>

**VISI-Series** - CAD/CAM – система. З її допомогою забезпечується двовимірне проектування та тривимірне поверхневе і твердотільне моделювання, генерація програм для верстатів із ЧПУ, візуалізація обробки деталей. Розроблювач – Vero International, Inc., США. <http://www.veroint.com> <http://www.verosoftware.com>

**HELIX** - HELIX Design System - система САПР для двовимірного та тривимірного проектування в машинобудуванні, дизайн в інших галузях. Дозволяє здійснювати двовимірне проектування та тривимірне каркасне, поверхневе і твердотільне моделювання. Розроблювач – MicroCADAM Ltd., Великобританія. <http://www.microcadam.co.uk> [http://www.cadam.com/ccd\\_microcadam.htm](http://www.cadam.com/ccd_microcadam.htm)

**Form-Z** - Система двовимірного проектування в кресленні, тривимірного поверхневого і твердотільного моделювання, візуалізації й анімації для професійного дизайну, візуалізації в проектуванні. Розроблювач – Autodesk, Inc., США. <http://www.formz.com>

**Alias/Wavefront** - Розповсюджені програмні продукти двовимірному і тривимірному ескізування та креслення, тривимірному поверхневого і твердотільного моделювання, візуалізації й анімації, для професійного дизайну і проектування. Розроблювач - Alias/Wavefront, Канада. <http://www.aw.sgi.com>  
<http://aliaswavwfront.com>

**CoCreate** - Серія продуктів для проектування і управління даними проекту:

ME10 – проектування і креслення;

SolidDesigner – твердотільне моделювання і управління даними проекту.

Розроблювач – CoCreate Software, Inc., <http://www.cocreate.com>

**BRAVO** – програмний комплекс для проектування, підготовки конструкторської документації, підготовки виробництва і управління проектом у машинобудуванні.

Продукти: Bravo XL, Bravo Sheet Metal Fabricator, Bravo NCG, Bravo Frame.

Розроблювач – Applicon, Inc., США. <http://www.applicon.com>

**MicroStation** - професійна, високо продуктивна система для 2D/3D - автоматизованого проектування при виконанні робіт зв'язаних з кресленням, конструюванням, візуалізацією, аналізом, керуванням базами даних і моделюванням. Забезпечує практично необмеженими можливостями проектувальників і конструкторів на платформах DOS, Windows і комп'ютерах різних типів. MicroStation 95 - система колективної роботи, що дає всім учасникам групи гарантію взаємного узгодження незалежно від апаратного розвитку платформ. Розроблювач – Bentley, США. <http://www.bentley.com>  
<http://www.cosmos.rcnet.ru>

**hyperMILL**-Пакет для реалізації реалізуальних завершуючої технологічної ланки в CAD/CAM/CAE-технології для підготовки керуючих програм верстатів із ЧПУ і виготовлення виробів. Розроблювач - Open Mind Software Technologies Gmb, Німеччина. <http://www.openmindtech.com> <http://www.acad.co.uk>  
<http://www.autodesk.com>

**SolidCAM** - Пакет генерації керуючих програм для верстатів із ЧПУ при обробці деталей, що містять складну поверхневу чи твердотільну геометрію. Забезпечує 2,5 і 3-осьову фрезерну обробку, токарську обробку, візуалізацію процесу обробки. Розроблювач – CADTECH, Ізраїль. <http://www.solidcam.com>

**MasterCAM** - CAD/CAM – система, що займає лідируюче положення у світі по кількості продажів і інсталяцій пакета серед CAD/CAM систем. Забезпечує каркасне і поверхневе моделювання деталей, візуалізацію і документування простих і складних деталей та складальних одиниць, розробку керуючих програм для токарської, фрезерної, електроерозійної обробки на верстатах із ЧПУ. Розроблювач - CNC Software, США. <http://www.mastercam.com> <http://www.colla.lv>

**EUCLID** - САПР високого рівня EUCLID, що охоплює всі етапи проектування. Передбачена розробка, продаж та супровід програмного забезпечення CAD/CAM/CAE/PDM і програмного середовища для створення додатків. Основні продукти фірми мають торгові марки: EUCLID, STRIM, PRELUDE, CAS.CADE і призначені для таких областей проектування як авіація, космос, автомобілебудування, оборона, електромеханіка, промисловий дизайн, атомне машинобудування, інжиніринг, виробництво товарів широкого вжитку й ін. Розроблювач - MATRA DATAVISION, Франція. <http://www.matra-datavision.fr>  
<http://www.datavision.com> <http://www.eads.matradatavision.co.uk/>  
<http://www.us.matradatavision.com/>

**I-DEAS Master Series** - Програмний комплекс I-DEAS Master Series дає можливість оптимізувати концепцію виробу на ранній стадії проектування, що дозволяє значно поліпшити його якість при зменшенні часу розробки і витрат для розробки механічних виробів. Розроблювач - Structural Dynamics Research Corporation (SDRC), США. <http://www.eds.com/products/plm/ideas/> [http://www-win-](http://www-win.scan.ru/scan/partners/SDRC)

**DEF CAR CAD/CAM** – система для проектування і підготовки виробництва в кораблебудуванні. Розроблювач – Defcar Ingenieros, S.L., Іспанія. <http://www.defcar.com>

**SoftCAD** - САПР для двовимірного і тривимірного проектування в архітектурі і будівництві. Серія продуктів: ArchiTECH.PC, SoftCAD.3D, SoftCAD.2D. Розроблювач – SoftCAD International, США. <http://www.softcad.com>

З цього розмаїття програмних комплексів вигідно відрізняється система AutoCAD. AutoCAD – це найрозповсюдженіша в нас і за кордоном інженерна

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

система автоматизації проектування найрізноманітніших об'єктів: від плану офісу до космічних станцій.

Система AutoCAD постійно розвивається та складається з трьох основних компонентів: графічного редактора AutoCAD, мови програмування високого рівня AutoLISP та інструментальних засобів для створення графічного інтерфейсу користувача, наприклад за допомогою DCL. Цим він суттєво відрізняється від інших програмних комплексів, що дає можливість самостійно створювати графічне середовище користувача та формувати його програмне забезпечення.

Немає обмежень на види креслярських робіт, що можуть бути виконані з використанням системи AutoCAD. Якщо креслення можна виконати вручну, отже, воно також може бути згенеровано системою AutoCAD.

AutoCAD створює не просто графічний образ. Система дозволяє в будь-яку мить проаналізувати сформовані об'єкти, обслуговуючи їх на зразок менеджера бази даних. При цьому забезпечується висока швидкість виконання та простота створення креслення і його модифікацій. Крім цього, AutoCAD дозволяє створювати дещо більше, ніж креслення. Він надає можливість логічно пов'язані фрагменти креслення розмістити на виділених шарах або згрупувати їх і розглядати як єдине ціле. З допомогою простих команд можна просто та швидко поставити розмірні лінії та тексти. Крім цього, в останніх версіях передбачена можливість працювати з тривимірними об'єктами та легко коригувати їх.

## ТЕМА 4 ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЇ

### 4.1 Помилки вимірів

Обробивши первинні дані, потрібно оцінити їхню надійність, щоб вирішити, які з них заслуговують подальшого аналізу, а які не потрібні через великі помилки експерименту [8].

#### 4.1.1 Класифікація погрешностей вимірів

Перш ніж приводити загальну класифікацію погрешності слід зазначити, що різним по призначенню вимірювальним процедурам властиві свої складові погрешності й причини їхнього виникнення.

Погрешність результату виміру виникає:

- а) при відтворенні розміру одиниці фізичної величини (у силу того, що технічно неможливо створення абсолютно точних еталонів);
- б) при передачі розміру одиниці фізичної величини (до основних процедур передачі розміру відносять перевірку, калібрування, атестацію);
- в) при атестації (через недосконалість атестаційного обладнання, методик виконання вимірів й ін.);
- г) при перевірці засобами вимірювання (ЗВ) (через недосконалість методів перевірки й ін.);
- д) при градуюванні (через недосконалість способів нанесення шкал, помилок при побудові кривих і т.д.);
- е) при робочих вимірах (виконуваних робочими ЗВ в лабораторних, польових або інших умовах);
- ж) при статистичній обробці результатів вимірів.

По метрологічному призначенню вимірювання ділять на **еталонні** й **робочі**. **Еталонні** вимірювання виконуються із застосуванням еталонів. Вони широко застосовуються в практиці перевірочних і каліброваних робіт, а також при метрологічній атестації обладнання й ЗВ. Ці помилки пов'язані з відтворенням і передачею розміру одиниці фізичної величини. **Робочі** мають місце в повсякденній практиці визначення значення вимірюваної фізичної величини й не

пов'язані з передачею розміру її одиниці. До робочих відносять і технічні виміри, тобто вимірювання параметрів технологічних процесів, показників готової продукції, устаткування й інших параметрів, незв'язаних з передачею розміру одиниці величини.

#### 4.1.2 Погрішність результату вимірювання

За формою кількісного виразу погрішності виміри діляться на абсолютні й відносні.

**Абсолютною погрішністю** вимірюваної величини, що виражає в одиницях, називається відхилення результату *виміру* від вірного, *або дійсного значення*. Абсолютна погрішність характеризує величину й знак, але не визначає якість самого проведеного виміру.

Поняття погрішності характеризує недосконалість вимірювання. Характеристикою якості виміру є використовуване в метрології поняття точності вимірів, що відображає міру близькості результатів вимірів до дійсного значення вимірюваної фізичної величини. Точність і погрішність зв'язані між собою зворотною залежністю. Тобто високій точності вимірів відповідає мала погрішність.

**Відотною погрішністю** називається відношення абсолютної погрішності вимірювання до правильного значення вимірюваної величини. Вона обчислюється по формулі:  $\delta = \frac{\Delta x_{\text{вс}}}{X_{\text{в}} (X_{\text{д}})}$ . Мірою точності вимірів є величина, зворотна модулю

відносною погрішності, тобто  $1/\delta$ . По характеру (закономірності) зміни погрішності підрозділяються на систематичні й випадкові. До числа випадкових належать й грубі погрішності.

**Систематичні погрішності** - складові погрішності вимірювань, що залишаються постійними або закономірно змінюються при багаторазових (повторних) вимірах однієї й тієї ж величини в тих самих умовах. Із всіх видів погрішностей, саме систематичні, є найнебезпечнішими й важко прогнозованими. Це пояснюється рядом причин:

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

1) вони постійно спотворюють дійсне значення отриманого результату виміру у бік його збільшення або зменшення. Причому напрямок помилки заздалегідь важко визначити;

2) величина систематичної погрішності не може бути знайдена методами математичної обробки отриманих результатів виміру. Вона не може бути зменшена при багаторазовому вимірюванні з використанням тих самих вимірювальних засобів;

3) вони можуть бути постійними, можуть монотонно змінюватися, можуть змінюватися періодично, але за отриманими результатами виміру закон їхньої зміни важко, а іноді й не можливо визначити;

4) на результат вимірів впливають кілька факторів, кожний з яких викликає свою систематичну погрішність залежно від умов виміру. Причому, кожен новий метод вимірювання може дати свої, заздалегідь невідомі систематичні погрішності й треба шукати прийоми й способи виключення впливу цієї систематичної погрішності в процесі виміру. Для твердження про відсутність систематичної погрішності або, що вона зневажливо мала потребує обґрунтованого доведення.

Такі погрішності можуть бути виявлені тільки шляхом детального аналізу можливих джерел і зменшені (застосуванням більш точних приладів, калібруванням приладів за допомогою спеціальних дій й ін.). Однак повністю їх усунути їх не можливо.

У реальних умовах повністю виключити систематичну складову погрішності неможливо. Завжди залишаються якісь не виключені залишки, які й потрібно враховувати, щоб оцінити їхні границі. Це й буде систематична погрішність виміру.

По характері зміни в часі систематичні погрішності підрозділяються на **постійні** (зберігають величину й знак), **прогресуючі** (зростаючі або убувають у часі), періодичні, що також **змінюються** в часі по складному неперіодичному закону. Основні із цих погрішностей - прогресуючі.

Прогресуюча (дрейфова) погрішність - це непередбачена погрішність, що повільно міняється в часі.

По джерелах прояву розрізняють наступні систематичні погрішності:



## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

- методичні – викликані використанням методом виміру;
- інструментальні – викликані погрішністю використовуваного ЗВ (визначаються класом точності ЗВ);
- погрішності викликані неправильною установкою ЗВ або впливом неінформативних зовнішніх факторів;
- погрішності, викликані неправильними діями оператора (невірні навички проведення вимірювальної процедури).

**Випадкові погрішності** - складової погрішності вимірювань, що змінюються випадковим способом при повторних (багаторазових) вимірах однієї й тієї ж величини при тих самих умовах. У появі таких погрішностей немає якої-небудь закономірності, вони проявляються при повторних вимірах однієї й тієї ж величини у вигляді деякого розкиду одержуваних результатів. Практично випадкові погрішності неминучі, неподоланні й завжди мають місце в результаті вимірювання. Опис випадкових погрішностей можливо тільки на основі теорії випадкових процесів і математичної статистики.

На відміну від систематичних, випадкові погрішності не можна виключити з результатів вимірювань шляхом введення виправлення, однак їх можна істотно зменшити шляхом багаторазового виміру й наступною статичною обробкою отриманих результатів.

**Грубі погрішності** (промахи) - погрішності, істотно перевищуючі очікувані за даних умов. Такі погрішності виникають через помилки оператора або неврахованих зовнішніх впливів. Їх виявляють при обробці результатів вимірів і виключають із розгляду, користуючись певними правилами. Варто відмітити, що віднесення результатів спостереження до числа промахів не завжди може бути виконане однозначно.

Варто враховувати два моменти: по перше – обмеженість числа виконаних спостережень, що не дозволяють із високим ступенем вірогідності оцінити форму й вид (провести ідентифікацію) закону розподілу, а значить вибрати відповідні критерії оцінки результату на наявність "промаху". Другий момент пов'язаний з особливостями об'єкта (або процесу), показники (параметри) якого утворюють випадкову сукупність (вибірку). Так при медичних дослідженнях, і навіть у повсякденній медичній практиці окремі результати, що випадають, можуть

становити варіант "біологічної норми", і тому вони вимагають урахування, з одного боку, і аналізу причин, які приводять до їхньої появи.

**Інструментальні (апаратурні, приладові) погрішності** виникають через недосконалість ЗВ, тобто від погрішностей ЗВ. Джерелами інструментальних погрішностей можуть бути, наприклад, неточне градуювання приладу й зсув нуля, варіація показань приладу в процесі експлуатації й т.д. Точність ЗВ є характеристикою його якості й відображає близькість його погрішності до нуля. Уважається, що чим менше погрішність, тим точніше ЗВ.

**Погрішність методу вимірів** являє собою складову систематичної погрішності вимірювань, обумовлену недосконалістю прийнятого методу. Погрішність методу виміру обумовлена:

- відмінністю прийнятої моделі об'єкта вимірювання від моделі, що адекватно описує його властивість. Це визначається шляхом виміру (при цьому виражається недосконалість методу виміру);

- впливом способів застосування ЗВ. Це має місце, наприклад, при вимірюванні напруги вольтметром з кінцевим значенням внутрішнього опору. У такому випадку вольтметр шунтується ділянкою ланцюга, на якому вимірюється напруга, і вона виявляється менше, ніж було до приєднання вольтметра;

- впливом алгоритмів (формул), по яких роблять обчислення результатів вимірів (наприклад, некоректністю розрахункових формул);

- впливом обраного ЗВ на параметри сигналів;

- впливом інших факторів, не зв'язаних із властивостями використовуваних ЗВ.

**Суб'єктивна погрішність** - складова систематичної погрішності вимірів, обумовлена індивідуальними особливостями оператора.

Подібні погрішності усуваються застосуванням сучасних цифрових приладів або автоматичних методів виміру.

**Статичні погрішності** виникають при вимірі сталого значення вимірюваної величини, тобто коли ця величина перестає змінюватися в часі.

**Динамічні погрішності** мають місце при динамічних вимірюваннях, коли вимірювана величина змінюється в часі й потрібно встановити закон її зміни,

тобто погрішності, властиві умовам динамічного виміру. Причина появи динамічних погрішностей складається в невідповідності швидкісних (тимчасових) характеристик приладу й швидкості зміни вимірюваної величини.

**Зовнішня погрішність** - важлива складова погрішності результату виміру, пов'язана з відхиленням однієї або декількох величин які на неї впливають, з відхиленням від нормальних значень або виходом їх за межі нормальної області (наприклад, вплив вологості, температури, зовнішніх електричних і магнітних полів, нестабільності джерел живлення, механічних впливів і т.д.). У більшості випадків зовнішні погрішності є систематичними й визначаються додатковими погрішностями застосовуваних ЗВ, на відміну від основної погрішності, отриманої в нормальних умовах виміру.

#### **4.1.3 Інструментальна погрішність вимірювання**

Засоби вимірювання, при виконанні вимірювальної процедури, суттєво впливають на результуючу погрішність і завжди містить погрішності випадкового й систематичного характеру.

Інструментальна погрішність головним чином обумовлена недосконалістю самих ЗВ. Тому при класифікації складових інструментальної погрішності виділяють **погрішність компонентів** (складових частин ЗВ), вона пояснюється неможливістю абсолютно точного виготовлення будь-якого технічного приладу.

**Основна погрішність ЗВ** - погрішність, що має місце при нормальних умовах його експлуатації, обговорених у регламентуючих документах (паспорті, технічних умовах й ін.).

**Додаткова погрішність ЗВ** виникає при відхиленні умов експлуатації від нормальних (номінальних). Дана погрішність, як й основна, указується в технічних характеристиках.

Форма виразу погрішності (абсолютн і відносна) стосується як погрішності результату виміру, так і окремих складових. Інструментальна погрішність, обумовлена погрішністю самого ЗВ, виражається в технічних характеристиках.

**Наведена погрішність**, що становить потенційну точність вимірів, являє собою відношення абсолютної погрішності ЗВ до умовно застосовуваного значення

величини, постійному у всьому діапазоні вимірів або в частині діапазону. Умовно прийняте значення величини називають значенням, що нормує. Часто за значення використовують для визначення верхньої межі вимірів.

**Систематична погрішність ЗВ** це складова погрішності ЗВ, прийнята за постійну величину або функцію що змінюється. Систематична погрішність даного ЗВ, як правило, буде відрізнятися від систематичної погрішності інших ЗВ цього ж типу, внаслідок чого для групи однотипних ЗВ систематична погрішність може іноді розглядатися як випадкова погрішність.

Систематична погрішність ЗВ відома, якщо є інформація про його характеристики. Вона може бути отримана з паспорта, або іншої технічної документації на стандартизоване ЗВ. Для не стандартизованих ЗВ таку інформацію отримують при метрологічній атестації.

**Випадкова погрішність ЗВ** це складова погрішності ЗВ, що змінюється випадковим способом. Вона приводить до розкиду показань, виконаних у тих самих умовах. У цьому випадку говорять про варіації показників.

**Варіація показників вимірювального приладу** - це різниця показань приладу в одній і тій же точці діапазону вимірів при плавному підході до цієї точки з боку менших і більших значень вимірюваної величини.

**Погрішність ЗВ** - різниця між показаннями ЗВ й точним значенням вимірюваної фізичної величини.

Оскільки точне значення фізичної величини невідомо, те на практиці користуються її дійсним значенням.

**Погрішність міри** - різниця між номінальним значенням міри й дійсним значенням відтвореної його величини.

**Погрішність відтворення** одиниці фізичної величини це погрішність результату вимірів, що виникає при відтворенні одиниці фізичної величини.

**Погрішність перевірки** - погрішність застосовуваного методу перевірки розміру одиниці фізичної величини, що виникає при порівнянні показань з еталонним приладом.

**Погрішність градування** - погрішність дійсного значення величини, приписаного тій або іншій оцінці шкали ЗВ в результаті градування. Як

процедуру визначення погрішності дійсного значення за еталонним значенням стандартного зразка або речовини також розрізняють погрішність калібрування.

**Погрішність квантування** - методична погрішність відображення безперервної величини з обмеженням по числу розрядів числом. Вона дорівнює різниці між значенням безперервної функції й значенням, яке отримане в результаті квантування.

**Статична погрішність ЗВ** це погрішність ЗВ, що виникла при вимірі фізичної величини, ї прийнята за незмінну.

**Динамічна складова погрішності** виникає при роботі ЗВ в динамічному режимі й визначаються двома факторами: динамічними (інерційними) властивостями ЗВ й характером (швидкістю) зміни вимірюваної величини. При вимірах детермінованих сигналів динамічні погрішності звичайно розглядаються як систематичні. При випадковому характері вимірюваної величини динамічні погрішності потрібно розглядати як випадкові.

**Адитивна погрішність** – систематична погрішність, викликана неточною установкою нуля й стрілочного приладу з рівномірною шкалою.

**Мультиплікативна погрішність** – виміру відрізків часу відстаючими або годинниками, що поспішають.

## ***4.2 Звітні документи та публікації про проведені дослідження***

### **4.2.1 Публікація результатів роботи**

Принципово новий матеріал, що представляє загальний науковий інтерес публікується в журналах та представляється на наукових конференціях та семінарах в вигляді тез доповідей. У порівнянні зі звітом стаття та тези повинні бути на багато коротше. У статті та тезах не можна приводити ті самі дані у таблицях й на графіках. Опис методики звичайно укладається в 2-3 абзаци, опускаються проміжні результати й перетворення, але всі вимоги до повноти опису матеріалу і доказу при цьому зберігаються.

Головною метою наукових публікацій є ясний, недвозначний і чіткий виклад наукових ідей та інформації.

Положення регламентується ЮНЕСКО. Наукова стаття повинна бути написана таким чином, що кваліфікований науковець мав можливість, на основі наукової інформації, відтворити експеримент й отримати результати тієї ж точності, перевірити спостереження, розрахунки, теоретичні викладки автора й оцінити результати роботи.

#### **4.2.2 Виклад матеріалу**

Автор повинен чітко вказати, що в статті є його власним внеском, а що належить іншим ученим. Він повинен чітко визначити границі своєї роботи. Які явища описані, у яких інтервалах вони вимірюються.

Матеріал необхідно викладати лаконічно, уникаючи жаргонних слів. Якщо виникає необхідність у введенні нових термінів, вони повинні чітко визначатися.

Якщо потрібно відзначити внесок, що внесла робота в розвиток наукових ідей, то в статті варто провести ясні бібліографічні посилання на попередні роботи із цього питання.

До статті звичайно додається реферат.

Вимоги до реферату статті переслідують три мети:

1. Допомогти вченим, що працює над тими ж питаннями, по яких написана стаття, уточнити, чи має сенс читати всю роботу повністю.
2. Повідомити читачам, для яких стаття не представляє спеціального інтересу, якнайбільше відомостей для того, щоб у них не виникло необхідності повністю читати роботу.
3. Спростити й прискорити роботу реферативних журналів.

#### **4.2.3 Опис методики**

Кваліфіковані описи методики - дуже важка частина опису. Опис повинен бути настільки докладним, щоб будь-який дослідник, поставивши експеримент по цьому описі, одержав би ті ж результати. Якщо в інших фахівців результат не відтворений - винуватий автор публікації. Його дані або ненадійні, або погано викладені.

«Експериментатор помиляється 1 раз, у другий йому вже не вірять». Тут головні труднощі в систематичному описі подробиць зі згадуванням відхилень і промахів.

Для стандартних установок указують використовуваний діапазон вимірів і всі паспортні дані про чутливість, погрішність, стабільність, прийоми тестирівки. У звіті описуються блок-схема, принцип дії, характеристики й режими роботи блоків. Для нестандартних приводять ще й принципову схему з номіналами деталей і вказівками по настроюванню.

При написанні статті методику зручно описувати в 2 прийоми: спочатку заготовлюється «шаблон» із пропуском для цифр і деяких фактичних відомостей, з врахуванням того, щоб опис був повним, при цьому бажано олівцем наносити як повинне бути. Коли бланк складений заміняють те як повинне бути на та як було. Дані беруться з робочого журналу. Для кожного методу повинне бути чітко показане в чому конкретно гарантія надійності результату.

Передбачаючи, з якої сторони результат можна оскаржити, потрібно наперед закласти в опис методики відповіді на основні заперечення.

У звіті й статтях не прийнято докладно описувати невдачі, їх прийнято описувати як міркування про можливі промахи й помилки, якщо робити не так. Звичайно це короткі замітки по ходу викладу.

#### **4.2.4 Структура статті, опис ілюстрацій**

Стаття починається з короткого формулювання мети й програми досліджень, логіки їхніх зв'язків, перераховуються методи й обсяг вимірів.

Навіть якщо робоча гіпотеза не підтвердилася, або не все задумане виявилось технічно здійсненне треба у звіті згадати про первісні ідеї та причини по яких вона не реалізована, тому що без цього важко зрозуміти логіку дій.

Після вступу йде систематичний опис первинних результатів з обговоренням значимості розходжень.

По кожному графіку вказують, що зображено, які розходження значимі, який вид залежності. Після перерахування групи родинних факторів йде аналіз їхнього взаємозв'язку. Спочатку описують те загальне, що є на графіках, а потім їхнього розходження.

## Конспект лекцій «МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (додаткові розділи)»

1. Указується що зображене (навіщо проводилися розрахунки)
2. Описується те загальне що є на малюнку(графіці).  
Указується вид залежностей, споріднених чинників і їх взаємозв'язок.
3. Указується які є відмінності (які менше які більше) і чим вони викликані
4. Робиться аналіз рішень і вивід.

Приблизно в такій же послідовності описують і фотографії.

Для сильних стверджень потрібний достатній статистичний матеріал.

Довести, що чогось немає набагато складніше, ніж, що воно є: тому що наявність видно по одній залежності або за графіком, у той час як про відсутність варто судити тільки на базі логічних міркувань й аналізу можливостей методу.

Всі внутрішні протиріччя в даних відразу аналізують.

Потрібно обґрунтувати й прийняти рішення, чи є несподівана розбіжність між серіями експериментів наслідком розходжень у їхніх умовах і методиці.

Показавши, що виконання залежності існує, якісно однорідні, змінюються з умовами експерименту закономірно й внутрішньо не суперечливі можна переходити до зіставлення фактів з літературою.

Стаття закінчується висновком - 1-2 абзацу.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Основы методологии проектирования машин. Черков Л.Б. Изд-во "Машиностроения", М.; 1988, с. 152.
2. Технологическое прогнозирование. Дж. Мартино, Изд-во "Прогресс".М.1977. с. 579.
3. Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства в машиностроении. Семенов О.И. Изд-во "Высшая школа", Минск, 1986, с. 350.
4. Становление и сущность системного подхода. Бладберг И.В., Юдин Э.Г. Изд-во "Наука", М., 1973, с. 267.
5. СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ. Інтегрована система моделювання технологічних процесів і розрахунку обладнання хімічної промисловості: Навч. посіб. / О.С.Сахаров, В.Ю.Щербина, О.В. Гондлях, В.І. Сівецький. – К.: ТОВ «Поліграф Консалтинг», 2006. – 156с.: іл.
6. Методология проектирования оптических приборов: учеб.пособие / А.А. Шехонин, В. М. Домненко, О. А. Гаврилина – СПб: Изд-во СПбГУ ИТМО, 2006. – 91 с.
7. Всё об Internet./ Крол Эд.-Киев.-Торгово-изд. бюро ВНУ.-1995г.– 100 с.
8. Третьяк Л.Н. Обработка результатов наблюдений: Учебное пособие. -Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. - 171 с.
9. Поиск и навигация в Internet /Павел Храпцов <http://www.osp.ru/cw/1996/20/31.htm>
10. Эти неслучайные "случайные" открытия / А. Кынин <http://www.metodolog.ru/01200/01200.html#2>
11. Асатурян В.И. Теория планирования эксперимента. – М.: Радио и связь, 1983.
12. Виды научных открытий <http://vif2ne.ru/nvz/forum/archive/163/163811.htm>
13. Как опубликовать статью <http://www.gramota.net/publication.html>
14. Правила оформления статей <http://izvestiya.rsu.ru/fauthors.html>
15. ГОСТы, ЕСКД.
16. Основы общей методики конструирования. Ханзен Ф. Изд-во "Машиностроение", М., 1969, с. 165.
17. Методы поиска новых технических решений. Под редакцией Половина А.И., Марийское кн. изд-во. Йошкар-Ола, 1976, с.192

Електронне мережне навчальне видання

Щербина Валерій Юрійович

# **МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ (ДОДАТКОВІ РОЗДІЛИ)**

## **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*для студентів,  
які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»,  
спеціалізації «Інжинирінг, комп'ютерне моделювання та проектування  
обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів та виробів»*

Комп'ютерна правка та верстка – *авторські*

---