

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

О. А. ТІТОВА, А. І. ПАНЧЕНКО, А. А. ВОЛОШИНА

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПРОЕКТУВАННЯ
ГІДРОПРИВОДУ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ**

Навчальний посібник

Мелітополь, 2019

Автори: О. А. Тітова, А. І. Панченко, А. А. Волошина

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (протокол № 2 від 24.09.2019 р.)

Рецензенти:

Андренко П. М. – д.т.н., професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Воронін С. В. – д.т.н., професор, Український державний університет залізничного транспорту

Кошук О.Б. – д.пед.н., провідний науковий співробітник лабораторії дистанційного професійного навчання ІПТО НАПН України

Навчальне видання

Тітова О. А., Панченко А. І., Волошина А. А.

Методологічні засади проектування гідроприводу мехатронних систем сільськогосподарської техніки: навчальний посібник.
Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. – 179 с.

ISBN 978-617-7218-85-1

У навчальному посібнику розкрито методологічні основи інженерного проектування, обґрунтовано алгоритм проектування, орієнтованого на користувача (Human-oriented Design). Наведено загальні відомості про мехатронні системи сільськогосподарської техніки, гідроприводи та їх елементи. Представлено методику розрахунку гідроприводу та його елементів. Розроблено індивідуальні завдання та відібрано вихідні дані для проекту. Процес роботи над проектом передбачає аналіз проблеми, пошук можливих рішень, розроблення унікальної гідравлічної схеми гідроприводу мехатронної системи сільськогосподарської техніки, розрахунок та вибір основного і допоміжного обладнання (насосу, гідродвигуна, розподільників, дроселів, клапанів, робочих рідин, фільтрів, теплообмінників, трубопроводів тощо), підбір приводного електродвигуна, теплового розрахунку гідроприводу.

Матеріали посібника рекомендуються для застосування при виконанні студентами курсового проекту та окремих розділів дипломного проекту.

© О. А. Тітова, А. І. Панченко, А. А. Волошина, 2019

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ	
<i>(Тимова О. А.)</i>	7
1.1. Сутність інноваційної інженерної діяльності	7
1.2. Принципи та завдання проектування	13
1.3. Методи проектування	25
1.4. Етапи проектування	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 1	41
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ГІДРОПРИВОДУ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ	42
2.1. Загальні відомості про основне і допоміжне обладнання гідроприводу мехатронних систем <i>(Панченко А. І., Волошина А. А.)</i>	42
2.1.1. Мехатронні системи	42
2.1.2. Гідроприводи мехатронних систем	52
2.1.3. Гідромашини	54
2.1.4. Гідравлічні апарати	82
2.1.5. Кондиціонери робочої рідини	107
2.1.6. Гідролінії	125
2.1.7. Робочі рідини	128
2.1.8. Системи циркуляції робочої рідини	132
2.2. Розрахунок гідроприводу мехатронних систем сільськогосподарської техніки <i>(Панченко А. І., Волошина А. А.)</i>	135
2.2.1. Вибір схеми гідроприводу	135
2.2.2. Вибір номінального тиску	137
2.2.3. Вибір і розрахунок гідроциліндрів	139
2.2.4. Вибір і розрахунок гідромоторів	142
2.2.5. Вибір і розрахунок насосів	143

2.2.6. Вибір напрямної і регулюючої гідроапаратури	149
2.2.7. Вибір робочої рідини	150
2.2.8. Вибір фільтрів і ємності гідробаку	151
2.2.9. Визначення потужності та ККД гідроприводу	152
2.2.10. Тепловий розрахунок гідроприводу	152
2.3. Завдання і структура курсового проекту (Тимова О. А.)	154
2.3.1. Завдання курсового проектування	154
2.3.2. Структура курсового проекту та вимоги до оформлення	160
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 2	163
ДОДАТКИ	165

ВСТУП

Сучасні глобальні виклики та наявна соціально-економічна ситуація в країні вимагають інноваційного розвитку сільського господарства. В умовах швидкого оновлення і якісного вдосконалення матеріально-технічної бази виробництва та стрімкого розвитку техносфери розв'язання проблем в інженерно-технічній, науково-технічній сфері виходить за межі окремих механізмів чи машин, їх вузлів і деталей сучасні технічні системи вимагають прийняття рішень на рівні «людина – технічна система – довкілля – соціум». Відтак, сучасний випускник закладів вищої освіти, зокрема аграрного університету, має не тільки продуктивно розв'язувати чітко визначене коло інженерно-технічних завдань, а й бути творчою особистістю, підготовленою до інноваційної діяльності, відзначатися розвинутими технічними здібностями, екологічною свідомістю, соціальною відповідальністю. Вирішуючи техніко-технологічні задачі, інженерно-технічні працівники активно впливають на суспільство, людину, природу, тому що нині необхідно не тільки створити технічний пристрій, механізм чи машину, технологічно грамотно їх експлуатувати, а й організувати екологічно безпечне функціонування системи. Вказане вимагає від майбутніх інженерів ґрунтовних професійних знань і умінь, здатностей вирішувати завдання екологічного, економічного та управлінського характеру.

Основа інженерної діяльності – проектування – у сучасних умовах ринку орієнтується на споживача, що вимагає від інженера-професіонала володіння провідними методами та засобами проектування.

З іншого боку, сучасні тенденції гідрофікації самохідної техніки вимагають розробки нових і вдосконалення існуючих конструкцій мехатронних систем з гідравлічним приводом активних робочих органів та ходових систем. Функціональні параметри мехатронних систем з гідравлічним приводом залежать від раціонального вибору режимів роботи гідравлічної системи та конструктивного виконання мехатронних модулів цих систем.

Нині, майже жодна сучасна самохідна машина, не проектується без використання гідроприводу. Це пояснюється такими перевагами гідроприводу, як невеликі габарити, універсальність, висока швидкодія, оптимальні компоновальні можливості та ін. Проте процес проектування та експлуатації гідроприводу вимагає високої компетентності розробника та обслуговуючого персоналу.

Гідроприводи мехатронних систем різних машин працюють під високим тиском і, як наслідок, є об'єктивно небезпечними. Звідси дуже важлива підготовка висококваліфікованих фахівців з проектування гідравлічних приводів та їх елементів.

Проектування гідравлічного приводу мехатронних систем – процес творчий, який залежить від багатьох зовнішніх чинників. Будь-який гідропривід можна виконати за допомогою різних схем, різного типу і типорозміру гідрообладнання, в різноманітному компонуванні і т.ін. Основними факторами при проектуванні гідравлічних приводів мехатронних систем сільськогосподарської техніки є технологія її використання, умови роботи, діапазон зміни зовнішніх навантажень, необхідний ступінь безпеки тощо.

Робота над курсовим проектом передбачає спрощене проектування в декількох варіантах (схемах) та вибір з урахуванням кількох можливих значень тиску, типів насосів і гідродвигунів. Після детального аналізу вибирається найбільш оптимальний варіант (схема).

При проектуванні гідроприводу мехатронних систем сільськогосподарської техніки в першу чергу необхідно вибрати схему циркуляції робочої рідини. При відкритій схемі циркуляції забезпечується найкраща тепловіддача, відсутня необхідність у пристроях підживлення. Продукти зношування пристроїв і трубопроводів скидаються безпосередньо до баку з ємністю, де відбувається їх накопичення. Існує можливість підключення до одного насосу великої кількості гідродвигунів. При замкнутій схемі циркуляції істотно зменшується об'єм бака і рідини, розміри насосів і фільтрів, відсутня необхідність у пристроях для реверсу гідродвигуна.

При проектуванні необхідно відповідально підходити до вибору значення тисків робочої рідини. Чим вище тиск у гідросистемі, тим більшу потужність може передати гідропривід при тих же габаритах. Однак, слід відзначити, що зі збільшенням тиску зростає вартість гідромашин, гідрообладнання та всього гідроприводу в цілому. Також зростає необхідний ступінь очищення робочої рідини та ускладнюється проблема тепловідведення, знижується надійність роботи машини.

Матеріали посібника рекомендовано застосовувати при проектуванні та розрахунку гідроприводу мехатронних систем сільськогосподарської техніки під час виконання студентами курсового проекту та окремих розділів дипломного проекту.

РОЗДІЛ 1

ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1. Сутність інноваційної інженерної діяльності

Створення соціально-економічних умов розвитку аграрного сектору України, який визначає продовольчу, економічну, екологічну та енергетичну безпеку, є стратегічною метою країни, для досягнення якої затверджується перелік завдань на державному та місцевому рівнях. Значимість розвитку сільського господарства підтверджується цілою низкою державних нормативних документів: Законом України «Про державну підтримку сільського господарства України», Державною цільовою програмою розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 року, Стратегією розвитку аграрного сектору економіки України на період до 2020 року, Стратегією соціально-економічного розвитку сільських територій «Рідне село» та ін.

Феномен інженерної діяльності є загальнонауковою категорією, яка була і залишається актуальним предметом міждисциплінарних досліджень. Згідно із звітом UNESCO інженерна діяльність насамперед пов'язана з фундаментальною наукою, прикладною наукою, інженерною творчістю, технологією та інновацією. Сучасний інженер повинен бути готовим до того, що деякі проблеми не мають одного єдиного рішення; деякі проблеми на певному етапі можуть не мати рішення взагалі; а також до того, що інженерні задачі в реальній практиці на відміну від навчальних задач майже не бувають «укомплектованими» чіткою повною інформацією щодо їх рішення – частина задач має більше інформації, ніж потрібно, хоча переважна більшість – має недостатньо інформації; інженер має усвідомлювати, що реальні технічні задачі, як правило, «незамкнуті», тобто не мають

єдиного правильного рішення, а іноді рішення, яке спочатку здавалося безглуздим, згодом може виявитися найкращим, отже помилятися не означає зазнавати невдач.

Творчий аспект у діяльності інженера був присутній з моменту її виникнення та походження слова «інженер» від давньолатинської «*ingeniare*», яке перетворилося згодом у «*ingenere*» та має значення «створювати, творити». Тобто інженер – це той, хто створює: покращує, винаходить, конструює, проектує, – той, хто нестандартно мислить.

Інженерне мислення – це специфічне професійне мислення, націлене на проектування, вироблення та експлуатацію високоефективної, надійної та естетичної техніки, на розробку та впровадження нових прогресивних технологій, на підвищення якості та безпеки продукції та організації виробництва. Розвинене інженерне мислення спирається не тільки на експериментальну базу, а і на теорію, та додає такі характеристики інженерного мислення, як раціональність, системність в аспекті професійних інженерних дисциплін та економічної рентабельності, а також тенденцію до універсалізації та поширення на всі сфери діяльності людини.

Раціональну, теоретичну та методологічну основу інженерного мислення складають технічні, технологічні, природничо-наукові та інженерні знання. Також структура інженерного мислення включає творчий, чуттєво-емоційний та аксіологічний елементи, пам'ять, уяву, фантазію, професійну самосвідомість. Останнім часом все більшої важливості у структурі інженерного мислення набувають соціально-гуманітарні знання.

Оскільки інженерна творчість – це вільна від алгоритмів та інструкцій діяльність. Вона проявляється у *раціоналізаторстві* – найбільш поширеному виді технічної творчості, результатом якого стає удосконалення, покращення існуючої техніки, процесу її роботи та обслуговування; *винахідництві* – створенні нового

технічного, або технологічного вирішення, принципів дії, способів реалізації цих принципів, нових конструкцій технічних систем або окремих їх компонентів на підставі наукових, експериментальних та теоретичних знань. Патенти, авторські свідоцтва, тощо – це «особливі продукти» винахідництва. В умовах стрімкого розвитку технічних наук винаходи ґрунтуються і супроводжується ретельними інженерними дослідженнями, що викликає необхідність у спеціальній проектно-конструкторській діяльності. Інший вид технічної творчості, *конструювання*, представляє собою процес розроблення конструкції об'єкту технічної системи, яка потім відтворюється на виробництві. Інженерна діяльність базується на дослідженнях, що включають перед проектне обстеження, теоретичне обґрунтування, аналіз можливості використання вже наявних наукових даних та методик інженерних розрахунків, оцінку аналіз необхідності проведення додаткових досліджень, оцінку ефективності розробки, тощо. Результати цих досліджень втілюються у сфері інженерного *проектуювання*, що пов'язано з науково-технічними розрахунками основних параметрів майбутнього технічного об'єкту. Загальна функція проектування – це вироблення ідей технічного об'єкту, оцінка переваг і недоліків, з подальшим вибором оптимальної концепції. Окремі функції проектування пов'язані зі створенням робочих креслень (технічного і робочого проектів), основної технічної документації для виготовлення технічного виробу на виробництві.

У процесі своєї еволюції об'єкт інженерної діяльності значно змінився: замість окремої машини, пристрою, технології, тощо інженер має справу з технічною системою, яка в свою чергу не існує окремо, а є частиною концепції «людина – технічна система – довкілля – соціум». З огляду на це можна стверджувати, що і діяльність інженера значно ускладнилася і включає додатково такі функції як розробка

економічних, організаційних і соціальних аспектів, методологічна діяльність і науково-технічна координація.

На основі аналізу наукових джерел можна зробити висновки про те, що інженерна діяльність на сучасному етапі економічного, технічного та технологічного розвитку суспільства має певні характерні риси: по-перше, передбачення можливості модифікування технічного об'єкту ще на стадії проектування, оскільки технології змінюються надто стрімко, і навіть найсучасніша техніка швидко застаріває. Л. Гур'є називає цей феномен «еволюційним системним проектуванням» [7, с. 26-27]. По-друге, об'єкти інженерної діяльності стали настільки складними, що майже неможливо передбачити всі особливості та параметри їх функціонування в системі «людина – технічний об'єкт – довкілля – соціум», тому є необхідність у супроводженні під час впровадження з метою налагодження та коригування процесу роботи. По-третє, набуття проблемою утилізації, ліквідації або рециклінгу (повторного використання відходів виробництва) статусу окремого предмету наукового дослідження, що вимагає ще на стадії розробки технічного об'єкту відповідності вимогам щодо застосування матеріалів, придатних до утилізації.

Сучасний період соціально-економічного розвитку характеризується глобальністю технологічного опанування світу, а науково-технічні ідеї, надсучасні технології та наукомісткі дорогі продукти є головною рушійною силою сталого розвитку суспільства. Тому, коли йде мова про інженерну діяльність 21 століття, то, як правило застосовується поняття інноваційна інженерна діяльність, що означає розробку та створення нових об'єктів, доведених до виду конкурентоспроможної товарної продукції, здатної забезпечити позитивний економічний ефект.

Інноваційність інженерної діяльності відмічено у численних наукових працях вітчизняних та зарубіжних дослідників, які впевнені, що нині інновація стосується майже кожного процесу, націленого на результати від мінімального покращення якості до створення найсучасніших продуктів та послуг. З цієї точки зору діяльність сьогоденного інженера щодо техніки, технологій та інформації включає створення або розробку нових операцій, продуктів, процесів, послуг; бачення традиційних речей в іншій перспективі; рух за межі існуючих парадигм; покращення наявних процесів та функцій; розповсюдження нових ідей та видів діяльності; впровадження скрізь ідей, які були успішно апробовані.

Вчені у своїх дослідженнях доводять інтегративний інноваційний характер професійної інженерної діяльності. Поряд із класичними видами діяльності (проектно-конструкторською, технологічною, організаційно-управлінською, науково-дослідною) обґрунтовуються інноваційні види діяльності інженера – «інформаційно-аналітична, інформаційно-технічна, діагностична, маркетингова, промоутерська», сервісна, діяльність з менеджменту якості» [5, с. 23-24].

Інноваційна інженерна діяльність характеризується посиленням творчого аспекту (нешаблонне мислення, творчі підходи у рішенні професійних задач, орієнтація у великих об'ємах інформації та умовах, які швидко змінюються); інтеграцією інженерних функцій (ефективне поєднання винахідництва, конструювання та проектування з діагностичними, організаційними, маркетинговими видами діяльності); орієнтацією на потреби ринку (прагнення до постійного підвищення якості та безпеки товару чи послуги); зростаючою потребою в ефективній міжпрофесійній комунікації (результативній співпраці з фахівцями з різних сфер).

Роль інженера в аграрному виробництві була і залишається провідною, оскільки тенденція вбік механізації та автоматизації сільськогосподарського виробництва зберігається. Проте підготовка сучасного інженера здійснюється у мінливих умовах. Відбувається постійне зростання та накопичення інформації, з'являються нові технології і матеріали, змінюються підходи до вирішення певних інженерних завдань, що спричиняє постійне швидке оновлення матеріально-технічної бази усіх сфер життєдіяльності людини. А отже існує очевидна необхідність у посиленні розвитку творчого характеру діяльності майбутніх інженерів, що дозволить швидко адаптуватися до умов виробництва, які постійно змінюються, брати участь чи самостійно ініціювати та реалізовувати різні види інновацій, які в свою чергу формують вимоги до підготовки сучасного агроінженера:

- високий рівень теоретичної і практичної підготовки;
- здатність визначати проблему та вміння формулювати задачу;
- вміння працювати з інформацією;
- вміння знаходити шляхи вирішення проблем та задач;
- вміння приймати рішення;
- вміння спілкуватися з людьми та працювати в команді різних спеціалістів;
- здатності до саморозвитку.

Таким чином професійна діяльність майбутнього інженера, яка націлена на створення нових технічних об'єктів, конкурентоспроможних у сучасних умовах, а також на рішення проблем суспільства у рамках концепції «людина – технічна система – довкілля – соціум», набуває інноваційного характеру.

1.2. Принципи та завдання проектування

Проектування – це процес перетворення початкового представлення об'єкту у кінцевий на основі виконання комплексу дослідницьких, розрахункових та конструкторських робіт.

Проектування і конструювання являють собою діяльність з ідеями (нематеріальними продуктами). Виготовлення й експлуатація – це діяльність з виробами (матеріальними продуктами). Означені області інженерної діяльності базуються на дослідженнях. Дослідницька діяльність в області технічних засобів спрямована на перетворення та відповідні дії над матеріальними об'єктами. У цьому аспекті інтерес складає проект, який виступає результатом мисленнєвої діяльності інженера та ґрунтується на експериментальних і розрахункових даних. Результати теоретичних і практичних досліджень у сукупності складають основу для створення проекту та винайдення нової інформації. Таким чином, терміни «проект» і «виріб» спираються на розуміння творчої технічної діяльності. Причому проект є результатом розумової діяльності в аспекті опрацювання інформації, а виріб стосується результату діяльності інженера у сфері техніки, що представляється у вигляді матеріальних об'єктів, передбачаючи оперування інженера з категоріями маси й енергії.

Соціальний обов'язок інженера зводиться до ретельного виявлення і визначення потреби споживача технічного рішення. Філософське осмислення техніки, технічних систем, взаємодії їх з людиною та навколишнім середовищем набуває критичної важливості. З часів виникнення філософії техніки у ХІХ сторіччі її функція трансформувалася з первинного визначення взаємозв'язку між технікою та іншими сферами життєдіяльності людини до сучасного встановлення меж відповідальності інженера.

Ф. Бон ретельно досліджує поняття обов'язку (повинності) та добра в контексті філософії техніки, встановлюючи, що до пізнання веде питання «Що я маю робити?». У терміні обов'язку він вбачає два значення: категоричний та гіпотетичний обов'язок, що В. Горохов трактує як моральний та технічний. При цьому перший задає направленість діяльності, а другий встановлює засіб або спосіб досягнення мети [6]. Філософ вважає, що означене питання не виникає ізольовано, без визначення мети та прогнозування наслідків. Зрештою він доходить висновку, що на такого роду питання неможливо відповісти за допомогою лише однієї будь-якої науки, закладаючи розуміння міждисциплінарного принципу розвитку техніки.

Слід зауважити, що Ф. Бон вже свого часу вбачає метою будь-яких технічних заходів задоволення потреб людини. Проте ця мета на його думку має запроваджувати добро, тобто слугувати найвищій цілі, що складає предмет філософії етики. Ця ідея отримала нині розвиток у двох напрямках. Коли йдеться про процес розроблення будь-якого продукту, зокрема техніки, прагнення задовольнити потреби людини лягло в основу комплексного підходу «Проектування, орієнтоване на споживача». Потребам і бажанням кінцевого споживача надається максимум уваги, що змінює зразки поведінки та дій проектувальника у процесі оптимізації продукту, вимагаючи від нього ретельного дослідження та аналізу «історії» застосування продукту, а також неодноразового тестування прототипів за участю потенційного споживача.

Комісією Союзу німецьких інженерів встановлено вісім «центральної ціннісних областей» діяльності інженера: здатність функціонування, економічність, добробут, здоров'я, безпека, стан навколишнього середовища, якість суспільства та розвиток особистості. Деякі ціннісні сфери підпорядковуються іншим, наприклад, безпека – здоров'ю, чи економічність – добробуту, у той же час окремі цінності

можуть конкурувати та обмежувати одна іншу (стандовкілья, як правило, потребує додаткових витрат, тобто ця сфера є конкурентною для економічності, з іншого боку економічність і безпека у певному сенсі можуть обмежувати розвиток особистості) [10]. Завдання інженера на цьому тлі – вміти оцінити пріоритетність цінностей (або критеріїв, які їх описують) і на цій основі бути здатним прийняти оптимальне рішення, яке потім буде реалізовано.

Розроблення систем штучного інтелекту та поступове впровадження їх елементів у всі сфери діяльності людини безумовно породжує нові філософські питання, пов'язані з технічною творчістю, відповіді на які мають бути враховані при підготовці інженерів, зокрема для сільського господарства. Виділяється два типи поглядів на питання у сучасних умовах. З одного боку, технічна творчість – це «цілеспрямоване створення нового з елементів досвіду». З іншого боку, – це «перетворююча діяльність» інженера, яка відображає його розуміння світу та втілює його «усвідомлений вибір цілей», тобто створення *якісно* нового з елементів досвіду. Філософ слушно наголошує, що дві різні позиції породжують два принципово відмінних уявлення про можливість творчості техніки без участі людини. Тобто якщо творчість трактувати як діяльність із створення нових комбінацій з або на основі існуючих, то неважко уявити машину, яка створює нові комбінації, подібні існуючим. Проте якщо творчість розглядається як діяльність, націлена на створення чогось *якісно* нового, чого раніше не було, створювати не випадково, а з усвідомленням цілей, то у автора небезпідставно виникають сумніви щодо можливості такого сценарію [13].

Однак, не зважаючи на те, що питання про здатність техніки творити самотійно, про місце техніки у житті людини та місце людини у діяльності техніки залишаються відкритими, сучасні філософи йдуть далі і розмірковують над новими питаннями: якщо штучний інтелект у сфері

технічної творчості зможе діяти без участі інженера, то яких цілей він намагатиметься досягти? Наскільки ті цілі будуть гуманними? Як така можливість впливатиме на розвиток людства? Актуальність таких питань доводять ті докорінні зміни на основі автоматизації, які відбуваються у всіх сферах нашого життя. Автоматизація передбачає часткову або повну заміну людини технічними засобами при отриманні, обробці (переробці), передачі та застосуванні матеріалів, енергії та інформації.

Принципи і задачі проектування.

Проектування технологічного об'єкту пов'язане зі створенням, перетворенням і поданням у доступній прийнятій формі образу розроблюваного об'єкту, як це зазначають автори [8, 11, 12]. Образ об'єкту чи його складової частини може з'явитися в уяві людини під час творчого процесу, або генеруватися за деяким алгоритмом у процесі взаємодії людини і комп'ютера. У будь-якому випадку проектування починається за умов наявності завдання на проектування, яке відбиває потреби суспільства на отримання того чи іншого продукту або технології. Це завдання подається у вигляді певних документів, які містять вихідний (початковий) описом інженерного рішення (конструкції). Результатом проектування, як правило, є повний комплект документації, що містить достатньо інформації для виготовлення об'єкту у заданих умовах. Ця документація являє собою кінцевий опис інженерного рішення (конструкції).

У процесі перетворення початкового опису продукту у кінцевий виникає потреба у проміжних описах, які є предметом досліджень з метою визначення плану проектування з визначенням етапів та вибору способів та засобів його виконання. Такі описи називають *проектними рішеннями*.

Проектування складних об'єктів уможлиблюється через застосування низки принципів, основними з яких є

декомпозиція та ієрархічність опису об'єктів, *багатоетапність та ітераційність* проектування, *типізація та уніфікація* проектних рішень і засобів проектування [8].

Декомпозиція та ієрархічність описів об'єктів.

Складність опису технічного або технологічного об'єкту має бути узгодженою з можливостями сприйняття його фахівцями та можливостями оперувати описом у процесі його перетворення за допомогою доступних засобів проектування. Проте забезпечити виконання цієї вимоги у межах окремого опису, не структуруючи його (розподіляючи на складові частини), можливе лише для простих об'єктів. Отже з'являється необхідність структурувати описи та відповідним чином розподіляти уявлення про об'єкт проектування на ієрархічні рівні і аспекти. Це дозволяє розмежувати роботи з проектування складних об'єктів та доручити їх виконання різним фахівцям або підрозділам проектної організації, що сприяє оптимізації процесу, прискоренню одержання проектних рішень та підвищенню якості проектів.

Для розподіл описів за ступенем деталізації властивостей і характеристик об'єкту застосовують *блочно-ієрархічний підхід* до проектування, що відповідає за появу ієрархічних рівнів у описах об'єкту.

На кожному ієрархічному рівні створюються свої поняття системи, підсистеми, компонентів та елементів. На верхньому ієрархічному рівні складний об'єкт, що підлягає проектуванню, розглядають як технічну систему, що складається з множини взаємозалежних, взаємопов'язаних і взаємодіючих, як єдине ціле, елементів. Кожний з елементів в описі першого рівня може також являти собою складний об'єкт, що, у свою чергу, досліджується як система на другому рівні. Як правило, виділення елементів відбувається за функціональною ознакою. Подібний розподіл продовжується до того моменту, коли інженер на певному рівні отримує елементи, опис яких не потребує

подальшого розподілу. Такі елементи по відношенню до основного об'єкта проектування виступають *базовими елементами*.

Отже, *принцип ієрархічності* передбачає структурування уявлень про об'єкти проектування за рівнем деталізації описів, а за *принципом декомпозиції* здійснюється розподіл уявлень кожного рівня на низку складових частин, що уможлиблює розмежоване (поблочне) проектування об'єктів.

При проектуванні гідроприводу мехатронних систем сільськогосподарської техніки загальний опис об'єкту представляють принциповою схемою мехатронної системи. На наступному рівні із системи виокремлюється підсистема гідроприводу, яка у свою чергу представляється у вигляді гідравлічної схеми, що включає елементи основного та допоміжного обладнання: (насосу, гідродвигуна, розподільників, дроселів, клапанів, робочих рідин, фільтрів, теплообмінників, трубопроводів та ін.). Подальше застосування принципів ієрархічності і декомпозиції призводить до виділення рівнів описів технологічних операцій, тобто описів технологічних процесів та фізико-хімічних явищ, що відбуваються в елементах системи.

Крім розподілу описів за ступенем деталізації властивостей об'єкту застосовують декомпозицію описів за характером цих властивостей. Така декомпозиція спричиняє появу низки аспектів описів: функціонального, конструкторського і технологічного. Розв'язування задач, пов'язаних з перетворенням чи одержанням описів, що відносяться до цих аспектів, називають відповідно *функціональним, конструкторським і технологічним проектуванням*.

Функціональний аспект передбачає відтворення основних принципів функціонування, характеру фізичних і інформаційних процесів, що відбуваються в об'єкті,

відображається у принципівих, функціональних, структурних схемах та супроводжуючих документах.

Конструкторський аспект пов'язаний з реалізацією результатів функціонального проектування, тобто відповідає за визначення геометричних форм об'єктів та їх взаємного розташування у просторі.

Технологічний аспект відноситься до процесу впровадження результатів конструкторського проектування та стосується опису методів і засобів виготовлення об'єктів.

Усередині кожного аспекту можливе своє специфічне виділення ієрархічних рівнів. Так функціональний аспект опису технологічної системи включає в себе ієрархічні рівні принципівих, функціональних і структурних схем.

За напрямом проектування може бути *низхідним* та *висхідним*. Якщо розв'язання задач високих ієрархічних рівнів передує розв'язанню задач нижчих ієрархічних рівнів, то проектування називають *низхідним*. Якщо проектування спрямовується від нижчих ієрархічних рівнів і раніше виконуються етапи, що пов'язані з нижчими рівнями, то проектування називають *висхідним*.

Кожний з цих видів проектування має сильні та слабкі сторони. При низхідному проектуванні система розробляється в умовах, коли її елементи ще не визначені і, отже, відомості про їх можливості і властивості носять характер припущення. При висхідному проектуванні, навпаки, елементи проектуються раніше за систему, а, отже, характер припущення притаманний вимогам до елементів. В обох випадках через відсутність вичерпної інформації мають місце відхилення від потенційно можливих оптимальних технічних рішень. Проте подібні відхилення є нормальними для блочно-ієрархічного підходу, а оскільки нині не запропоновано альтернативи для системного проектування складних технічних об'єктів, оптимальність рішень, отриманих у такий спосіб варто оцінювати з

позицій техніко-економічних показників, що включають, зокрема, матеріальні та часові витрати на проектування.

Оскільки припущення, що приймаються, можуть не виправдовуватися або втрачати доцільність за певних умов, часто виникає необхідність повторного виконання проектних процедур попередніх етапів після виконання проектних процедур наступних етапів. Отже, *ітерація* виступає необхідним принципом проектування складних об'єктів, передбачаючи повторення окремих етапів та забезпечуючи послідовне наближення до оптимальних рішень.

В інженерній практиці висхідне та низхідне проектування зазвичай використовують разом. Наприклад, висхідне проектування має місце на усіх ієрархічних рівнях, де використовуються уніфіковані елементи (теплообмінники, резервуари, насоси, арматура, трубопроводи тощо). Очевидно, що уніфіковані елементи, які орієнтовані на використання їх в ряді різноманітних систем певного класу, розробляються раніше, ніж та чи інша конкретна система з цього класу.

Зовнішнє і внутрішнє проектування.

При проектуванні, спрямованому від вищих до нижчих рівнів, формулювання технічного завдання (ТЗ) на розробку елементів певного ієрархічного рівня відноситься до проектних процедур цього ж рівня. Тобто складаються справи з розробленням ТЗ на систему вищого ієрархічного рівня чи на уніфіковану систему елементів багатоцільового призначення. Таким чином розроблення ТЗ є самостійним етапом проектування, який має назву *зовнішнього проектування*. На відміну від нього етапи проектування об'єкту за визначеним ТЗ називають *внутрішнім проектуванням*.

Основою зовнішнього проектування є доцільний облік сучасного стану та номенклатури техніки і технологій, прогнозування їх розвитку на певний період часу, не

менший за життєвий цикл об'єкту. Поряд з технічними факторами необхідним є урахування економічних показників, прогноз вартості і строків проектування та виготовлення. На основі вивчення стану і перспектив науково-технічного прогресу група експертів формулює первинний варіант ТЗ на систему. Оцінку можливості виконання сформульованого ТЗ і рекомендації щодо його коригування одержують за допомогою проектних процедур внутрішнього проектування.

Отже, на початкових стадіях проектування складних систем має місце ітераційний процес, в якому по чергово виконуються процедури зовнішнього і внутрішнього проектування з метою формулювання ТЗ, його коригування, оцінок можливості виконання, прогнозування матеріальних і часових витрат на проектування та виготовлення технічного рішення (конструкції).

Уніфікація проектних рішень і процедур.

З метою підвищення техніко-економічних показників виробництва, оптимізації процесів та експлуатації виробів виконується уніфікація проектних рішень і процедур, використання яких призводить також до спрощення і прискорення проектування. Так, наприклад, типові елементи розробляються однократно, але в різних проектах застосовуються багатократно.

Однак уніфікація доцільна тільки у тих класах об'єктів, у яких з порівняно невеликої кількості різновидів елементів необхідно проектування і виготовлення великої кількості різноманітних систем. Саме ці різновиди елементів і підлягають уніфікації. Для систем, що складаються з таких елементів (часто і для елементів, що реалізують нові фізико-хімічні принципи чи технологічні можливості) у кожному конкретному випадку доводиться заново виконувати багаторівневе ієрархічне проектування. У таких умовах доцільно ставити питання не про уніфікацію виробів, а про уніфікацію засобів їх проектування і виготовлення, зокрема

про уніфікацію проектних процедур у межах систем автоматизованого проектування (САПР). Наявність засобів автоматизованого проектування типових проектних процедур дозволяє оперативно створювати проекти нових виробів.

Проектування, орієнтоване на споживача (Human-centered Design, HCD / User-centered Design, UCD).

Проектування, орієнтоване на споживача (згідно із стандартами ISO) – це підхід до вирішення проблем, який зазвичай використовується в рамках проектування та управління шляхом залучення фахівців для прийняття рішень на основі результатів спостереження за проблемою у контексті, мозкового штурму, концептуалізації, розробленні та реалізації рішення [13].

Згаданий напрям проектування реалізує підхід до розроблення технічних систем, що має на меті зробити техніку зручною та корисною, орієнтуючись на користувачів, їхні потреби і вимоги, а також застосовуючи людські фактори / ергономіку, знання щодо їх використання та відповідні методи. Цей підхід дозволяє підвищити продуктивність та ефективність кінцевого технічного рішення, покращити добробут людини, забезпечити задоволеність користувачів, доступність та стійкість конструкції, а також протидіє можливим несприятливим наслідкам впливу на здоров'я, безпеку та працездатність людини.

Проектування, орієнтоване на споживача, ґрунтується на наукових дослідженнях завдяки «виходу» учасників за межі вирішення проблем у лабораторії. На початкових етапах зазвичай використовується спостереження та контекстне дослідження, під час яких інженери заглиблюються у проблему в умовах її виникнення. Наступні етапи можуть потім зосереджуватися на спільному мозковому штурмі, моделюванні та виготовленні прототипів та впровадженні для цільової аудиторії. Крім

того, проектування, орієнтоване на споживача, часто зосереджено на інтеграції підходів, методів, технологій і засобів, щоб полегшити проблеми, особливо навколо питань охорони здоров'я. Після того, як рішення буде підготовлено, інженери активно використовують зворотній зв'язок із громадою з метою з'ясування того, наскільки успішним є рішення.

Після ідентифікації та визначення проблеми і вимог до рішення проектування отримує чітке спрямування, що дозволяє зосередитись на досягненні цілей, задоволенні всіх потреб якомога більшої кількості клієнтів, що гарантує успішність продукту. Концепція проектування, орієнтованого на споживача, не є новою, проте нині, у мінливих умовах сучасності, набуває ключового значення.

Означений процес проектування часто описується у вигляді низки масштабних фаз, а не конкретних етапів. І в кожній з цих фаз замовник відіграє різну роль. Перший крок або фаза процесу дизайну, орієнтованого на людину, зосереджена на спостереженні. Спостереження за навколишнім оточенням для виявлення можливості створити дещо цінне та вивчити свого споживача, щоб зрозуміти його потреби. Далі відбувається процес винайдення або концептуалізація проектних ідей. Ця фаза передбачає застосування технік генерування ідей з використанням дивергентного мислення, що дозволяє винайти кілька хороших ідей для рішення, якими інженери діляться з клієнтами, підготувавши для цього ескізи або «швидкі», грубі прототипи, щоб отримати перші відгуки. Оскільки отримання відгуків є критично важливим, ця фаза може тривати деякий час, носити ітераційний характер до тих пір, поки концепція не буде задовільною. Після цього будується повноцінний, функціональний прототип рішення, який можна протестувати та підготувати до ринку.

Відмітною рисою процесу проектування, орієнтованого на споживача, є наголошення на спостереженні за

замовником, вивченні його особливостей та залученні його замовника до процесу проектування. Збирання та вивчення відгуків відбувається на різних етапах роботи над рішенням. Великі успішні компанії нині заохочують своїх клієнтів надавати їм відгуки у вигляді електронних листів, рейтингів, відгуки на сайті компанії тощо. Наприклад, керівники компанії Amazon, розуміючи важливість «голосу клієнтів» спілкуються з ними щодня: читають і відповідають на сотні електронних листів клієнтів. Потім використовують специфічні потреби клієнтів, щоб надихнути своїх працівників вирішувати конкретні проблеми з продуктами, які вже є на ринку. Існує багато різних способів, за допомогою яких можна комунікувати із замовником, проте ідеальним є особисті зустрічі. Інші способи включають проведення опитувань, оцінювання інших популярних продуктів, щоб визначити, що цінують споживачі, або аналіз відгуків, які надали клієнти щодо інших товарів.

На етапі пошуку рішення потреби клієнта мають впливати на результати, оскільки розробник тримає у пам'яті низку деталей: *Як буде працювати виріб? З чого він буде виготовлений? Як він виглядатиме? Яким буде досвід користувача?* тощо.

Коли ви розробляєтеся проектне рішення, кожна його особливість має повинна відповідати певній потребі замовника. Отже перелік потреб замовника складає контрольний список, якого інженер притримується, щоб розробити успішне технічне рішення проблеми. Важливим є також доцільний баланс між додатковими конструктивні особливості, які не є потребою з боку замовника та дійсними бажаннями клієнта, оскільки додаткові переваги конструкції можуть додати вартості продукту.

Працюючи над рішенням окремої проблеми фокусується на розробленні конструктивних функцій, що безпосередньо відповідають потребам замовника, а потім

включає додаткові переваги, які бажають клієнти. Отже для підходу до проектування, який зорієнтований на користувачеві, критично важливим є «голос замовника», урахування якого сприяє вдосконаленню дизайну. Задоволеність замовника визначає успіх інженерного рішення та виробу.

1.3. Методи проектування

Проектування являє собою послідовність виконання взаємозалежних та взаємообумовлених дій (процедур). У свою чергу, процедури передбачають використання певних методів, заснованих на тих чи інших законах і закономірностях природи техніки і суспільства.

Метод - це прийом або спосіб дії, запровадженої з метою досягнення бажаного результату. На вибір методу проектування впливають: тип задачі, індивідуальні риси розробника (його компетентність, досвід, характер мислення, схильності до ризику, здатності приймати рішення і нести за них відповідальність за результати своєї творчості тощо), умов проектування (оснащеності необхідними та додатковими засобами), а також особливості та потреби замовника.

Евристичні методи засновані на підсвідомому мисленні, не допускають алгоритмізації і характеризуються неусвідомленим (інтуїтивним) способом дій для досягнення усвідомлених цілей. Поняття «евристика» означає «відшукую», «відкриваю».

Часто евристичні методи ще називають методами інженерного (винахідливого) творчості. Евристичні методи та моделювання притаманні тільки людині і суттєво відділяють його від штучних інтелектуальних систем. Нині до сфери людської діяльності відносять: постановку задачі; вибір методів її рішень і побудова (розроблення) моделей і алгоритмів, висування гіпотез і припущень; осмислення

результатів і прийняття рішень. Варто відзначити, що важливою особливістю саме людської діяльності є наявність у ній елементу несподіваності та випадковості: незрозумілі вчинки і нав'язані рішення часто лежать в основі оригінальних та неочікуваних ідей. Однак з розвитком обчислювальної техніки виконання все більшого числа функцій беруть на себе автоматичні системи, при цьому виконуючи роботу швидше і якісніше людини. У таких умовах завдання інженера полягає у вдосконаленні евристичних процедур, а не у виконанні алгоритмізованих операцій, оскільки це останнє загрожує витісненням певних функцій та професій «розумною» технікою.

Експериментальні методи засновані на використанні реальних об'єктів і фізичних (хімічних, соціальних і т.д.) моделей. Незважаючи на складність, тільки вони дозволяють отримати найбільш достовірні і надійні вихідні дані та результати рішень, служать основою для розробки інших методів і моделей. Однак ступінь об'єктивності результатів досліджень залежить від грамотності організації, проведення експерименту та обробки його результатів. Знання законів і закономірностей, що складають основу роботи досліджуваних об'єктів і процесів, дозволяє використовувати *формалізовані методи*. Такі методи будуються на основі чітких вказівок за допомогою мови схем, математичних формул, формально-логічних відносин та алгоритмів. Їх основною відмінністю є незалежність отриманих результатів від індивідуальних особливостей інженера. Зазвичай завдання з повністю формалізованим рішенням відносять до розряду рутинних. Проте, оскільки експериментальні та формалізовані методи використовуються людиною, то вони в тій чи іншій мірі включають елемент евристики. Людина може як посилювати ефективність вирішення через застосування творчого потенціалу, так і вносити помилки, спотворювати результати (свідомо чи несвідомо) в силу суб'єктивності

людської діяльності. Часто формалізовані і евристичні методи використовують поряд.

Метод ітерацій (послідовного наближення) застосовується через брак інформації під час процесу проектування, який проявляється у:

- відсутності можливості заздалегідь точно визначити умови роботи проектованого об'єкту;

- відсутності повної інформації про його тип та особливості (особливо, коли вихідні дані залежать від кінцевого рішення);

- виявлення під час проектування суперечливих, взаємовиключних вихідних даних, що унеможлиблює прийняття технічного рішення на основі запропонованих спочатку даних;

- необхідність врахування додаткових умов чи обмежень, які раніше вважалися несуттєвими;

- перерозподіл критеріїв і показників якості за ступенем важливості, коли з'ясовується, що показник, який раніше вважався другорядним, має вищий рівень значущості (і навпаки).

Така невизначеність даних під час проектування усувається за допомогою виконання ітераційних процедур. Спочатку завдання вирішується на основі наявних і доступних значень вихідних параметрів з обмеженим числом врахованих чинників. Це складає перший цикл ітерацій («перше наближення»). Далі розробник повертається до початку процесу проектування – до завдання і повторює процедуру пошуку рішення, але на цьому етапі з урахуванням уточнених значень вихідних даних та переліку фактів, з'ясованих на попередньому етапі (другий цикл ітерацій, «друге наближення»). Процедура повторюється кілька разів. Число циклів ітерацій залежить від ступеня невизначеності початкової постановки задачі, її складності, досвіду і кваліфікації проектувальника, необхідної точності рішення, а також економічної

доцільності. У процесі наближень можливо не тільки уточнення, але і відмова від початкових припущень. Для підкреслення, того факту, що початкове рішення задачі виконувалося в умовах повної або великої невизначеності, перший цикл ітерацій називають «нульовим наближенням». Метод ітерацій добре ілюструє той факт, що ще жоден технічний об'єкт чи будь-який продукт не був створений з першого разу. З іншого боку, кількість циклів не може бути безкінечною.

Метод послідовних наближень спрямовує діяльність розробника в умовах невизначеності, відсутності ідей тощо, коли вихідним може бути прийнято будь-яке відоме рішення, яке аналізується щодо відповідності умовам завдання, та удосконалюється з урахуванням наявних даних.

Метод контрольних запитань (МКЗ), один із методів психологічної активізації творчого мислення, застосовується з метою спровокувати розв'язання задачі за допомогою навідних питань. Списки таких питань накопичувалися з 20-х років минулого століття. МКЗ може застосовуватись у вигляді монологу винахідника, у вигляді промови, зверненої до самого себе, наодинці з собою, або у вигляді діалогу винахідників у складі групи «генераторів ідей». Широко відомі списки контрольних запитань, які пропонували А. Осборн, Д. Пірсон, Е. Раудзенц, Г. Буш та ін. Наприклад, список автора мозкової атаки А. Осборна включає 9 груп запитань серед яких: Яке нове застосування технічному об'єкту ви можете запропонувати? Які модифікації технічного об'єкта можливі? Що можна зменшити у технічному об'єкті? Остання з вище згаданих груп містить зокрема такі запитання: Що можна змінити? Чи можна що-небудь ущільнити? Стиснути? Згустити? Сконцентрувати? Зменшити? Прискорити? Звузити? Розробити? І т.д. Одним з кращих можна вважати список запитань, складений англійським винахідником Т. Ейлоартом. Це свого роду програма роботи талановитого

винахідника, який з фантастичною наполегливістю намагається розв'язати задачу методом спроб і помилок. Деякі запитання потребують розвинутої уяви, інші – глибоких і різнобічних знань.

У сучасних умовах МКЗ може бути використаний лише на початкових стадіях постановки або розв'язування технічно нескладних задач. Справа в тому, що будь-яке формулювання запитання звичайно має на увазі можливі одноразові зміни об'єкта. Розв'язування складних задач вимагає комбінації змін. Хоча питання дають змогу розглядати такі комбінації, але не бракує методичних рекомендацій, як це зробити і як оцінити отримані результати. Однак окремі питання із списків контрольних запитань і навіть цілі списки входять до складу низки сучасних складніших і ефективніших методів пошуку технічного рішення. Тому застосування списків іноді відносять до методів ліквідації безвихідних ситуацій.

Метод *мозкового штурму* (МШ) відомий і під такими назвами, як мозкова атака, брейнстормінг, облога мозку, метод обміну думками тощо, застосовується для отримання нових ідей в науці, в техніці, в адміністративній і торговельній діяльності. МШ є одним із популярних методів психологічної активізації колективної творчої діяльності, хоса і існують думки, що часто цей метод не дає результатів у вигляді успішних ідей. В основі МШ лежить припущення, що розв'язати завдання можна, вивільнюючи з підсвідомості направлений потік ідей. Автор методу, А. Осборн, розробляв його, усвідомлюючи, що лише невеликий відсоток людей здатний висловити нові, сирі, не сформульовані та не оформленні думки. Він присяв на парадокс: щоб зменшити упорядкованість мислення, характерну для процесів свідомості, яка спрямовується психологічною інерцією, і допомогти новим ідеям прорватися із підсвідомості у свідомість, необхідно внести порядок в саму процедуру МШ, ввівши певні правила.

Метод МШ ефективно використовується для розв'язання задач, які не є точними або спеціальними, нескладних задач. Наприклад, для його застосування більше підходить завдання такого типу: Якою уявляється конструкція нової машини? або Як змінити організацію та управління для покращання умов праці і підвищення ефективності використання людських ресурсів?. Гірші результати означений метод дозволяє отримати для рішення більш спеціалізованих завдань: Яким чином можна зменшити рівень шумів у гідроапаратурі? Нині, коли з'явилися десятки інших більш складних і детально розроблених методів і прийомів пошуку нових технічних рішень, «мозковий штурм» в його початковому чистому вигляді для розв'язання винахідницьких задач не використовується широко. Проте цей метод дозволяє майбутнім винахідникам розвивати творче мислення та сприяє підготовці інженерів до інноваційної професійної діяльності.

Сутність *морфологічного аналізу* полягає в удосконаленні технічної системи, яка проектується через виділення декілька характерних для неї структурних, морфологічних ознак, тобто ознак будови системи. За кожною морфологічною ознакою складають список конкретних варіантів технічних рішень. Варіанти морфологічних ознак будують у вигляді таблиці або наносять на систему координат, що дозволяє краще уявити пошукове поле. Перебираючи різновиди сполучень варіантів, можна виявити нові технічні рішення, які при звичайному перебиранні можуть бути втрачені.

Асоціативні методи пошуку нових технічних рішень застосовують для того, щоб відвернути увагу винахідника від стереотипних та звичних для нього поглядів і спрямувати пошук рішення у нову галузь. Для цього, наприклад, рекомендують надати об'єкту, що удосконалюється, сторонніх ознак. Такий підхід використовують: *метод каталогу* (запропонований у

Німеччині Ф. Кунце, у 1926 році), *метод фокальних об'єктів* (США, Ч. Вайтінг, 1958 р.) і *метод гірлянд випадковостей (асоціацій)* (СРСР, Г. Буш, 1972 р.).

Сутність *методу каталогу* полягає у спробах пов'язати з об'єктом перше зустрічне слово, довільно взяте з книги, журналу, каталогу. Наприклад, якщо об'єкт – «колесо», а випадкове слово – «мотор», то отримуємо сполучення «мотор-колесо». А потім розвивається асоціативний зв'язок цього образу: мотор на колесі, колесо з мотором тощо, наштовхуючи винахідника рішення задачі.

Метод фокальних об'єктів пропонує вибрати із словника випадковий об'єкт (наприклад, парламент) і виділити у ньому декілька властивостей (наприклад, двопалатний, вибірний, включає багато членів тощо). Цими властивостями наділяють об'єкт, що удосконалюється, наприклад, годинник: з двома екранами, або режимами, з вибором функцій, кольору, тощо. Отримані сполучення асоціативно розвиваються, що іноді дає вдалі ідеї технічного рішення проблеми.

У *методі гірлянд випадковостей та асоціацій* «гірлянди» формуються у вигляді списків синонімів або асоціацій. Потім елементи із різних гірлянд попарно з'єднують.

Існує ряд інших методів, менш популярних, але які також мають деякі раціональні сторони. З них можна виділити групу методів, що ґрунтуються на комбінаційному підході, серед них *метод десяткових матриць пошуку*, *метод симетричних матриць* та ін. Сутність *методу десяткових матриць* (СРСР, Р. Повілейко, 1972 р.) полягає у застосуванні «збірної» матриці пошуку, яка включає у рядках 10 евристичних прийомів (неологія, адаптація, мультиплікація, диференціація, інтеграція, інверсія, імпульсація, динамізація, аналогія, ідеалізація), а у стовпцях – 10 основних показників технічної системи (геометричні, фізико-механічні, енергетичні, конструкційно-технологічні,

надійність і довговічність, експлуатаційні, економічні, ступінь стандартизації і уніфікації, зручність обслуговування й безпеки, художньо-конструкторські показники), для пошуку нових ознак та можливих технічних рішень.

Особливу місце серед методів проектування посідає теорія розв'язку винахідницьких задач (ТРВЗ), розроблена Г. Альтшуллером. Разом з «озброєнням» майбутнього інженера прийомами для рішення конкретних технічних задач, ТРВЗ забезпечує «... таку технологію мислення, яку у старих термінах ми називаємо талантом» [3]. За переконанням автора творча задача «завжди містить протиріччя, яке потрібно усунути подолати або ... послабити» [2], таким чином, винахідництво – це усвідомлення та усунення протиріч усередині системи, зокрема технічної. Згідно з ТРВЗ протиріччя у технічних задачах класифікуються, а кількість протиріч, на відміну від кількості творчих задач, обмежується типовими прийомами їх подолання, які було проаналізовано та зібрано автором у методиці винахідництва у величезну «Таблицю вибору прийомів усунення технічних протиріч». Прийоми та їх сполучення представлено на різних рівнях [4]:

- елементарні (дроблення, поєднання, принцип асиметрії, тощо);
- «сильніші» (пари прийомів типу «прийом-антиприйом»);
- складні (сполучення елементарних прийомів з парними) – уможливають докорінні зміни об'єкту, націлені на удосконалення об'єкту до рівня «ідеальної машини» та являють собою синтез низки дій.

Означені основи дають підстави представити розв'язання задачі інженерами через такі етапи:

- пошук: ідентифікація, усвідомлення, вивчення проблеми;

- формулювання проблеми таким чином, щоб досягти «ідеального кінцевого результату» (визначення протиріч, вимог до «ідеального» рішення);
- організація (визначення цілей, підготовка ресурсів, тощо);
- винайдення ідей (генерування безлічі ідей рішення із застосуванням відповідних технік без критичного аналізу);
- критичний аналіз ідей з урахуванням визначених вимог з прогнозуванням наслідків реалізації ідеї та прийняттям обґрунтованого рішення;
- післядія (у контексті інженерного проекту це ціла низка операцій реалізації ідеї від концепту до прототипу).

Хоча застосування прийомів подолання протиріч і дозволяє розв'язувати задачі з опорою на наукову теорію, а не простим перебиранням варіантів, проте окремі прийоми не гарантують успішного рішення задачі – потрібна програма, яка встановлює певні правила, а також «правила проти порушення правил» з метою запобігання відхиленню та помилок [1]. Ці функції реалізовано у АРВЗ, перші модифікації якого датуються 40-ми роками минулого сторіччя, а останню – АРВЗ-85-В – було розроблено за особистої участі Г. Альтшуллера [2]. При цьому автор робить важливий висновок про те, що прийоми можуть застарівати, тобто ті, які вважалися оригінальними та складними 10 років тому, можуть виявитися слабкими при рішенні нових задач.

Системи автоматичного проектування.

Стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, що спостерігається останніми роками, призвів до тотальної інформатизації та автоматизації усіх сфер життєдіяльності людини: економічної, наукової, виробничої, освітньої, а також суспільного життя. Значну роль автоматизовані системи (САПР – система автоматизованого проектування / (CAD – Computer Aided Design) відіграють нині і у процесах проектування

технологічних систем, зокрема у агропромисловому виробництві. Технологічний рівень найбільш розвинених у промисловому відношенні країн характеризується широким застосуванням ІКТ на робочому місці конструктора чи технолога, у виробничих цехах, складських приміщеннях, у сфері обслуговування, охорони здоров'я тощо [9].

Вітчизняна галузь сільськогосподарського машинобудування знаходиться у процесі переналаштування та модернізації з чітким усвідомленням того факту, що нині для задоволення потреб вимогливого споживача проектна діяльність має здійснюватися із застосування провідних світових підходів, методів і засобів.

Технологічні процеси аграрного виробництва включають багато операцій, які донині здійснюються вручну, тому проектування спрямоване на максимальну механізація і автоматизація через розроблення мехатронних систем. Сьогодні вимагає підвищити техніко-економічний рівень і якість проектів. Це стає можливим тільки завдяки застосуванню принципово нової технології проектування, яка передбачає багатоваріантне опрацювання інженерних рішень і вибір з них оптимального. У цьому випадку число математичних розрахунків і операцій пошуку інформації зростає за геометричною прогресією у порівнянні з кількістю варіантів, що аналізуються. У таких умовах проектувальники застосовують системи автоматичного проектування.

Вітчизняна і закордонна виробнича практика констатує неминучість поетапної автоматизації процесів проектування. На початкових етапах інженери використовували окремі програми чи пакети прикладних програм (ППП) для розв'язання задач розрахункового характеру; на подальших етапах створювалися системи автоматизованого проектування (САПР) з локальними базами даних і наборами PPP; та інтегровані САПР із загальною (загальногалузевою) базою даних і набором

великої кількості програмних комплексів, що розв'язують складні проектні задачі з використанням ІКТ.

Окремої уваги в умовах застосування складних інтегрованих систем автоматизованого проектування заслуговує проблема підготовки висококваліфікованих фахівців, які здатні застосовувати усі можливості сучасних систем автоматизації проектування.

Оптимальним підходом до автоматизації проектування є доцільний відповідний розподіл операцій між людиною і комп'ютером. Розподіл виглядає таким чином.

ІКТ відповідає за:

- накопичення та збереження даних у базі;
- пошук необхідної інформації;
- алгоритмізацію рутинних процесів;
- виконання трудомістких розрахунків;
- відтворення документації у вигляді креслень і описів;
- управління окремими процесами;

Проектувальник

- виявляє, визначає та формулює проблему;
- спілкується із замовником;
- визначає критерії оцінювання технічного рішення;
- формулює задачі;
- розробляє концепції, використовуючи можливості САПР;
- приймає ключові рішення під час процесу проектування.

Автоматизоване проектування можна визначити як технологію використання обчислювальних систем для допомоги проектувальникам під час аналізу, оптимізації, модифікації і прийнятті проектних рішень.

1.4. Етапи проектування

Розглянемо основні етапи або фази проектування, та пов'язану з ними професійну діяльність інженера (рис. 1.1 –

розроблено на основі відомих алгоритмів проектної діяльності [14]).

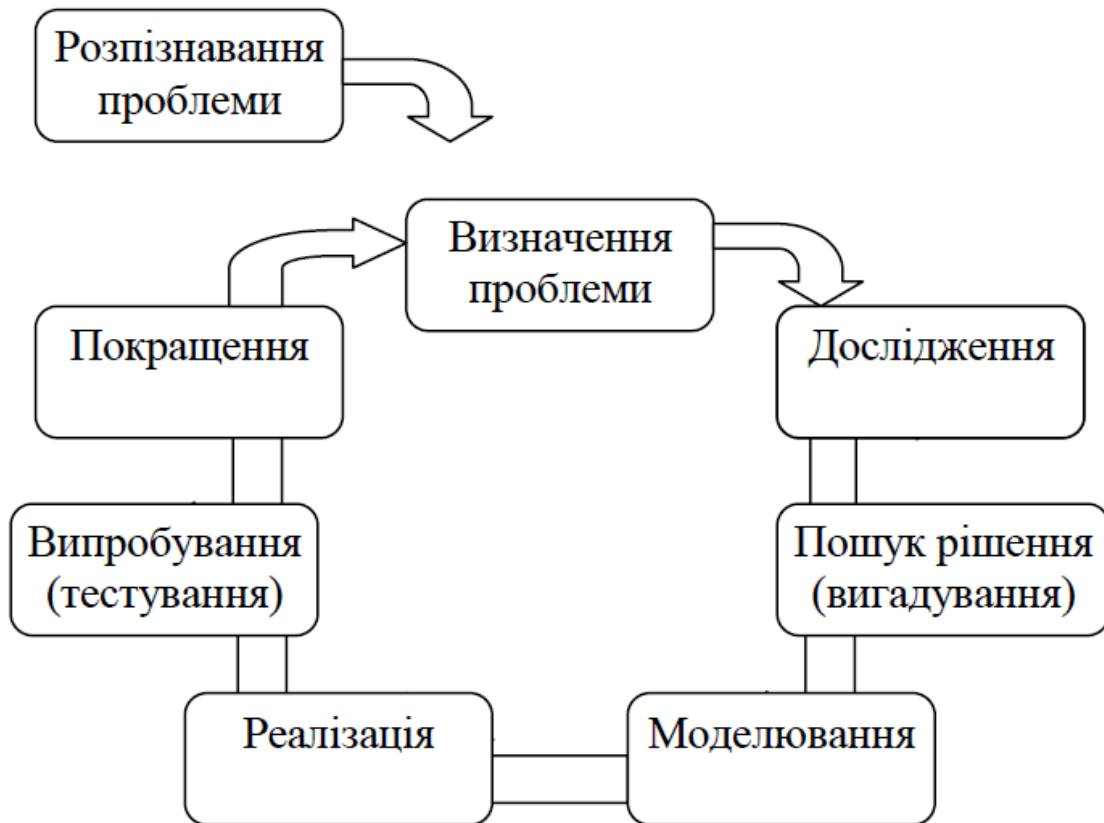


Рис. 1.1. Послідовність операцій при вирішенні проблеми (складено автором на основі [14])

Діяльність інженера починається тоді, коли виявляється потреба у певних змінах. Причому важливим є усвідомлення того, що така необхідність виникає з боку споживача. У сучасному виробництві спілкування із споживачем для того, щоб встановити проблему є добре організованим процесом, яким займаються спеціально підготовлені команди фахівців, що гіпотетично забезпечує майбутній фінансовий успіх потенційного інженерного рішення. Особливістю аграрного виробництва є те, що часто інженер, який покликаний вирішувати певну проблему одночасно і є споживачем, що має побачити цю проблему.

Виявлення та визначення проблеми замовника є першим і найважливішим кроком при розробленні нових рішень. Приділяючи належну увагу справжнім потребам споживача, інженер усвідомлює виклик, залишаючи себе відкритим для нових і непередбачуваних ідей.

Наступний крок спрямований на визначення того, що потрібно зробити для успішного рішення, обмеження, над якими має працювати розробник, та будь-які бажані атрибути, які хочете включити замовник. На цьому етапі необхідно розшифрувати, на що буде спрямовано рішення, а не те, яке рішення очікується. Перш ніж застосовувати будь-яку техніку генерування ідей необхідно чітко визначити цілі, відповівши на питання: *Що, без сумнівів (абсолютно, на 100%), має робити розроблювана конструкція?* Цей етап пов'язаний з специфічних тверджень, оформлених одним реченням на основі запитів та потреб клієнта. Перелік вимог визначає конкретне уявлення того, які функції має виконувати конструкція. Причому, вимоги не тільки визначають, а і обмежують можливе рішення. Тому запит клієнта перетворюється на вимоги до інженерного рішення. Існує дуже специфічний спосіб визначення вимоги. Іноді у промисловості це називається заявою. Речення починається з «Проект має...», або «Рішення повинно...». Слова «має» та «повинно» вказують на те, що рішення повинно абсолютно, на 100%, без сумніву, виконувати означені функції.

Вимоги мають бути максимально конкретними, включаючи те, що не потрібно робити. Іноді замовник може вже мати бачення рішення, проте не у повній мірі пояснити його інженерові. Тому для розробника важливо задавати зондуючі питання, щоб переконатися, що висвітлено кожну деталь. Процес визначення вимог часто циклічний і має кілька повторень, щоб винахідник міг переконатися, що все абсолютно чітко та встановити певні межі для подальших процедур проектування.

Якщо це можливо, вимоги включають кількісну інформацію та не містять таких узагальнень як «недорогий», «безпечний», «легкий», «швидкий» тощо, які у різних ситуаціях різними людьми можуть трактуватися по-різному. Вимоги повинні завжди повідомляти інженеру, *що* має вирішити проект, а не *як* його вирішити. Наприклад, є необхідність розробити телефон, який не розбивається. Перші думки обмежують рішення у рамках проектування телефону таким чином, щоб він був захищений при падінні. Таким чином обмежується творчість інженера, і результат буде досить очікуваним: наприклад, застосування зовнішньої гумової оболонки. А, можливо, не це було потрібно, можливо, є інший спосіб, – наприклад, застосування гнучкого екрану.

Ще одна річ, яку слід враховувати при визначенні вимог, – це фізичні обмеження навколишнього оточення.

Коли проблему виявлено, перший крок інженера – ґрунтовне визначення проблеми, тобто встановлення особливих потреб з боку споживача, цілей, які досягатимуться інженерним рішенням, вимог, які це рішення має задовольнити, критеріїв, що вимірюватимуть успішність рішення та обмеження його можливих функцій.

Наступний етап – це дослідження, яке дає змогу краще зрозуміти проблему, та, що є дуже важливим, підтвердити, що інженер стоїть перед вирішенням правильної (саме тієї, з якою зіткнувся споживач) проблеми. На цьому етапі вивчаються існуючі рішення, їх переваги та недоліки.

Потім починається творчий процес: підбір, уявлення, вигадкування, конструювання можливостей вирішення проблеми. Це вимагає від інженера дивергентного мислення, володіння техніками генерування ідей, оскільки досвідчені інженери передових виробництв зауважують, що на цьому етапі важливо винайти якомога більше варіантів, і кількість тут переважає якість. До уваги приймаються всі, навіть зовсім неймовірні ідеї. Потім всі рішення критично

аналізуються з урахуванням тих критеріїв, які було встановлено на першому етапі.

Для звуження першого, можливо, великого переліку рішень інженери визначають критерії, які використовуватимуть для розмежування варіантів. Критерій – це мірило, яке допомагає щось оцінити. Сформувавши перелік критеріїв, розробник може вирішити, що важливо. Для прикладу розглянемо покупку автомобіля. Кожен автомобіль буде відповідати вимозі щодо уміння пересуватися. Але при визначенні «самого того» увагу привертають такі речі, як витрата палива, комфорт, стереосистеми, навіть колір. Це все стосується критеріїв, які використовуються, щоб допомогти звужити перелік варіантів, щоб знайти ідеальний автомобіль. Критерії мають бути такими, щоб їх можна було оцінити та застосувати до всіх запропонованих варіантів.

Після вибору оптимального рішення на основі критеріїв відбувається *моделювання потенційного рішення* – це та наступна фаза, що суттєво відрізняє діяльність інженера-професіонала від діяльності аматора. Інженерна діяльність в цей період базується на наукових підходах, застосовуючи математичне або комп'ютерне моделювання, здійснення розрахунків, що потім супроводжується тривимірним моделюванням та розробленням креслень для подальшого виготовлення певних конструкцій. Тут проявляться аналітична та синтетична діяльність інженера, що дає його змогу прийняти детерміновані рішення. Але навіть такий підхід не виключає ймовірнісних рішень, які базуються на досвіді інженера і передбачають певні ризики. З огляду на це можна зробити висновок проте, що чим більше інженер матиме змогу вирішувати нестандартні задачі, починаючи з перших курсів навчання в університеті, тим багатший досвід він отримає, тим більш виправдані ризики він зможе дозволяти у своїй професійній діяльності.

Завершують процес операції *виготовлення прототипів та випробування* з урахуванням всіх вимог та критеріїв, що потім неодноразово може супроводжуватися фазою *покращення*.

Подальші матеріали посібника присвячено питанням моделювання, розрахунків та прийняття технічних рішень при проектуванні гідроприводів мехотронних систем для сільськогосподарської техніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Альтшуллер Г. С. Алгоритм изобретения. Москва: Московский рабочий, 1973. 296 с.
2. Альтшуллер Г. С. Алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ-85-В). URL: <https://www.altshuller.ru/triz/ariz85v.asp> (дата звернення: 26.02.2019).
3. Альтшуллер Г. С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. Петрозаводск: Скандинавия, 2003. 240 с.
4. Альтшуллер Г. С. Теория решения изобретательских задач. Справка «ТРИЗ-88». Баку, 1988. 98 с.
5. Глотова Г. В. Развитие творческого потенциала будущих инженеров в вузах США и Западной Европы: дис. ... канд. пед. наук : 13.00.08. Казань, 2005. 209 с.
6. Горохов В. Техника и культура: возникновение философии техники и теории технического творчества в России и Германии в конце XIX – начале XX столетия В. Горохов. Логос, 2009. 729 с.
7. Гурье Л. И. и др. Методология инженерной деятельности в концепции инновационного образования. Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2005. 58 с.
8. Методологія проектування. Конспект лекцій з навчальної дисципліни / уклад.: І. О. Казак. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 46 с.
9. САПР. Інтегрована система моделювання технологічних процесів і розрахунку обладнання хімічної промисловості: Навч. посіб. / О. С. Сахаров, В. Ю. Щербина, О. В. Гондляр, В. І. Сівецький. Київ: ТОВ «Поліграф Консалтинг», 2006. 156с.
10. Хунинг А. Инженерная деятельность с точки зрения этической и социальной ответственности. Сборник статей. Перевод с немецкого и английского. Москва, Прогресс, 1989, с. 404-419.
11. Черков Л. Б. Основы методологии проектирования машин. Москва: Изд-во «Машиностроение», 1988. 152 с.
12. Щербина В. Ю. Курс лекцій «Методологія проектування». Київ: Видавництво «ЕКМО», 2010. 168 с.
13. Ярцев А. Философия науки и техники. Проблемы начала XXI века. Litres, 2017. 180 с.
14. Introduction to Engineering: Imagine. Design. Engineer! Arizona State University. URL: <https://courses.edx.org/courses/course-v1:ASUx+FSE100x+2177C/course/> (дата звернення: 26.02.2019).

Навчальне видання

ТІТОВА Олена Анатоліївна
ПАНЧЕНКО Анатолій Іванович
ВОЛОШИНА Анжела Анатоліївна

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПРОЕКТУВАННЯ
ГІДРОПРИВОДУ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ**

Навчальний посібник

Надруковано з оригіналів макетів замовника
Підписано до друку **27.11.2019 р.** формат 60x84 1/16
Папір офсетний. Наклад 100 примірників
Замовлення № **187**

Виготовлювач ПП Верескун В.М.
Видавничо-поліграфічний центр «Люкс»
м. Мелітополь, вул. М. Грушевського, 10
тел. (0619) 44-45-11

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виробників
і розповсюджувачів видавничої продукції
від 11.06.2002 р. серія ДК № 1125