

Міністерство освіти і науки України
Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка
Навчально-науковий інститут інформаційних
технологій та механотроніки
Кафедра технології машинобудування

Є.А. ФРОЛОВ, С.І. КРАВЧЕНКО,
С.В. ПОПОВ, С.М. ГНІТЬКО

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ
МАШИНОБУДУВАННЯ**

Монографія

Полтава, 2019 р.

УДК 621.8:621.7:621.9:658.512
ББК 34.5

*Рекомендовано до друку Вченою радою Полтавського національного
технічного університету імені Юрія Кондратюка
(протокол №8 від 30 листопада 2018 р.)*

Рецензенти:

В.В. Драгобецький – д.т.н., проф., завідувач кафедрою технології машинобудування Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

О.А. Пермяков – д.т.н., проф., завідувач кафедрою технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

М.К. Резніченко – д.т.н., проф., завідувач кафедрою інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва Української інженерно-педагогічної академії

Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування /
Є.А. Фролов, С.І. Кравченко, С.В. Попов, С.М. Гнітько. Полтава, 2019. 204 с.

ISBN 978-617-7319-20-6

У монографії комплексно викладено найбільш важливі аспекти і положення, пов'язані з виявленням спадковості при обробленні деталей та складанні вузлів виробів машинобудування, що впливають на їх експлуатаційні характеристики. Представлено фізико-механічні властивості конструкційних матеріалів, що спадкуються, їх геометричні параметри, що утворюються під час технологічних процесів. Запропоновано методики управління якістю продукції машинобудівних підприємств на стадіях конструювання та виробництва.

Рекомендується для наукових робітників, інженерно-технічних робітників, які займаються створенням та експлуатацією виробів у галузі машинобудування, а також студентів вищих навчальних закладів механічних спеціальностей галузі знань «Механічна інженерія».

УДК 621.8:621.7:621.9:658.512
ББК 34.5

ISBN 978-617-7319-20-6

© Є.А. Фролов, С.І. Кравченко,
С.В. Попов, С.М. Гнітько, 2019

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ЯКОСТІ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ.....	6
1.1 Загальні поняття якості виробів машинобудування.....	6
1.2 Принципи формування системи якості продукції.....	12
1.3 Проблема технологічного забезпечення якості та надійності машин.....	15
1.4 Кваліметрична оцінка якості продукції.....	20
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА СПАДКОВІСТЬ – БАЗА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ	32
2.1 Сутність явища спадковості	32
2.2 Спадковість та фізичне старіння машин	33
2.3 Методи опису механізму спадкування	36
2.4 Технологічний процес і експлуатація у зв'язку з явищами спадковості	40
2.5 Експлуатація машин з урахуванням явищ спадковості	44
2.6 Основні параметри деталі, що спадкуються.....	48
2.7 Технологічна спадковість та її місце у підвищенні якості машинобудівних виробів.....	51
РОЗДІЛ 3 ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ПАРАМЕТРИ МАШИНОБУДІВНИХ МАТЕРІАЛІВ	60
3.1 Фізико-механічні властивості матеріалів.....	60
3.2 Властивості, що визначають можливість застосування матеріалів у машинобудуванні.....	62
3.3 Конструкційна міцність деталей.....	64
3.4 Міцнісні властивості матеріалів	66
3.5 Зносостійкість поверхневих шарів	69
3.6 Підвищення зносостійкості та зміцнення матеріалів	71
РОЗДІЛ 4 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ МАШИНОБУДІВНИХ МАТЕРІАЛІВ	74
4.1 Забезпечення якості сталі та чавуну.....	74
4.2 Сплави з високими пружними та пластичними показниками	75
4.3 Матеріал малої густини й високої питомої міцності.....	76
4.4 Жароміцні матеріали та жаростійкі покриття	80
4.5 Корозійностійкі матеріали і покриття.....	82
4.6 Зносостійкі матеріали і покриття.....	84
4.7 Композиційні матеріали.....	86
РОЗДІЛ 5 ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	89
5.1 Точність обробки деталі.....	89
5.2 Відхилення розмірів та форми деталі	90

5.3 Відхилення розташування поверхонь	93
5.4 Макровідхилення та хвилястість поверхні.....	95
5.5 Шорсткість та субшорсткість поверхні	97
5.6 Залежності експлуатаційних властивостей від параметрів рельєфу	100
РОЗДІЛ 6 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ТА ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	105
6.1 Спадкування властивостей поверхневого шару	105
6.2 Фізико-механічні та геометричні параметри поверхневого шару.....	106
6.3 Комплексне оцінювання стану поверхневого шару	107
6.4 Припуски на механічну обробку.....	109
6.5 Спадкування похибок технологічних баз.....	111
6.6 Вплив затискних пристроїв на характер спадкування	113
6.7 Технологічне оснащення, що забезпечує якість обробки	116
6.8 Експлуатаційна спадковість деталі та методи керування	117
6.9 Технологічне спадкування експлуатаційних властивостей.....	122
6.10 Спрямоване формування показників якості	127
РОЗДІЛ 7 МОДЕЛІ МЕХАНІКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО СПАДКУВАННЯ.....	136
7.1 Накопичення деформацій та вичерпання запасу пластичності	137
7.2 Модель процесу формування і трансформації поверхневого шару	141
7.3 Стан поверхневого шару при обробці й експлуатації деталі	144
7.4 Функціональна модель технологічного проектування.....	146
РОЗДІЛ 8 МЕХАНІКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО СПАДКУВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	155
8.1 Механіка технологічного спадкування як наукова основа процесів зміцнення деталей машин поверхневим пластичним деформуванням	155
8.2 Підвищення якості виробів при технологічному спадкуванні та самоорганізації процесів.....	158
8.3 Методика проектування зміцнюючого технологічного процесу з урахуванням явища технологічного спадкування.....	164
8.4 Технологічне спадкування при штампуванні листових матеріалів	166
РОЗДІЛ 9 СУЧАСНІ МЕТОДИ ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ, ЩО ВИГОТОВЛЯЮТЬСЯ	173
9.1 Методи, що підвищують працездатність деталей робочих органів машин	173
9.2 Комбіновані способи зміцнення поверхонь деталей	188
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	191
АЛФАВІТНО-ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК	199

ВСТУП

Основним завдання різних галузей машинобудування України в сучасних умовах є створення конкурентної продукції підвищеної якості й надійності.

Технологічне керування – один з основних методів підвищення якості виробів машинобудування, ефективніший, ніж конструктивні рішення й надійна експлуатація.

Формування властивостей виробів відбувається не тільки на фінішних операціях технологічного процесу, але і протягом нього. Кожна виробнича похибка у своєму складі має відповідну частку від виготовлення матеріалу на стадії металургії від заготівельного виробництва, механічної обробки різанням, складання і т. д. Ефект спадкування помітний тим більше, чим вищі показники точності виробів. При низькій точності спадкоємні похибки можуть мало впливати на службове призначення виробів, оскільки допустимі відхилення параметрів є порівняно більшими.

Раніше фахівцями майже недооцінювалася можливість технологічної спадковості, тобто результатів попередніх операцій на експлуатаційні властивості готових виробів. У наш час питанням технологічної й експлуатаційної спадковості приділяється все більша увага, тому що вона суттєво впливає на якісні показники заново створюваних виробів.

Тому в монографії комплексно представлено й узагальнено основні положення та аспекти, пов'язані із проявом спадковості при обробці деталей і складанні вузлів. Показано шляхи керування явищами спадковості для забезпечення в технологічних процесах при виготовленні заданих параметрів якості й експлуатаційних властивостей виробів, на підставі цих шляхів розкрито технологічні аспекти керування якістю виробів машинобудування.

У монографії 9 розділів. У першому розділі розглянуто питання формування системи якості виробів, які виготовляються. У другому розділі розкрито технологічне спадкування як основа формування й передачі експлуатаційних властивостей виробів. У третьому розділі вивчаються фізико-механічні параметри, що наслідуються конструкційними матеріалами виробів. У четвертому – розглянуто питання забезпечення якості машинобудівних матеріалів. У п'ятому розділі приділено увагу геометричним параметрам якості деталей машин. У шостому розділі проаналізовано проблему технологічного забезпечення якості виробів. У сьомому розділі показано основні моделі технологічного й експлуатаційного спадкування. У восьмому розділі розглянуто механіку технологічного спадкування властивостей при проектуванні технологічних процесів, а в дев'ятому – представлено деякі сучасні методи поліпшення якості деталей виробів машинобудування, що виготовляються.

РОЗДІЛ 1

ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ЯКОСТІ

ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ

1.1 Загальні поняття якості виробів машинобудування

Під *якістю об'єкта* розуміють сукупність властивостей продукції, які визначають її придатність задовольняти певні потреби відповідно до призначення [1]. Об'єктом можна розглядати:

- *продукцію (виріб, машину)*, яка може бути матеріальною, нематеріальною і їх комбінацією (наприклад, автомобіль, двигун, підшипник, редуктор та інші об'єкти відносять до матеріальної продукції; методика визначення фізичних властивостей штампованої деталі є комбінацією нематеріального й матеріального видів продукції);

- *діяльність (процес)*, результатом якого є продукція (наприклад, процес одержання литої деталі, штампованої деталі, вузла або агрегату);

- *організацію*, окрему особу, систему взагалі (наприклад, механообробний цех);

- будь-яка *їх комбінація* (наприклад, спосіб одержання литої заготовки за виплавленими моделями).

Категорія «якість продукції» пов'язана з поняттям властивостей продукту.

У *філософському* значенні якість – це те, що становить сутність речі, продукту або явища; тобто який об'єкт, чим відрізняється один об'єкт від іншого. З погляду філософії якість не може знижуватися або підвищуватися, тому що річ не може бути гарною або поганою, вона може бути схожою або несхожою.

У *прикладному* значенні якість – це здатність продукції задовольняти потреби; тобто характеристика того, що об'єкт може. У цьому випадкові якість може підвищуватися або знижуватися, якщо зникають старі (погані, але, можливо, й хороші) чи з'являються нові (також погані або хороші) показники якості, а також у випадку поліпшення або погіршення значень показників.

У *правовому* аспекті під якістю розуміють сукупність властивостей продукції, які відповідають вимогам базисних кондицій, стандартів і технічних умов.

Таким чином, *якість продукції* – це сукупність властивостей цієї продукції, які визначають її придатність задовольняти певні потреби суспільства відповідно до її призначення й економічно виправдовують витрати на її виробництво. Виходить, підвищення якості продукції актуальне тільки в тому випадку, якщо вигода від такої продукції, котру отримує споживач, буде більшою, ніж витрати, які має виробник при її виробництві. Отже, якість зв'язана як зі споживчою вартістю, так і з вартістю товарів.

Різна міра корисності однорідних споживчих вартостей формує різний рівень їх якості. І навпаки, якісно рівною вважають продукцію, яка має кількісно однакові споживчі властивості. Значить, аналогічна, але різна за

якістю продукція повинна мати однакові основні властивості, які кількісно можуть бути різними.

Якість продукції у розумінні виробника і якість продукції у розумінні споживача – поняття взаємозалежні, але не тотожні. Коли говорять про якість з точки зору споживача, то враховують здатність продукції задовольняти не тільки потреби, але й очікування конкретного споживача.

З точки зору виробника, турбота про якість є обов'язковою протягом усього періоду виробництва та споживання продукції, відображає ефективність усіх сторін діяльності підприємства й забезпечує умови існування продукції в умовах конкуренції, в умовах ринкової економіки.

Параметри якості

Певні особливості продукції характеризуються **властивостями (параметрами)** якості, а конкретні значення цих параметрів називають **показниками** якості.

Параметри якості можуть мати кількісні (вага, розмір, потужність, продуктивність, фізико-механічні характеристики, працездатність, надійність, вартість і т. п.) або якісні (колір, естетичність та ін.) характеристики. У тих випадках, коли проводять контроль якості або його оцінювання за допомогою деяких комплексних показників, бажано, щоб якісні показники мали кількісні аналоги.

Останнім часом очевидним є збільшення числа властивостей, які характеризують якість продукції, їх ускладнення, існування розвиненої системи сертифікації якості продукції. Фактично виробництво продукції – це народження певної якості, інакше кажучи, створення об'єкта, який володіє сумою деяких властивостей.

Будь-яка продукція, що поставляється на ринок, має цілий набір **функціональних властивостей**, які характеризують якість продукції. Ці властивості унікальні, індивідуальні для кожного об'єкта; вони мають задовольняти певні потреби.

Не менш важливими є характеристики **загальних властивостей**, притаманних будь-якій продукції та покликаних задовольняти передбачені (очікувані) потреби. Розглянемо їх детальніше.

Надійність – властивість об'єкта зберігати свою якість протягом часу, тобто того терміну, який устанавлюється виробником як гарантійний у межах, очікуваних споживачем. Однією з кількісних характеристик, за допомогою яких оцінюють надійність, є час безвідмовної роботи об'єкта.

У теорії надійності застосовують терміни:

- «об'єкт, що не відновлюється» – об'єкт, який не може бути відновлений споживачем і підлягає заміні;

- «об'єкт, що відновлюється» – об'єкт, який може бути відновлений споживачем.

Надійність такого об'єкта, як технологічна система (обладнання, технологічний процес, оснащення), називають **технологічною надійністю**. Це

властивість системи виконувати свої функції, зберігаючи протягом заданого часу свої вихідні параметри в заданих межах. Технологічний потік відносять до об'єктів, які відновлюються, оскільки після відмови він може бути відновлений.

Відмова – це вихід за межі допуску показника якості проміжного продукту або готової продукції, інакше кажучи, відмова – це подія, яка пов'язана з повною або частковою втратою виробом його працездатності.

Існують також інші поняття, пов'язані з поняттям надійності.

Безвідмовність – властивість системи (виробу) безперервно зберігати працездатність протягом деякого інтервалу часу.

Справність – стан виробу або системи (машини), при якому вони в даний момент часу за основними й другорядними параметрами відповідають усім вимогам.

Несправність – стан виробу або системи, при якому вони в цей момент часу не відповідають хоча б одній із вимог, що характеризують нормальне виконання заданих функцій.

Довговічність – властивість системи (виробу) зберігати працездатність (з перервами для технічного обслуговування або ремонту) до руйнування або іншого граничного стану.

Ремонтпридатність – пристосованість системи (виробу) до проведення операцій технічного обслуговування й ремонту, тобто до запобігання, виявлення й усунення несправностей або відмов.

Відновлюваність – властивість системи (виробу) відновлювати технічний ресурс унаслідок проведення ремонтів, а також відновлювати початкові значення параметрів унаслідок усунення відмов і несправностей.

Показником надійності, який одночасно характеризує безвідмовність технологічної системи та її здатність до відновлення функцій, є **коефіцієнт готовності**

$$\Gamma = \frac{T_{сер}}{T_{сер} + t_b}, \quad (1.1)$$

де $T_{сер}$ – середнє напрацювання на відмову; t_b – середнє значення часу відновлення.

Фізичне значення коефіцієнта готовності – це ймовірність того, що система буде працювати нормально у будь-який момент часу протягом заданого періоду.

Інтенсивність відмов визначають за формулою

$$\lambda = \frac{n}{N \cdot t}, \quad (1.2)$$

де n – кількість виробів, що вийшли з ладу; N – загальна кількість виробів; t – середній час випробувань.

Середній час випробувань визначають за формулою

$$t = \frac{n_j \cdot t_j}{N}, \quad (1.3)$$

де n_j – кількість виробів у групі, яка випробовується; t_j – тривалість випробувань у цій групі.

У наш час практично всі технологічні системи машинобудівних виробництв організовані таким чином, що відмова на будь-якій із технологічних стадій неминуче призводить до відмови всієї системи.

Підвищити надійність технологічних ліній можна такими методами:

- резервуванням об'єктів;
- зменшенням значення параметрів потоку відмов.

Резервування може бути структурним і тимчасовим. При **структурному резервуванні** надійність технологічної системи повинна бути вищою, ніж надійність окремих складових її елементів. Із цією метою в систему вводять основні елементи (які входять у мінімально необхідний працюючий варіант технологічної системи) та резервні елементи (призначені для забезпечення працездатності системи у випадку відмови основного елемента).

Тимчасове резервування здійснюють двома способами: використанням у найбільш проблемних підсистемах системи окремих елементів підвищеної продуктивності або встановленням на виходах підсистем.

В обох випадках забезпечується нормальне подальше функціонування складових технологічного ланцюжка у разі відмови попередньої підсистеми.

Для **спрощення технологічної системи**, насамперед, використовують скорочення кількості елементів. У машинобудівних галузях більшість технологічних процесів вирізняється високою складністю фізико-хімічних змін, великою кількістю й широкою мережею технологічних зв'язків та мірою взаємодії між ними. Спрощення системи шляхом скорочення кількості елементів здійснюють також за рахунок використання багатofункціонального, із програмним забезпеченням обладнання.

Створення високонадійних елементів приводить до підвищення ефективності системи; причому чим складніша система, тим більш відчутний ефект. Модернізацію в цьому напрямі проводять із обов'язковим попереднім розрахунком й аналізом зовнішніх (умов навколишнього середовища) і внутрішніх (стану надійності окремих елементів) параметрів системи. При цьому визначають бажану міру надійності елемента, що модернізується.

Режим **оптимальних параметрів функціонування системи** передбачає вибір відповідних показників – температури, вологості, тиску тощо або концентрацію декількох технологічних операцій в одному апараті (агрегаті) для того, щоб зменшити шкідливий вплив навколишнього середовища на оброблювану деталь.

Обмеження післядії відмов елементів системи проводять з тією умовою, щоб при відмові елементів погіршувалися лише деякі характеристики, але не втрачалася працездатність системи загалом.

Із розглянутих двох груп методів підвищення надійності технологічної системи явну перевагу має друга, яка стосується зменшення значень параметрів потоку відмов. Оскільки саме вона відкриває шляхи до розв'язання проблеми підвищення ефективності конкретного машинобудівного виробництва.

На відміну від багатьох галузей промисловості найважливіші показники якості машинобудівної продукції визначають за допомогою випробувань, лабораторних вимірів фізико-хімічних, механічних та інших властивостей продуктів. Це спрощує завдання оцінювання якості цієї продукції на момент її випуску й реалізації на відміну від таких галузей, де схоже оцінювання якості можливе тільки після закінчення певного часу (наприклад, надійність машин у роботі).

Крім того, найважливіші властивості продукції формуються під впливом комплексу факторів, у тому числі об'єктивних, що не піддаються ефективному впливу.

Властивості продукції класифікують різним чином. При оцінюванні якості виділяють складні й прості властивості, еквісатисні й квазіпрості властивості, а також групи властивостей. **Складна властивість** може бути розділена на інші, менш складні властивості; **просту властивість** не можна поділити на інші властивості.

Еквісатисні властивості – властивості, які однаковою мірою здатні задовольняти будь-яку потребу (рисунок 1.1).

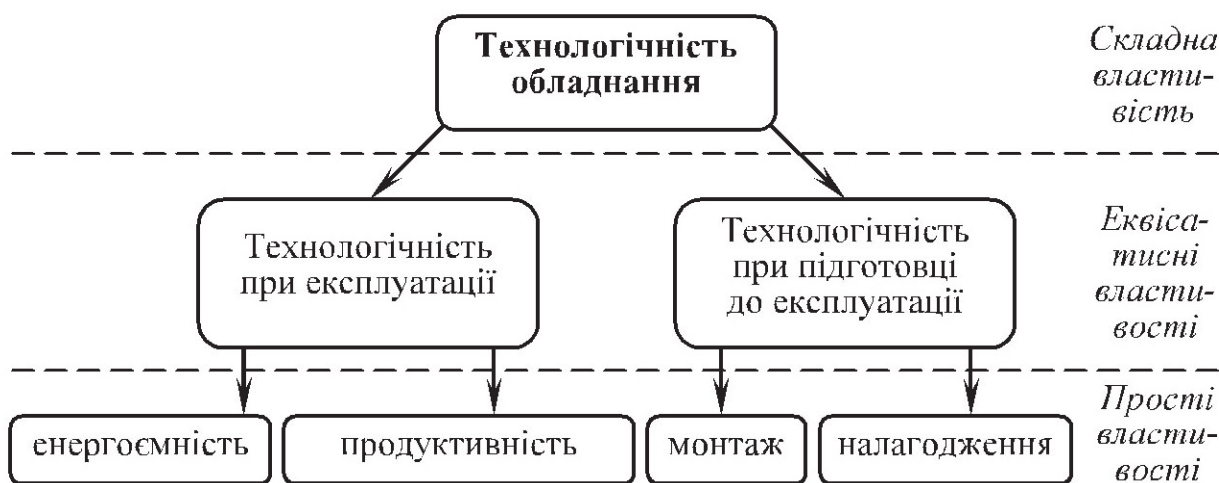


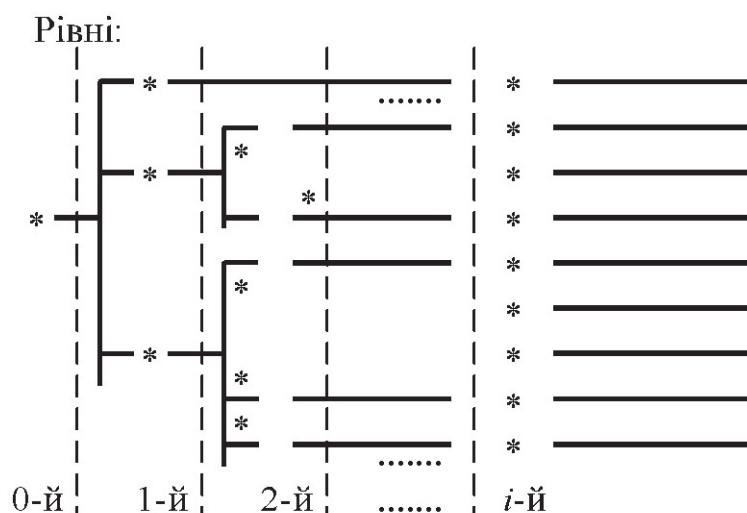
Рисунок 1.1 – Приклад розділення складної властивості на еквісатисні та прості властивості

Квазіпрості властивості – це такі складні властивості, які можна, але не треба піддавати розподілу на менш складні властивості, оскільки відома кореляційна залежність між складною властивістю та групою еквісатисних властивостей, що входять до неї.

Група властивостей – це сукупність властивостей, на які поділяються складні або еквісатисні властивості (наприклад, група органолептичних або фізико-хімічних властивостей).

Графічне зображення ієрархічної структури, яка відображає складні та пов'язані з ними інші властивості або групи властивостей, називають **деревом властивостей**. Рівнями дерева називають ділянки дерева, на яких вводять черговий розподіл складних властивостей на менш складні, еквісатисні або прості. Рівні можуть нумеруватися від 0-го до i -го. На останньому i -му рівні розташовують тільки прості або квазіпрості властивості.

Повним деревом вважають таке, що має розгалуження до i -го рівня з простими або квазіпростими властивостями. Неповним деревом вважають дерево, що не має розгалуження до останнього рівня та може закінчуватися як простими, так і складними властивостями. Усіченим деревом називають повне або неповне дерево з урізаними «гілками» або «гілкою», якщо таке виключення можливе, виходячи із ситуації при проведенні оцінювання якості. Графічно дерево властивостей може бути представлено в такому вигляді (рисунк 1.2).



Рисунк 1.2 – Рівні дерева властивостей, зображеного графічно

Побудова дерева – важливий і відповідальний етап у проведенні оцінювання якості продукції. При побудові дерева властивостей дотримують таких основних правил:

1. Кожну виділену групу властивостей об'єднують за єдиною ознакою розподілу для всіх властивостей, які входять у неї (розподіл за однаковою основою).

2. У структуру дерева можна вносити тільки додаткові елементи або виключати інші, тобто класифікація, яка лежить в основі побудови дерева, є відкритою (можливість коригуватися).

3. Для більшості «дерев» структуру початкових рівнів розробляють за загальним алгоритмом, спираючись на дві найважливіші властивості об'єкта – функціональність та естетичність (жорсткість структури початкових рівнів).

4. Кожна складна властивість ділиться на таку групу еквісатисних властивостей, які відповідають умовам необхідної й достатньої кількості властивостей (необхідність і достатність властивостей).

5. Число властивостей, з яких складається дерево, є різним: максимальним (якщо споживачем продукції є такий значущий суб'єкт, як суспільство загалом) або мінімальним (якщо суб'єктом є група споживачів чи навіть одна людина), (правильний облік споживача продукції, що оцінюється).

6. У кожену групу властивостей включають тільки незалежні (або частково залежні) властивості. Це диктує теоретична кваліметрія для дотримання вимоги адитивності при розрахунку комплексного показника якості (недопустимість залежних властивостей).

7. При використанні експертного методу визначення коефіцієнтів вагомості для підвищення точності експертної оцінки обмежують максимальну кількість властивостей у групі (не більше ніж 7), наближаючись до оптимальної (дорівнює 2) (мінімум властивостей у групі).

8. Усі еквісатисні властивості, включені в групу властивостей, повинні бути притаманні одночасно об'єкту, який оцінюється (одночасне існування властивостей у групі).

9. Можливість виключення яких-небудь властивостей, які однаковою мірою виражені у різних об'єктів, якість яких необхідно порівняти (виключення властивостей, що мають однакові показники якості об'єктів, котрі оцінюються).

10. Ознаку розподілу, яка має меншу кількість градацій, розглядають на більш ранніх рівнях дерева (першочерговість ознаки меншої розмірності).

11. Для обчислення оцінки якості всі властивості приводять до останнього, найвищого i -го рівня. У тих випадках, коли деякі прості або квазіпрості властивості розташовуються на більш низьких рівнях, такі «гілки» продовжують до останнього рівня (приведення до останнього рівня).

Правила служать практичним інструментом побудови «дерева властивостей» при проведенні комплексного оцінювання якості продукції.

1.2 Принципи формування системи якості продукції

Проектування системи якості здійснюють таким чином, щоб задовольнялися очікування й вимоги як споживачів продукції, так і її виробників. Необхідною умовою результативності функціонування системи якості є ефективний контроль над усіма технічними, адміністративними й людськими факторами, які впливають на якість продукції, що випускається.

Можна виділити чотири напрями діяльності в сфері якості, за допомогою яких формується якість продукції на різних етапах її життєвого циклу: планування, керування, забезпечення й поліпшення якості (рисунок 1.3).

Планування якості включає в себе діяльність по встановленню цілей та нормування вимог до якості продукції й процесів, а також ідентифікацію оцінки якості продукції. Основне призначення підсистеми – підготовка програми якості.

Керування якістю поєднує методи та види діяльності оперативного характеру, які застосовують для виконання вимог до якості. До процедур керування якістю відносять контроль якості, розроблення й реалізація заходів коректувального впливу на процес або об'єкт. Основне призначення цієї

підсистеми – реагування, тобто виявлення відхилень від вимог, що висувуються до якості (дефекти), прийняття рішень щодо подальшого використання такої продукції й запобігання появі повторних відхилень або дефектів за рахунок вчасного вжиття заходів коректувального впливу.

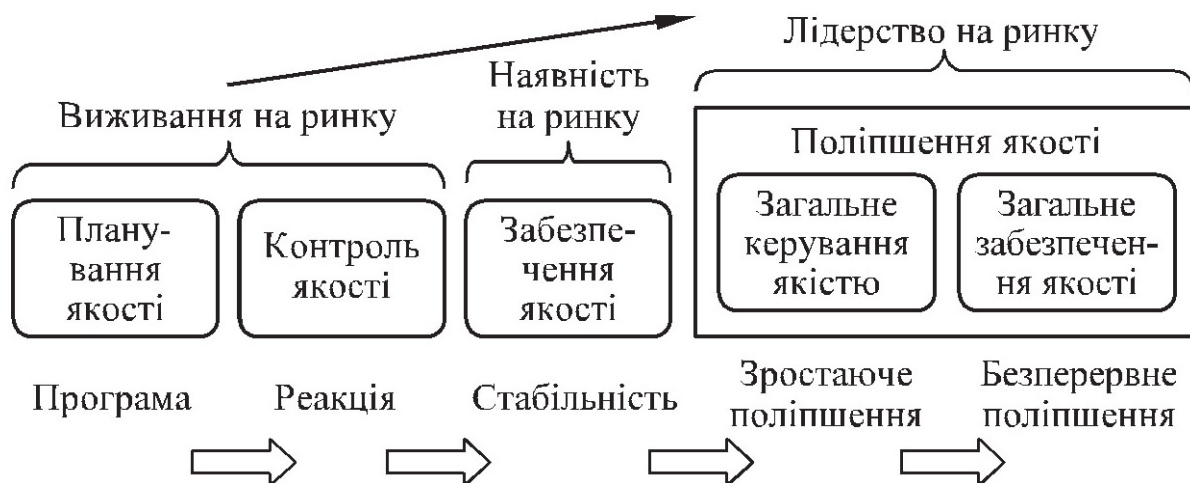


Рисунок 1.3 – Сукупність структури, що формує систему якості

Забезпечення якості включає в себе всі види діяльності, необхідні для створення достатньої впевненості в тому, що об'єкт (продукція, процес) задовольняє вимоги до якості. Розрізняють внутрішнє й зовнішнє забезпечення якості, тобто діяльність зі створення у підприємства та у споживачів й інших осіб впевненості у виконанні вимог до якості. Основне призначення цієї підсистеми – запобігання можливим відхиленням від установлених вимог для забезпечення **стабільної якості**.

Поліпшення якості передбачає заходи, що вживають на підприємстві з метою підвищення ефективності та результативності діяльності, й одержання вигоди як для організації, так і для споживачів її продукції. Основне призначення цієї підсистеми – загальне керування якістю (поліпшення) і загальне забезпечення якості (безперервне стабільне поліпшення).

Якість машинобудівної продукції, як і будь-якої іншої продукції, формується у процесі виробництва (рисунок 1.4). Ці виробництва пов'язані з обробкою конструкційних матеріалів. Нарівні із проблемами вивчення й обліку унікальних властивостей матеріалів фахівці вирішують питання щодо використання різних способів, прийомів їх обробки, видів технологічного обладнання й оснащення.

Якість матеріалів (як сукупність його необхідних властивостей і вартості), якість обладнання (операції, що виконуються з технологічною надійністю) й оснащення є найбільш значними складовими програми планування якості продукції.

Під якістю технології мають на увазі створення раціональних і продуманих технологічних процесів, що включають певні властивості матеріалів, послідовність технологічних операцій, умови їх проведення, які рекомендують параметри контролю процесу одержання якісної продукції.

Суттєву роль відіграє якість праці, що залежить від досвіду й майстерності персоналу.

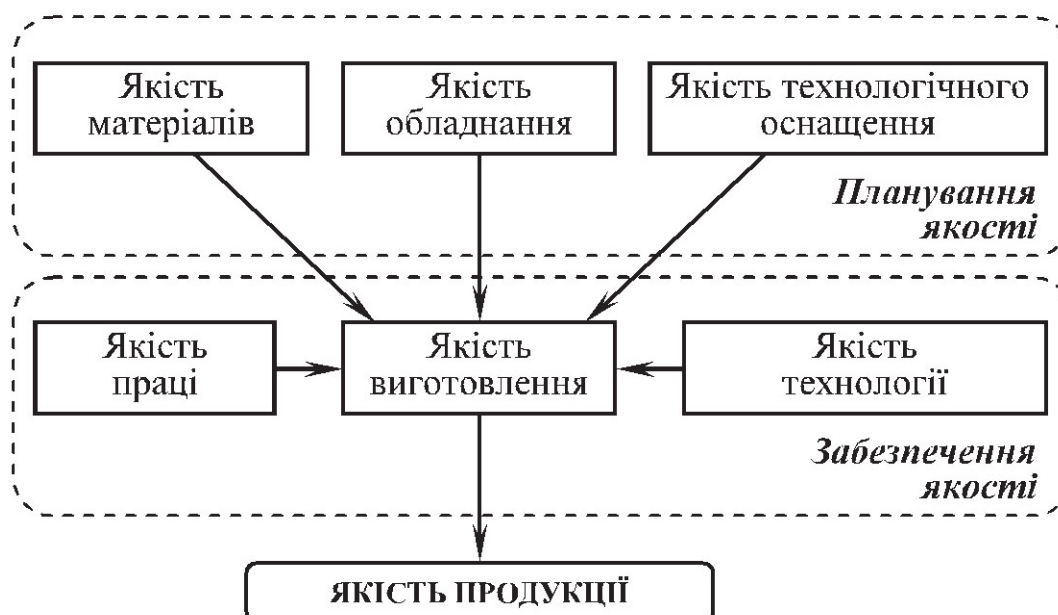


Рисунок 1.4 – Схема формування якості продукції у процесі виробництва

Суб'єктивні фактори – група факторів, зумовлених виробничою діяльністю людини (професійна майстерність, загальноосвітній рівень, психологічні особливості персоналу, особиста зацікавленість у результатах праці та ін.)

Об'єктивні фактори – технічний рівень виробництва, склад обладнання, механізація й автоматизація виробництва для випуску нової продукції, технологія і засоби вимірювання об'єктивного контролю, метрологічне забезпечення підприємства, технічний рівень експлуатаційної бази, стандартизація тощо.

Під **умовами**, що впливають на якість продукції, мають на увазі обставини, за яких діють зазначені фактори. Сприятливі умови дозволяють найбільш повно використовувати можливості обладнання для досягнення оптимальної якості продукції з мінімальними витратами праці, енергоносіїв і фінансових коштів. Висока виробнича дисципліна, матеріальна й моральна зацікавленість, сприятлива виробнича обстановка істотно впливають на найбільш повний прояв зазначених факторів.

Системний підхід до керування якістю продукції на підприємствах базується на таких принципах:

- керування якістю – складова частина, яка органічно пов'язана із системою керування підприємством узагалі й здійснювана на всіх рівнях керування;

- керування якістю поєднує вимірювання і взаємозв'язок організаційних, технічних, економічних, соціальних та ідеологічних заходів щодо безперервного вдосконалення якості продукції;

- активне використання матеріального й морального стимулювання за досягнення високого рівня якості;
- стимулювання творчої активності працівників підприємства за поліпшення якості;
- базування на стандартизації, метрологічному забезпеченні й діючій галузевій нормативній документації.

Сьогодні визнано, що комплексне керування якістю на основі системного підходу є найбільш оптимальним напрямом підвищення якості продукції.

1.3 Проблема технологічного забезпечення якості та надійності машин

Ефективність машинобудівного виробництва визначається використанням ресурсів, продуктивністю процесів і в остаточному підсумку якістю показників машин, що випускаються [2].

Якість – сукупність характеристик об'єкта, що стосуються його здатності задовольняти встановлені й передбачувані потреби [3, 4].

Характеристика – це взаємозв'язок між залежними й незалежними змінними. **Об'єкт** – це те, що може бути індивідуально описано й розглянуто. Об'єктом може бути діяльність, процес, продукція, організація, система або окрема особа, а також будь-яка комбінація з них.

Процес – сукупність взаємозалежних ресурсів і діяльності, яка перетворює вхідні елементи у вихідні. До ресурсів можуть належати: персонал, обладнання, технологія, методологія й т. п.

Продукція – результат діяльності або процесів. Продукція може включати послуги, обладнання, матеріали, які переробляються, програмне забезпечення або комбінацію з них.

Поняття якості використовують також у терміні **система якості**, який означає сукупність організаційної структури, методик, процесів і ресурсів, необхідних для здійснення загального керівництва якістю. Засоби, що використовуються в адміністративному керуванні: планування якості, керування якістю, забезпечення якості й поліпшення якості в рамках системи якості.

Планування якості – діяльність, яка встановлює цілі й вимоги до якості та застосування елементів системи якості.

Стосовно якості об'єкта, якщо ним є такий елемент промислової діяльності й виробничого процесу, як, наприклад, продукція, у міжнародних стандартах використовують термін «керування якістю». **Керування якістю** – методи й види діяльності оперативного характеру, які застосовують для виконання вимог до якості.

Забезпечення якості – всі плановані й систематично здійснювані види діяльності в рамках системи якості, а також підтверджені (якщо це потрібно), необхідні для створення достатньої впевненості в тому, що об'єкт буде задовольняти вимоги до якості.

Поліпшення якості – заходи, які вживають усюди в організації з метою підвищення ефективності та результативності діяльності й процесів для одержання вигоди, як для організації, так і для її споживачів.

Поняття «якість машини» включає багато показників. **Показник якості машини** – це кількісна характеристика однієї або декількох її властивостей, що розглядається стосовно до певних умов створення й експлуатації цієї машини. Для оцінювання якості машин застосовують одиничні й комплексні показники [5, 6].

Найбільшого використання у машинобудуванні набули одиничні показники, які підрозділяють на виробничо-технічні й експлуатаційні [7].

Виробничо-технічні показники характеризують витрати суспільної праці на виробництво одиниці продукції (машини, приладу і т. п.) та свідчать про ступінь відповідності конструкції машини умовам її виготовлення при заданому масштабі випуску виробів [8]. До них відносять трудомісткість, матеріалоємність, енергоємність, блоковість (складальність), показники стандартизації й уніфікації [9].

До групи **експлуатаційних** відносять показники призначення, надійності, ергономіки й естетики.

Показники призначення характеризують ступінь відповідності машини її цільовому призначенню – потужність, продуктивність, коефіцієнт корисної дії тощо.

Однією з найважливіших узагальнюючих властивостей машин є надійність. **Надійність** – властивість об'єкта зберігати протягом певного часу в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати необхідні функції при заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання і транспортування. До параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції, відносять кінематичні й динамічні параметри, параметри міцності, точності функціонування, продуктивності, швидкості та ін.

Надійність – поняття, що поєднує низку властивостей об'єкта, пов'язаних з якістю виконання ним певних функцій протягом заданого часу. Тому про надійність можна говорити як про якість, розгорнуту в часі. Найбільш повно надійність визначається комплексом показників, які відображають вимоги, що висуваються до якості технічних об'єктів.

Об'єкт являє собою предмет, який можна використати за призначенням, досліджувати або випробовувати. Об'єктом може бути система і її елементи, наприклад [10]: машини, агрегати, деталі, їх поверхні й зони контакту.

Стан об'єкта, при якому він може виконувати задані функції при встановлених значеннях параметрів функціонування, називається **працездатністю**.

Відмова – подія, у результаті якої настає втрата працездатності. Відмови можуть бути пов'язані із утратою можливостей функціонування об'єкта або з недопустимими змінами параметрів функціонування. З точки зору можливості усунення відмови об'єкти ділять на відновлювані та невідновлювані.

Відновлюваний – це такий об'єкт, відновлення якого після відмови можливе й передбачене.

Безвідмовність – здатність об'єкта зберігати працездатність протягом заданого напрацювання.

Збережуваність – здатність зберігати експлуатаційні показники на заданому рівні протягом заданого строку зберігання, транспортування й відразу при використанні після цього строку.

Ремонтпридатність визначає властивість об'єкта, що дозволяє запобігати, виявляти або усувати відмову чи несправність.

Довговічність – властивість об'єкта зберігати працездатність до певного стану (відмови, яка не усувається) з необхідними перервами для технічного обслуговування і ремонту. Цей стан може наступати внаслідок зносу, поломки, недоцільності ремонту й подальшої експлуатації. Показниками довговічності є ресурс та термін служби.

Ресурс – напрацювання об'єкта до граничного стану. Термін служби визначають календарною тривалістю експлуатації виробу до моменту виникнення граничного стану, зазначеного у технічній документації.

Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ протягом часу (напрацювання) t

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(\tau) d\tau, \text{ або } P(t) \approx N(t) / n, \quad (1.4)$$

де $f(\tau)$ – щільність розподілу часу безвідмовної роботи; $N(t)$ – число виробів, що залишилися працездатними до кінця напрацювання; n – число виробів, що випробовують.

Інтенсивність відмов для ненормованих виробів

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (1.5)$$

Забезпечення якості й надійності виробу з моменту початку розроблення проекту до завершення доведення і передачі в серійне виробництво базуються на інженерних показниках якості та надійності й інженерних методах їх забезпечення.

При розгляді складних та унікальних машин імовірнісно-статистична оцінка їх ознак якості виключається як на етапі проектування, так і на етапі доведення. Імовірнісно-статистичні методи оцінювання надійності вузлів, агрегатів, систем таких виробів на етапі проектування, що базуються в основному на статистичній інформації про експлуатаційні відмови, дефекти й недоліки раніше створених зразків, не мають необхідної вірогідності та мають обмежену цінність для знову створюваного виробу. Це пов'язано з низкою умов [8]:

1) при істотній різниці в рівнях параметрів та значних відмінностях у конструктивному виконанні нового й раніше створених виробів характер і причинність відмов, дефектів та недоліків відмінні й найчастіше непорівнянні;

2) перевірка надійності всіх нових елементів конструкції, вузлів, агрегатів і систем нереальна в період проектування;

3) розрахункові оцінки надійності при проектуванні, як правило, визначаються зі значними допущеннями й не відображають складності процесів і впливів численних факторів.

Імовірно-статистичні методи оцінювання надійності вузлів, агрегатів, систем у цілому на етапі доведення дослідного зразка неприйнятні внаслідок кількісно малої вибірки дослідних виробів. Витрати засобів на забезпечення достатньої однорідної вибірки імовірнісної оцінки надійності великі й рівні приблизно загальній сумі витрат на все доведення виробу.

Подальший розвиток техніки супроводжується не тільки форсуванням робочих процесів і підвищенням напруженості елементів машини, але й одночасною жорсткістю вимог до її якості та надійності при безперервному скороченні часу на розроблення. Це суттєво ускладнює процес забезпечення якості.

Забезпечення якості й надійності проводиться поетапно.

Надійність машини закладається при проектуванні, відпрацьовується при доведенні, забезпечується при виготовленні в серійному виробництві й підтримується в експлуатації.

Забезпечення надійності складається з аналізу працездатності вузлів і деталей при проектуванні, відпрацьовуванні конструкції й параметрів, забезпечення розробником технологічної надійності та стабільності якості на стадії доведення і серійного виробництва, забезпечення розробником надійності в експлуатації.

Структурну схему забезпечення надійності та її складових по етапах наведено на рисунку 1.5 [8].

Забезпечення надійності та високої якості продукції на етапі створення й освоєння виробництва виробів полягають в організації такої технологічної підготовки і здійсненні виробництва, при яких готова продукція відповідала б вимогам конструкторської документації й не мала б шкідливих наслідків від технологічних методів обробки (технологічної спадковості).

Основні напрями керування виробничо-технічною надійністю і якістю продукції при створенні нових зразків техніки передбачають:

- забезпечення високої технологічності конструкції на етапі розроблення конструкторської документації;

- розроблення й відпрацювання технологічного процесу з урахуванням досвіду роботи на аналогічних виробках;

- застосування більш досконалих технологічних процесів;

- організацію робіт зі вчасного виявлення й усунення недоліків виробництва;

- вивчення і виключення негативного впливу технологічного процесу на працездатність виробу;

- застосування досягнень науки і техніки в засобах технологічного оснащення, обладнанні й приладах;
- механізацію й автоматизацію технологічного процесу, окремих операцій і прийомів обробки.



Рисунок 1.5 – Схема забезпечення надійності

1.4 Кваліметрична оцінка якості продукції

Машинобудівні виробництва пов'язані з обробкою багаточисленних і різних матеріалів (сталей, чавунів, сплавів, пластмас тощо), що мають унікальні властивості. Технологія обробки та складання виробів уключає використання різних способів, прийомів обробки, видів технологічного обладнання й оснащення.

Пріоритетними напрямками при створенні високоякісної продукції, а отже, і найбільш значущими факторами при оцінюванні якості є: надійність, довговічність, безвідмовність; безпека; вартість.

Фактично при застосуванні нових технологій або вдосконаленні існуючих технологій, а також при створенні нової продукції метою є одержання якісної продукції за доступною ціною. Зрозуміло, що вартість продукції, за інших рівних умов, визначається технологічністю виробництва (ефективне використання сировинних ресурсів за рахунок удосконалення технологічного обладнання, раціональної організації виробництва, створення безвідходних технологій, використання нетрадиційних матеріалів (композитних, порошкових і т.п.). Можна стверджувати, що якість готової продукції, яка оцінюється, значною мірою формується в процесі виробництва та меншою – в процесі експлуатації. Для визначення якості продукції проводять зазвичай просте й комплексне її оцінювання [11].

Оцінку якості називають простою, якщо оцінюється одиничний показник, і комплексною, якщо розглянуто хоча б один з комплексних показників. Розрізняють такі види комплексних показників якості:

- *груповий* – кількісно характеризує однорідну групу властивостей;
- *функціональний* – характеризує всі властивості (сукупність групових показників);
- *інтегральний* – характеризує всі властивості, у тому числі економічні (сукупність функціональних і економічних, витратних показників).

Уміння надійно оцінювати якість, у тому числі й кількісно, дозволяє цілеспрямовано нею керувати – у заданому напрямі, межах і в заданий термін. Застосування кваліметричної оцінки якості продуктів дозволяє встановлювати залежність між якістю продукції та її вартістю, кількісно оцінювати перспективність технологічних розроблень на ранніх стадіях їх проведення, здійснювати більш обґрунтований вибір найкращої продукції з декількох видів альтернативної або однотипної.

Алгоритм комплексної оцінки якості продукції

Теоретична кваліметрія – спеціальна галузь наукових знань, пов'язаних з вимірюванням і оцінкою якості продукції, – базується на таких основоположних принципах.

1. Окремі властивості продукції становлять багаторівневу ієрархічну структуру її якості. Властивості i -го рівня формуються відповідними властивостями $(i+1)$ -го рівня ($i = 0, 1, 2, 3..$); шляхом вимірювання або

обчислення ці властивості можуть діставати чисельні характеристики – абсолютні показники (P_{ij}).

2. Вимірювання окремих властивостей або самої якості взагалі в кінцевому результаті повинне завершуватися обчисленням відносного показника якості $K_{ij} = F(P_{ij}, P_{jj\text{ баз}})$, де $P_{jj\text{ баз}}$ – базовий показник, прийнятий за вихідний при порівняльних оцінках якості.

3. Різні шкали вимірювання абсолютних показників властивостей обов'язково повинні бути трансформовані в одну загальну шкалу (наприклад, безрозмірну).

4. Кожна властивість якості визначається двома числовими параметрами: відносним показником K_o і вагомістю M .

5. Сума вагомостей властивостей одного рівня є постійною величиною $M_{ij} = const$. Коефіцієнт вагомості цього показника якості продукції є кількісною характеристикою його значимості серед інших показників при комплексному оцінюванні якості.

Інакше кажучи, для одержання комплексної оцінки необхідно вибрати й виміряти значущі параметри (властивості), кількісно їх «зважити» і розрахувати сумарну оцінку з подальшим її аналізом. Алгоритм комплексної оцінки якості представлено на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 – Алгоритм комплексної оцінки якості продукції

Для складання ієрархічної структури якості виробу раціонально виділити одну або кілька груп властивостей, а також внутрішньогрупові властивості, сформувавши в такий спосіб «дерево властивостей».

Потрібно пам'ятати при цьому, що не існують якості або властивості як такі, а є конкретні об'єкти (продукти) з певними властивостями та якістю. Виділивши будь-які властивості та вимірявши їх, не можна стверджувати, що виміряна якість. Показники властивостей лише непрямо характеризують якість; від того, наскільки грамотно складене «дерево властивостей», що становить реальний інтерес для споживача, залежить об'єктивність отриманої оцінки якості.

Для вибраного кола параметрів вимірюють їх експериментально (органолептичними методами, за допомогою приладів, візуально та ін.) і визначають необхідні показники якості, виражаючи їх у таких одиницях вимірювання (абсолютних показниках), які відповідають цьому показнику – кілограмах, градусах, метрах і т. п.

Що стосується вибору *еталонного* й *бракувального* значень показників, то їх визначають із урахуванням вимог теоретичної кваліметрії, а саме:

- *еталонним* приймають найкраще з відомих у світовій практиці значення показника серед схожих об'єктів або трохи вище (для того, щоб оцінювання якості проходило в шкалі відношень, а не в шкалі рангів – якщо еталонним прийняте краще значення серед об'єктів, які порівнюються);

- *бракувальним* вважають таке значення показника, починаючи з якого всі інші, ще гірші, оцінюються однаковою оцінкою $K_i = 0$.

Як *базовий зразок* може бути вибраний аналогічний зразок, котрий відповідає всім показникам вимог нормативної документації (якщо оцінюють рівень якості продукції в умовах цього виробництва); або зразок, котрий розглядається як прототип, контроль (якщо оцінюють заново створювану продукцію); або зразок, показники якості котрого зустрічаються у переважній більшості аналогічної продукції (якщо оцінюють продукцію масового виробництва).

Визначають еталонне, базове (допустиме) і бракувальне значення показників якості. При цьому значення абсолютних показників P_i коливаються у деякому інтервалі $P_i^{bp} \leq P_i \leq P_i^{em}$ (для зростаючого показника) або $P_i^{em} \leq P_i \leq P_i^{bp}$ (для спадаючого показника).

Виражені в різних одиницях вимірювання абсолютні значення показників якості продукції неможливо звести в загальний комплексний показник без трансформування до загальної шкали вимірювання. Найбільш прийнятною є безрозмірна шкала.

Безрозмірне значення показника якості, виражене в одиницях шкали відношень, означає, у скільки разів величина, яка розглядається в одиницях певної розмірності, більша за іншу задану величину, виражену в одиницях тієї ж розмірності. Здійснити такий перехід можливо різними способами.

1. Із використанням формули

$$q_i = \frac{P_i - P_i^{\bar{b}p}}{P_i^{em} - P_i^{\bar{b}p}}. \quad (1.6)$$

При цьому способі переведення абсолютних показників у відносні розраховують, наскільки якість зразка відрізняється від якості еталона. Якби зразок мав еталонну якість, то

$$q_i = \frac{P_i - P_i^{\bar{b}p}}{P_i^{em} - P_i^{\bar{b}p}} = \frac{P_i^{em} - P_i^{\bar{b}p}}{P_i^{em} - P_i^{\bar{b}p}} = 1.$$

Тому відносні показники якості зразків виробів при використанні вказаного способу переведення, як правило, менші від одиниці.

2. Використовують формули:

$$q_i = \frac{P_i - P_i^{\bar{b}p}}{P_i^{\bar{b}аз} - P_i^{\bar{b}p}}; \quad (1.7)$$

$$q_i = \frac{P_i}{P_i^{\bar{b}аз}}; \quad (1.8)$$

$$q_i = \frac{P_i^{\bar{b}аз} - P_i^{\bar{b}p}}{P_i - P_i^{\bar{b}p}}; \quad (1.9)$$

$$q_i = \frac{P_i^{\bar{b}аз}}{P_i}. \quad (1.10)$$

Формули (1.8) і (1.10) застосовують у випадках, коли $P_i^{\bar{b}p} = 0$. Формули (1.7) і (1.8) використовують тоді, коли зниження значення P_i приводить до зниження якості виробу, а формули (1.9) і (1.10) – коли зниження значення P_i , приводить до підвищення якості.

При застосуванні цього способу відносні показники якості будуть рівні 1, якщо абсолютні показники якості зразка збігаються з базовими значеннями, тобто

$$q_i = \frac{P_i - P_i^{\bar{b}p}}{P_i^{\bar{b}аз} - P_i^{\bar{b}p}} = \frac{P_i^{\bar{b}аз} - P_i^{\bar{b}p}}{P_i^{\bar{b}аз} - P_i^{\bar{b}p}} = 1.$$

Значення показників якості будуть більші від одиниці в тому випадку, коли якість досліджуваного зразка перевищує якість базового зразка.

Використовуючи цей спосіб, можна визначити, наскільки якість зразка відрізняється від якості базового виробу.

3. Переводять абсолютні показники якості в безрозмірні за допомогою графіка функції бажаності Харрінгтона (рисунок 1.7).

Зауважимо, що вертикальна вісь являє собою шкалу оцінок якості окремих показників. На ній використовують загалом 5 інтервалів, інтервали шкали від 1 до 0: 1,00...0,80 – дуже добре; 0,80...0,63 – добре; 0,63...0,37 – задовільно; 0,37...0,20 – погано; 0,20...0,00 – дуже погано. Оцінка 0,80...0,63 – хороший рівень, що перевищує оптимальний ($K_{i\text{opt}} = 0,63$). Оцінка 0,63...0,40 – недостатньо хороший, але все-таки прийнятний рівень за нормативною документацією. Оцінка 0,40...0,30 – гранична зона, за наявності нормативної документації частина продукції вже не буде їй відповідати. Якщо абсолютне значення показника властивості відповідає мінімальній границі, передбаченій нормативною документацією, то $K_i = 0,37$. Таким чином, $K_{i\text{em}} = 1,0$; $K_{i\text{opt}} = 0,63$; $K_{i\text{дон.}(баз)} = 0,37$; $K_{i\text{брак}} = 0,37$. Горизонтальна вісь – безрозмірна. Однак для того, щоб виділити на ній інтервали, використовують інтервали вертикальної осі. Тоді утворюють розмірні шкали (у тому числі з нерівномірним масштабом) для кожного показника якості, що відповідають відмінній, добрій, задовільній і поганій якості продукції за цією властивістю.

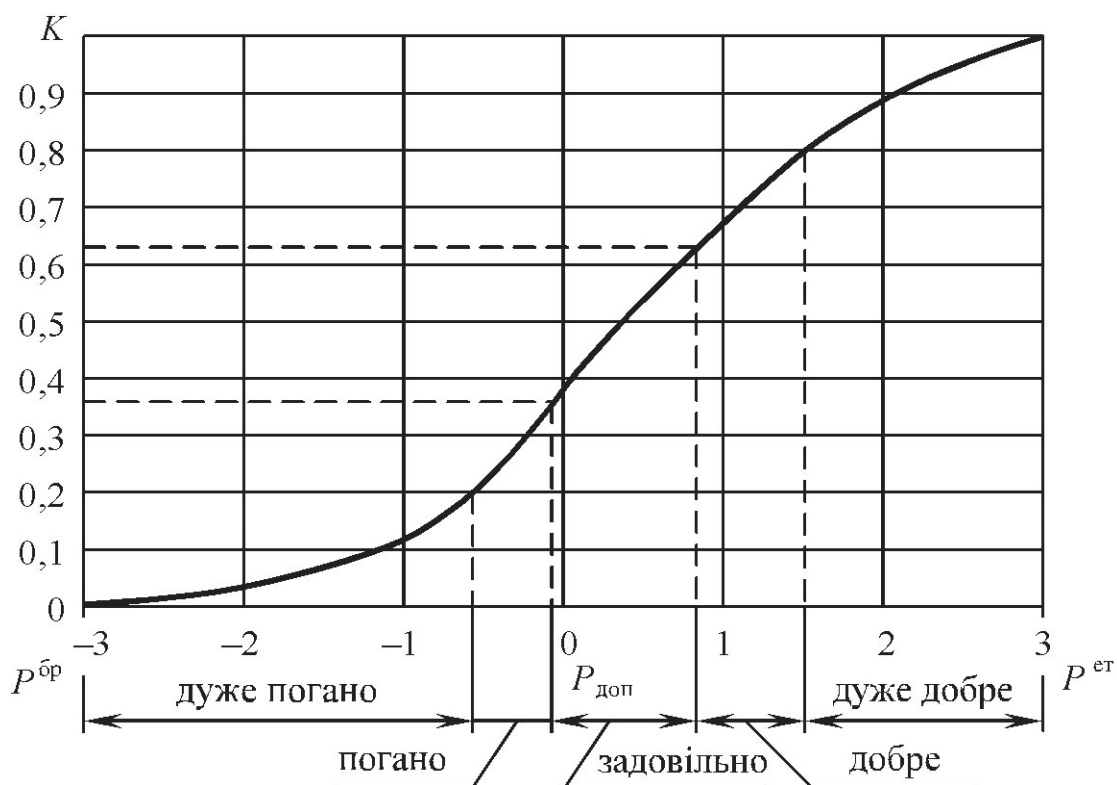


Рисунок 1.7 – Графік функції бажаності Харрінгтона

Розбиття горизонтальних розмірних шкал проводять експертним шляхом з урахуванням особливостей продукції, що оцінюється, та цілей дослідження.

При використанні шкали Харрінгтона максимально можлива відносна оцінка, як і за першим способом, дорівнює 1 (оцінка якості еталонного зразка).

Оцінка базового зразка становить 0,63, а мінімальна оцінка – 0,37. Продукція, що отримує більш низьку оцінку, є неякісною.

Способи визначення коефіцієнтів вагомості

Для розрахунку коефіцієнтів вагомості застосовують експертний, вартісний і статистичний методи.

Експертний метод представляє сукупність методів, оснований на усередненому обліку думок фахівців у цій галузі.

Вартісний метод передбачає встановлення функціональної залежності між коефіцієнтом вагомості й грошовими (трудовими) витратами, необхідними для існування цієї властивості.

Згідно зі статистичним методом коефіцієнт вагомості приймається як деяка функція від імовірності досягнення кожним одиничним показником якості продукції свого базового значення.

Якщо число зразків продукції перевершує число вибраних для оцінки показників властивостей, застосовують **метод вартісної регресійної залежності**. Він ґрунтується на визначенні регресійної залежності між показниками якості продукції та витратами на її створення й експлуатацію. В тому випадку, коли для розрахунків комплексного показника якості використовують середній зважений геометричний показник, то регресійну залежність записують за допомогою такого рівняння

$$Y(k) = \sum_{i=1}^n \mu_i X_i(k); \quad (1.11)$$

$$Y(k) = \lg \frac{S(k)}{S_{сеп}}, \quad (1.12)$$

де $S(k)$ – показник якості виробу, зменшення якого приводить до поліпшення якості (витратний, вартісний показник); $S_{сеп}$ – середнє арифметичне вартісного показника, отримане по всіх зразках продукції

$$S_{сеп} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M S(k), \quad (1.13)$$

де M – кількість варіантів виробів, що порівнюються;

$$X(k) = \lg(P_i(k) / P_{i\text{cp}}), \quad (1.14)$$

де $P_i(k)$ – показники якості i -го варіанта виробу; $P_{i\text{cp}}$ – середнє арифметичне відповідного показника якості по всіх варіантах виробів

$$P_{i\text{cp}} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M P_i(k), \quad (1.15)$$

де i – кількість показників якості, які розглядаються у кожного варіанта виробу ($i=1\dots m$); μ_i – параметри апроксимації, які визначаються методом найменших квадратів.

У цьому випадкові $m_i \approx \mu_i$, тобто коефіцієнти вагомості дорівнюють відповідним параметрам регресійної залежності.

Метод граничних та номінальних значень використовують у тих випадках, коли відомі гранично припустимі значення для показників якості придатної продукції цього виду. Залежно від типу середньозваженого показника якості, що розраховується, коефіцієнти визначають за формулами:

- комплексний показник – середньозважений арифметичний

$$m_i = \frac{\lambda}{\overline{P_i} \cdot \widetilde{P_i}}; \quad (1.16)$$

- комплексний показник – середньозважений геометричний

$$m_i = \frac{\lambda}{\lg\left(\frac{\overline{P_i}}{\widetilde{P_i}}\right)}; \quad (1.17)$$

- комплексний показник – середньозважений квадратичний

$$m_i = \frac{\lambda}{\overline{P_i^2} \cdot \widetilde{P_i^2}}, \quad (1.18)$$

де $\overline{P_i}$ – номінальне (середнє статистичне) значення для абсолютного показника якості; $\widetilde{P_i}$ – гранично допустиме значення показника якості (визначається дослідним шляхом); λ – постійний множник.

Значення λ вибирають так, щоб відносні зміни середнього зваженого комплексного показника якості дорівнювали відповідним відносним змінам вартісного показника (витрати на створення й експлуатацію продукції).

Метод еквівалентних співвідношень застосовують у тому випадкові, коли якійсь відносній зміні кількості продукції еквівалентна відносна зміна показника якості з точки зору ефективності використання продукції. Тоді коефіцієнти вагомості для середніх зважених показників якості розраховують за формулою

$$m_i = \frac{\Delta K / K}{\Delta P_i / P_i}, \quad (1.19)$$

де $\Delta K / K$ – відносна зміна кількості продукції; $\Delta P_i / P_i$ – відносна зміна показника якості.

Якщо при однаковій відносній зміні кількості продукції еквівалентно змінюються деякі з показників її якості, то коефіцієнти вагомості для цих показників якості приймають рівними одиниці.

У тих випадках, коли коефіцієнти вагомості не можна визначити ніяким з відомих розрахункових методів, застосовують **експертний метод**. Треба сказати, що взагалі експертні методи характеризуються точним результатом. Експертні методи застосовують у випадках, коли інші способи менш точні або більш трудомісткі.

Зменшенню суб'єктивності, що властива експертним методам, сприяє проведення опитування експертів у два-три тури.

Експерти визначають коефіцієнти вагомості показників якості в балах (за п'яти або десятибальною шкалою, у частках одиниці і т. д.). Потім знаходять середнє арифметичне значення коефіцієнта, визначеного експертною групою для i -го показника якості за формулою

$$\bar{a}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^n a_{ij}, \quad (1.20)$$

де n – кількість показників якості продукції; N – кількість експертів; a_{ij} – параметри вагомості i -го показника, надані j -им експертом.

Нормовані коефіцієнти вагомості розраховують за формулою

$$m_i = \frac{\bar{a}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{a}_i}. \quad (1.21)$$

При цьому виконуються умови, що сума нормованих коефіцієнтів дорівнює одиниці й жоден із коефіцієнтів не дорівнює нулю.

Коефіцієнти вагомості визначають різними способами: переваг, рангів, попарних зіставлень, послідовних зіставлень і т. д. Обробка результатів експертних оцінок полягає у такому.

При ранжируванні показників зростання міри важливості або присвоєння цим показникам рангів експертами (метод переваг або рангу) значення кожного приведенного коефіцієнта вагомості знаходять за формулою

$$m_i = \frac{R_i 2^{(1-L)}}{\sum_L R_i 2^{(1-L)}}, \quad (1.22)$$

де R_i – ранг i -го показника або його порядковий номер у таблиці показників;
 L – кількість експертів.

При ранжируванні показників за спадною мірою важливості (метод послідовних зіставлень), коли менш важливі показники розташовують після більш важливих, коефіцієнти розраховують, користуючись формулою

$$m_i = \frac{R_i 2^{(1-R_i)}}{\sum_L R_i 2^{(1-R_i)}}. \quad (1.23)$$

Формули (1.22) та (1.23) справедливі, коли можна виділити найбільш важливі показники. Для загальних випадків користуються формулою

$$m_i = \frac{1 - (R_i - 1) / L}{\sum_L [1 - (R_i - 1) / L]}. \quad (1.24)$$

Отримані за цією формулою коефіцієнти вагомості відрізняються від тих, що стоять поряд, на ту саму фіксовану величину. Тобто отримана залежність буде мати лінійний характер.

Якщо хочуть, щоб коефіцієнти вагомості нелінійно відрізнялися один від одного, то застосовують формулу

$$m_i = \frac{1 - (R_i - 1) / R_i}{\sum_L [1 - (R_i - 1) / R_i]}. \quad (1.25)$$

Значення коефіцієнтів вагомості, отримані за цією формулою, підпорядковуються гіперболічній залежності.

Методи визначення якості продукції

Для визначення оцінки якості продукції викладено багато найрізноманітніших підходів; їх застосування в тій або іншій практичній ситуації зумовлюється особливостями продукції, що оцінюється, кількістю представлених для оцінки зразків, кількістю властивостей, які враховуються.

Математично якість продукції виражають через рівень якості продукції. Це відносна характеристика продукції, основана на зіставленні значень, що входять у комплексний показник якості продукції, з базовими значеннями відповідних показників.

Проводять вимірювання кожного показника дослідного зразка й базового, вводять коефіцієнти вагомості кожного параметра. Потім проводять «зважування» зміни кожного параметра й «згортання» отриманих зважених відношень у єдиний комплексний показник.

Найбільш простим у застосуванні є *диференціальний метод*. Він ґрунтується на зіставленні сукупності значень одиничних показників якості цієї продукції з аналогічними значеннями базових показників. Таким чином, визначають відносні значення показників, що оцінюються, користуючись формулами

$$q_i = \frac{P_i}{P_{i \text{ баз}}} \quad (1.26)$$

або

$$q_i = \frac{P_{i \text{ баз}}}{P_i}, \quad (1.27)$$

де P_i – значення i -го показника ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) якості продукції, що оцінюється; $P_{i \text{ баз}}$ – базове значення i -го показника; n – кількість показників, що оцінюються.

Залежність (1.26) вибирають у тому випадкові, якщо підвищення значення показника приводить до підвищення якості продукції загалом, і, навпаки, формулу (1.27) використовують, коли зниження показника приводить до підвищення якості.

Якщо відносні показники не «зважують», то в такий спосіб оцінюють рівень якості продукції. Якщо всі відносні значення більше (дорівнюють або менше) одиниці, то рівень якості продукції вищий (дорівнює або менше) від базового рівня, що оцінюється.

Комплексне оцінювання якості продукції проводять такими методами: інтегральним; середньозваженим; змішаним.

Комплексний показник якості *інтегральним методом* розраховують із використанням функціональної залежності комплексного показника якості від одиничних показників. Розрахунок визнають придатним, якщо вибрана залежність відображає фізичну суть розглянутого явища або відповідає дійсному процесу використання продукції за призначенням.

Зауважимо також, що при розрахунках комплексного показника цим способом кількість властивостей, які входять у формулу, є кінцевою (на відміну від величезної різноманітності властивостей, притаманних реальному об'єкту). Подібні обмеження вводяться експертами, щоб уникнути зайвої складності розрахунків або, навпаки, не врахування найбільш важливих, які визначають властивості продукції.

Комплексну оцінку якості *методом визначення середньозваженого показника* розраховують за формулами:

- для середньозваженого арифметичного показника

$$K_o = \sum m_i \cdot q_i, \quad (1.28)$$

- для середньозваженого геометричного показника

$$K_o = \prod (q_i)^{m_i}; \quad (1.29)$$

$$\sum m_i = 1 \text{ та } m_j > 0, \quad (1.30)$$

де m_i – коефіцієнти вагомості окремих показників якості; q_i – відносні показники якості.

Комплексну оцінку *змішаним методом* проводять у тих випадках, коли частина показників якості досліджуваних зразків і базовий об'єднані математичною залежністю. Тоді розраховують на їх основі інтегральний показник та відносний інтегральний показник. Ті показники, які не ввійшли в інтегральний, використовують для розрахунків відносних показників (диференціальним методом).

Іноді комплексні показники критикують за те, що при їх обчисленні допускається перекриття важливого, але низького за значенням, показника іншим, менш важливим, але більш високим. Однак детальне вивчення методів проведення комплексної оцінки показує, що вищезгаданий недолік можна уникнути.

У рамках реалізації інтегрального методу можна регулювати границі області задоволення найбільш важливих показників. І якщо значення таких показників виходять за встановлені межі, то їх можна приймати рівними нулю (якщо функціональна залежність являє собою вироблення співмножників) або взагалі не проводити розрахунок комплексної оцінки. При використанні середньозваженого геометричного показника один або кілька показників, які відносяться до найбільш важливих і які є співмножниками добутку, можуть приймати тільки два значення – 1 (відповідає вимогам) або 0 (незадовільний за якістю). В такому випадку або всі інші множники множать на одиницю, або добуток (а значить, і комплексний показник) дорівнює нулю. Якщо розрахунки проводять за допомогою середньозваженого арифметичного показника, то вплив на комплексну оцінку низького важливого показника регулюють величиною коефіцієнта його вагомості.

Оцінку інтегральної якості розраховують за формулою

$$K_{int} = K_{ef} \cdot K_o, \quad (1.31)$$

де K_{int} - показник інтегральної якості об'єкта; K_{ef} – коефіцієнт (або відносний показник) ефективності; K_o – комплексний показник якості об'єкта.

Залежно від ситуації вважають за необхідне визначати тільки комплексний показник якості, виключаючи з дерева властивостей квазіпросту властивість економічності. Однак у більшості випадків ураховують не тільки результати у вигляді якості продукції, але й пов'язані з ними витрати. Таким чином, предметом підсумкової оцінки є не якість, а інтегральна якість об'єкта або продукції.