

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО**  
**ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**СПЕЦКУРС**  
**ЗА НАПРЯМОМ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ**  
**СПЕЦКУРС**  
**ЗА НАПРЯМОМ ПРОФІЛІЗАЦІЇ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до практичної роботи**

*(для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної форм навчання  
спеціальності 7.06010107 «Теплогазопостачання і вентиляція»,  
а також слухачів другої вищої освіти 2 року заочної форми навчання  
на базі диплома спеціаліста іншого напрямку  
спеціальності 7.06010107 «Теплогазопостачання і вентиляція»)*

**Харків**  
**ХНУМГ**  
**2014**

Спецкурс за напрямом спеціалізації. Спецкурс за напрямом профілізації. Методичні вказівки до практичної роботи (для студентів 5 курсу денної форми та 6 курсу заочної форм навчання спеціальності 7.06010107 «Теплогазопостачання і вентиляція», а також слухачів другої вищої освіти 2 року заочної форми навчання на базі диплома спеціаліста іншого напрямку спеціальності 7.06010107 «Теплогазопостачання і вентиляція») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: І. І. Капцов, В. Г. Котух, Ю. В. Пахомов. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 98 с.

Укладачі: д.т.н., проф. І. І. Капцов,  
к.т.н., доцент В. Г. Котух,  
асистент Ю. В. Пахомов.

Методичні вказівки побудовано за вимогами кредитно-модульної системи організації навчального процесу (КМСОНП).

Рецензент: д.т.н., проф. Б. С. Ільченко

Затверджено на засіданні кафедри Експлуатації газових і теплових систем  
,  
протокол № 2 від 18.02.13.

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ .....	4
Перелік скорочень .....	5
1. Теоретичні основи організації та функціонування технологічної системи виробництва та ремонту ГО і ТС .....	6
1.1 Розрахунок надійності технологічної систем за параметрами продуктивності праці .....	6
1.1.1 Системи з жорстким зв'язком .....	6
1.1.2 Системи з потоковою організацією виробництва і ремонту .....	7
1.1.3 Приклади розв'язання задач .....	13
1.1.4 Задачі для самостійного розв'язання .....	15
1.2 Інженерний розрахунок надійності ТС за параметрами якості виробів ГО і ТС ...	24
1.2.1 Розрахункові методи визначення показників .....	24
1.2.2 Дослідно–статистичні методи оцінювання точності ТС .....	26
1.2.3 Приклади розв'язання задач .....	29
1.2.4 Задачі для самостійного розв'язку .....	31
2. Технічна підготовка виробництва та ремонту виробів ГО і ТС .....	32
2.1 Види робіт з технічної підготовки виробництва та ремонту .....	32
2.1.1 Визначення показників технічної підготовки виробництва та ремонту .....	32
2.1.2 Приклади розв'язання задач .....	32
2.1.3 Задачі для самостійного розв'язання .....	35
3. Технологічне забезпечення вихідних параметрів виробів ГО і ТС .....	36
3.1 Забезпечення точності операцій складання .....	36
3.1.1 Розрахунок точності складання вихідних параметрів .....	36
3.2 Організаційні основи складання .....	39
3.2.1 Розрахунок техніко-економічних показників складання .....	39
3.2.2 Приклади розв'язання задач .....	42
3.2.3 Задачі для самостійного розв'язання .....	48
3.3 Технологічне оснащення виробництва та ремонту виробів ГО і ТС .....	51
3.3.1 Основні теоретичні відомості .....	51
3.3.2 Приклади розв'язання задач .....	56
3.3.3 Задачі для самостійного розв'язання .....	58
3.4 Технологія деталей і конструкцій виробів ГО і ТС .....	59
3.4.1 Приклади розв'язання задач .....	65
3.4.2 Задачі для самостійного розв'язання .....	72
4. Контроль у виробництві і ремонті виробів ГО і ТС .....	76
4.1 Загальна характеристика контролю .....	76
4.2 Вхідний контроль комплектуючих .....	79
4.3 Собівартість вихідного контролю .....	82
4.4 Приклади розв'язання задач .....	86
4.5 Задача для самостійного розв'язання .....	87
5. Транспортно-складські системи у виробництві та ремонті виробів ГО і ТС .....	88
5.1 Основні розрахункові співвідношення .....	88
5.2 Приклади розв'язання задач .....	93
5.3 Задачі для самостійного розв'язання .....	96
Список джерел .....	97

## ВСТУП

Забезпечення безперебійної роботи газового обладнання і трубопровідних систем (ГО і ТС) неможливе без своєчасного й якісного технічного ремонту.

Аварійні ситуації на ділянках газового й енергетичного устаткування на газопроводах, нафтопроводах та інших енергетичних комплексах можуть бути значно зменшені, якщо ефективно в повному об'ємі та своєчасно проводити ремонтно-відновлювальні роботи.

Широка номенклатура газового та енергетичного устаткування, чимала довжина магістральних газових та енерготранспортних трубопроводів, різноманітність пристроїв, що подають енергію, а також системи діагностування та захисту ГО і ТС, роблять особливо актуальним узагальнення здобутих практичних результатів технології ремонту газового устаткування і систем транспортування енергії.

Відновлення первинних характеристик сучасного ГО і ТС, що здійснюється експлуатаційним виробництвом, потребує знання основ технології ремонту металевих виробів. Технологія ГО і ТС – технічна дисципліна, яка є базовою у формуванні та навчанні спеціаліста газової та енергетичної галузей. Необізнаність у сфері технології ремонту унеможливорюють проектування і, тим більш, експлуатування такого складного комплексу як газове устаткування та енерготранспортні системи. Вивчення основ технології ремонту ГО і ТС передбачає вирішення наступних задач:

- надання студентам необхідних знань стосовно методів та способів відновлення первісних властивостей найбільш характерних деталей та агрегатів газоенергетичного устаткування;

- ознайомлення студентів з основними положеннями основ технології ремонту ГО і ТС;

- підготовка наукової бази для адаптації майбутнього молодого спеціаліста до практичної роботи в галузі газової промисловості та енергетики.

Технологія ремонту ГО і ТС ґрунтується на деяких положеннях з інших дисциплін, засвоєних студентами раніше: «Матеріалознавство та технологія металів», «Проектування та розрахунок газового устаткування» та ін.

Потреба у ремонті ГО і ТС є закономірною. Вона виникла з появою систем газо- та енергопостачання. Зростання парку ГО і ТС сприяло виникненню нової галузі знань – «Основи технології ремонту ГО і ТС».

Методичні вказівки сприятимуть вирішенню завдань розвитку та вдосконаленню ремонтно-механічного виробництва, більш високому рівню організації та ремонту ГО і ТС.

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЛ – автоматична лінія  
АСК – абсолютна система координат  
АСТПВ – автоматизована система технологічної підготовки виробництва  
АТУ – автоматичне технічне устаткування  
БК – база конструкторська  
БТ – база технологічна  
БТК – бюро технічного контролю  
ВСК – відносна система координат  
ВТК – відділ технічного контролю  
Г АВ – гнучке автоматизоване виробництво  
ГВМ – гнучкий виробничий модуль  
КТ – контрольна точка  
ОД – об'єкт діагностування  
ППК – пристрій програмного керування  
ПСК – приймальний статистичний контроль  
САК – система автоматичного керування  
САР – система автоматизованого регулювання  
САПР – система автоматизованого проектування  
САПР ТП – система автоматизованого проектування технологічних процесів  
ТП – технологічний процес  
ТПВ – технологічна підготовка виробництва  
ТС – технологічна система  
ЧПК – числове програмне керування

# 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ВИРОБНИЦТВА ТА РЕМОНТУ ГО і ТС

## 1.1 Розрахунок надійності технологічних систем за параметрами продуктивності праці

### 1.1.1 Системи з жорстким зв'язком

#### 1.1.1.1 Одноканальна технологічна система

У процесі розрахунку показників надійності одноканальних технологічних систем (ТС) із жорстким зв'язком приймаються такі припущення:

- відмови елементів незалежні;
- потоки відмов стаціонарні;
- час між відмовами й час відновлення розподілені згідно з експоненціальним законом.

Вихідні дані для розрахунку:  $t_0$  – заданий час виконання завдання;  $V_0$  – обсяг завдання з випуску продукції, шт.;  $Q_n$  – номінальна продуктивність ТС, шт./год;  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов  $i$ -го елемента ТС;  $T_{b_i}$  – середній час відновлення працездатності  $i$ -го елемента ТС, год;  $v(0)$  – обсяг запасів продукції до початку виконання завдання, шт.;  $n$  – кількість елементів (одиниць обладнання) ТС;  $r$  – кількість ремонтних бригад.

*Послідовність розрахунків.*

Значення допоміжних характеристик:

- інтенсивність відмов системи

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i ;$$

- середній час відновлення систем

$$T_b = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda} T_{b_i} ;$$

- час виконання завдання під час безвідмовної роботи усіх елементів

$$t_n = \frac{V_0}{Q_n} ;$$

- припустимий сумарний час простою ТС

$$t_p = t_0 - t_n ;$$

- середня кількість відмов до напрацювання

$$a = \lambda t_n ;$$

- відносне значення резерву часу

$$b = \frac{t_p}{T_b} .$$

Ймовірність виконання завдання

$$P_c(t_0, V_0) = 1 - e^{-a-b} \sum_{k=1}^m \frac{a^k}{k} \sum_{j=0}^{k-1} \frac{b^j}{j},$$

де  $m$  обирають, виходячи із заданої точності обчислень  $\varepsilon$ :

$$\frac{a^m}{m!} \ll \varepsilon.$$

Коефіцієнт готовності ТС за  $r = 1$ :

$$k_r = 1/(1 + \lambda T_c).$$

Середній час виконання завдання з урахуванням часу, що витрачається на усунення відмов, становить:

$$T_s(V_0) = V_0 / Q_n K_c.$$

Середня продуктивність під час виготовлення і ремонту продукції відповідно до заданого обсягу  $V_0$  та на інтервалі часу  $(0, t_0)$  має такий вигляд:

$$Q_{\bar{n}\partial}(V_0) = V_0 / Q_n K_c.$$

#### 1.1.1.2 Багатоканальна технологічна систем

У процесі розрахунку показників надійності багатоканальних ТС приймають такі припущення:

- відмови каналів незалежні;
- у разі відмови одного з каналів інші канали продовжують працювати; потоки відмов каналів стаціонарні;
- напруження між відмовами та час відновлення каналу мають експоненціальні розподіли;
- кількість ремонтних бригад дорівнює кількості каналів.

Вихідні дані:  $m$  – кількість паралельних каналів;  $Q_{nc}$  – номінальна продуктивність системи;  $Q_i$  – продуктивність системи при  $i$  працездатних каналах;  $t_0$  – час виконання завдання у разі безвідмовної роботи усіх каналів системи.

Ймовірність виконання завдання з виготовлення продукції обсягом  $V_0$

$$P_c(t_0, V_0) = \Phi \left( \frac{m Q_i t_0 - V_0 (1 + \lambda T_b)}{m Q_i T_b \sqrt{2 \lambda t_0 / m (1 + \lambda T_b)}} \right).$$

Середній час виконання завдання

$$T_c(V_0) = V_0 (1 + \lambda T_b) / m Q_i.$$

#### 1.1.2 Системи з потоковою організацією виробництва і ремонту

##### 1.1.2.1 Аналітичний метод

Вихідні дані для розрахунку показників надійності ТС із потоковою організацією виробництва і ремонту аналітичним методом є такими:  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов діляниць ТС;  $Q_{ji}$  – номінальні продуктивності діляниць ТС;  $\lambda_{ji}$  – інтенсивність відмов міжопераційних накопичувачів;  $S_{0i}$  – рівні початкового заповнення накопичувачів;  $T_{bi}$  – середній час відновлення працездатності діляниць ТС;  $S_i$  – ємність  $i$ -го накопичувача;  $T_{ji}$  – середній час відновлення.

Під час розрахунку завдання дводільничної ТС із проміжними накопичувачами для випадку, коли номінальна продуктивність ТС ( $Q_i$ ) визначається номінальною продуктивністю другої ділянки

$$P_3(t_0 S_{01}) = e^{-(\lambda_2 + \lambda_n)t_0} (1 - q e^{-\frac{(1-q)S_{01}}{T_b/qQ_n}}),$$

де

$$q = \frac{\lambda_1 T_{b1} Q_{n2}}{Q_{n1} - Q_{n2}};$$

$$Q_{n2} < Q_{i1}.$$

Коефіцієнт готовності дводільничної ТС за однакової продуктивності ділянок, експоненціальних розподілах напрацювання та часу відновлення ділянок:

$$K_r(S_{01}) = K_{r2} K_{zn} (1 - (1 - K_{r1}) \delta(S_{01})),$$

де  $k_{ri}$  – коефіцієнт готовності  $i$ -ї ділянки ( $i=1, 2$ )

$$K_{ri} = \frac{1}{1 + \lambda_i T_{bi}}.$$

Коефіцієнт готовності накопичувача  $K_{zn}$

$$K_{zn} = \frac{1}{1 + \lambda_i T_{bi}}.$$

Коефіцієнт накладених втрат

$$\delta(S_{01}) = \frac{\lambda_2 T_{b2} - \lambda_1 T_{b1}}{\lambda_1 T_{b1} + \lambda_2 T_{b2} \exp\left[\left(\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} + \frac{T_{bb} T_{b2}}{T_{bb} + T_{b2}}\right) \frac{(\lambda_2 T_{b2} - \lambda_1 T_{b1}) S_{01}}{T_{b1} T_{b2} Q_i}\right] - 1}.$$

#### 1.1.2.2 Метод параметричної рандомізації

Метод параметричної рандомізації використовують для оцінки надійності ТС технологічного процесу, складеного з відносно великої кількості операцій, що виконуються послідовно, причому кожна ТС операцій може загалом містити декілька елементів (одиниць однотипного технологічного обладнання), які працюють одночасно (паралельно) на один накопичувач.

Метод параметричної рандомізації застосовують у разі таких припущеннях:

– на інтервалі часу, що розглядається, кожен елемент ТС може відмовляти один раз, причому момент виникнення відмови розподілений усередині інтервалу рівномірно. Припущення справедливе для елементів системи ТС, які мають:

- 1) час відновлення, спів розмірний із проміжком часу, що розглядається,  $t_0$ ;
- 2) установлене безвідмовне напрацювання  $t_j \geq t_0$ ;
- 3) зневажено малу ймовірність двох і більше відмов на інтервалі часу  $(0, t_0)$ ;

– час відновлення  $T_b$  кожного елемента ТС має дискретну функцію розподілу:

$$P(T_b = t_b) = P_{b_i} \neq 0 \text{ для } i=1, 2, \dots, n_b,$$

де  $i$  – номер способу відновлення;  $n_b$  – кількість способів відновлення.

Технологічний процес може бути поданий як процес із дискретним часом. При цьому зміни стану елементів ТС (перехід із працездатного стану в непрацездатний і навпаки) можуть відбуватися тільки в певні моменти часу, що утво-



рюють рівномірну послідовність із шагом  $\Delta t$ , який обирають за умов точності та трудомісткості обчислень. Мінімальна величина  $\Delta t$  обмежена часом обслуговування однієї заявки (обробки одного виробу) ТС операцією в номінальному режимі та мінімальним часом відновлення працездатності елементів ТС  $t_{u_{\min}}$ :

$$t_{u_{\min}} \geq t_{\min} \geq \frac{1}{Q_n},$$

де  $Q_n$  – номінальна продуктивність ТС технологічного процесу (кількість виробів, що оброблюються ТС за одиницю часу при відсутності відмов).

Вихідні дані:  $M$  – кількість ТС операцій у технологічному процесі, що розглядається;  $N_m$  – кількість елементів у  $m$ -ї ТС операції ( $m = 1, 2, \dots, M$ );  $t_0, V_0$  – задані час та обсяг випуску продукції;  $S_{\max_m}$  – максимально допустимий обсяг заповнення накопичувача на вході  $m$ -ї ТС ( $m = 1, 2, \dots, M$ );  $q_m$  – імовірність відмови елемента  $m$ -ї ТС операції ( $m = 1, 2, \dots, M$ );  $n_{e_m}$  – кількість способів відновлення елемента  $m$ -ї ТС операції ( $m = 1, 2, \dots, M$ );  $t_{e_{m,i}}$  – час відновлення елемента  $m$ -ї операції  $i$ -м способом ( $m = 1, 2, \dots, M$ ;  $i = 1, 2, \dots, n_{e_m}$ );  $P_{e_{m,i}}$  – імовірність застосування  $i$ -го способу відновлення елемента  $m$ -ї ТС операції ( $m = 1, 2, \dots, M$ ;  $i = 1, 2, \dots, n_{e_m}$ ), при

цьому  $\sum_{i=1}^{n_{e_m}} P_{e_{m,i}} = 1$ ;  $Q_m$  – номінальна продуктивність елемента  $m$ -ї ТС операції ( $m = 1, 2, \dots, M$ );  $\varepsilon$  – необхідна точність оцінки.

Порядок надходження виробу на оброблення. Вироби, що оброблюються, надходять на вхід ТС технологічного процесу, що розглядається, рівномірно з інтенсивністю, відповідною номінальній продуктивності ТС, що взагалом лімітується «вузьким місцем» – ТС операції з мінімальною продуктивністю:

$$Q_n \leq \min_{m=1,2,\dots,M} (N_m \cdot Q_m).$$

Метод параметричної рандомізації полягає в складанні кінцевої множини реалізацій технологічного процесу, розрахунку показників виконання завдання в кожній реалізації та їх осереднення (рандомізації) по множені реалізацій з урахуванням їх імовірностей.

Розрахунок за методом параметричної рандомізації рекомендується робити за допомогою ЕОМ.

Множину  $A$  реалізацій технологічного процесу, що розглядаються, поділяють, залежно від сполучень елементів, що відмовляють у реалізації, на  $N_A$  підмножин  $A_y$ . Кожна підмножина  $A_y$  характеризується вектором

$$\vec{x}_y \sim (x_{1,1}, \dots, x_{1,N_1}, \dots, x_{m,n}, \dots, x_{M,1}, \dots, x_{M,N_M}, \dots),$$

де  $x_{m,n}$  – індикатор відмови  $n$ -го елемента  $m$ -ї ТС операції:

$$x_{m,n} = \begin{cases} 1 - \text{якщо елемент відмовляє} \\ 0 - \text{якщо елемент не відмовляє,} \end{cases}$$

з імовірністю,

$$P_v = P\{a \in A_u\} = \prod_{m=1}^M \prod_{n=1}^{N_m} P_{m,n}^*,$$

де  $\alpha$  – довільна реалізація технологічного процесу;

$$P_{m,n}^* = \begin{cases} q_m, & \text{если } x_{m,n} = 1 \\ 1 - q_m, & \text{если } x_{m,n} = 0 \end{cases}.$$

Число підмножин  $A_v$  дорівнює:

$$N_A = 2^{\sum_{m=1}^M N_m}.$$

Для скорочення обсягу обчислень виключаються з розгляду підмножини  $A_v$ , для яких величина  $P_v$  зневажено мала порівняно із заданою точністю оцінки  $\varepsilon$ . Для цього нумерують підмножини в порядку спадання величин  $P_v$ , а потім виключають із розгляду останні  $N_n$  підмножини, для яких

$$\sum_{v=N_A-N_n+1}^{N_A} P_v \leq \varepsilon \leq \sum_{v=N_A-N_n}^{N_A} P_v.$$

Кожну підмножину  $A_v$  (із кількості тих, що залишились) поділяють на підмножини  $A_{v,\mu}$ , що відрізняються тільки способами відновлення встановлених елементів, що відмовляють.

Кількість цих підмножин у підмножині  $A_v$  є такою:

$$N_{A_v} = \prod_{m=1}^M \prod_{n=1}^{N_m} (n_{e_m})^{x_{m,n}}.$$

Оскільки всі реалізації у кожній підмножині  $A_{v,\mu}$  відрізняються одна від одної тільки моментами відмов елементів, то вони мають однакову ймовірність відтворення:

$$P_{v,\mu} = \prod_{m=1}^M \prod_{n=1}^{N_m} \prod_{i=1}^{n_{e_m}} (P_{e_{m,i}})^{x_{m,n}}.$$

Основний показник надійності ТС технологічного процесу, що розглядається, – ймовірність виконання завдання - визначають із виразу:

$$P_3(t_0) = \sum_{v=1}^{N_A-N_n} \sum_{\mu=1}^{N_{A_v}} P_{v,\mu} \cdot \frac{R_{v,\mu}^*}{R_{v,\mu}},$$

де  $R_{v,\mu}$  – загальна кількість реалізацій у підмножині  $A_{v,\mu}$ :

$$R_{v,\mu} = (n_t)^k;$$

$k$  – кількість елементів ТС, що відмовляють:

$$k = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} x_{m,n};$$

$n_t$  – кількість точок роздрібнення інтервалу  $(0, t_0)$ , що визначається з урахуванням припущень із виразу:

$$n_t = \left\lceil \frac{t_0}{\Delta t} \right\rceil;$$

$R_{v,\mu}^*$  – кількість успішних реалізацій у підмножині (у яких завдання виконується);

$$R_{v,\mu}^* = \sum_{r=1}^{R_{v,\mu}} \varphi(\vec{Y}_{v,\mu,r}),$$

де  $\vec{Y}_{v,\mu,y}$  – вектор параметрів, що однозначно задають  $r$ -у реалізацію з підмножини  $A_{v,\mu}$ , і визначаються як викладено нижче;  $\varphi(\vec{Y}_{v,\mu,y})$  – індикаторна функція виконання завдання в  $r$ -ї реалізації, що визначається як викладено нижче.

Вектор  $\vec{Y}_{v,\mu,r}$  відповідає  $r$ -му сполученню значень параметрів стану ТС з підмножини  $A_{v,\mu}$ :

$$\vec{Y}_{v,\mu,r} \sim \begin{pmatrix} x_{1,1}, \dots, x_{1,N_1}, \dots, x_{m,n}, \dots, x_{M,1}, \dots, x_{M,N_M}; \\ t_{1,1}^*, \dots, t_{1,N_1}^*, \dots, t_{m,n}^*, \dots, t_{M,1}^*, \dots, t_{M,N_M}^*; \\ t_{e_{1,1}}^*, \dots, t_{e_{1,N_1}}^*, \dots, t_{e_{m,n}}^*, \dots, t_{e_{M,1}}^*, \dots, t_{e_{M,N_M}}^* \end{pmatrix},$$

де  $t_{m,n}^*$  – реалізація моменту відмови  $n$ -го елемента  $m$ -ї ТС, що відповідає  $j$ -му моменту часу:

$$t_j = \Delta t(j-1) \text{ для } j = 1, 2, \dots, n;$$

$t_{e_{m,n}}^*$  – реалізація часу відновлення працездатності елемента, який відмовив, що відповідає  $i$ -му способу відновлення:

$$t_{e_{m,n}}^* = x_{m,n} \cdot t_{e_{m,n}}.$$

Індикаторна функція виконання завдання в  $r$ -ї реалізації з підмножини  $A_{v,\mu}$  має вигляд:

$$\varphi(\vec{Y}_{v,\mu,r}) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } V_{v,\mu,r}(t_0) \geq V_0 \\ 0, & \text{якщо } V_{v,\mu,r}(t_0) < V_0, \end{cases}$$

де  $V_{v,\mu,r}$  – обсяг продукції, виготовленої під час  $r$ -ї реалізації технологічного процесу з підмножини  $A_{v,\mu}$ :

$$V_{v,\mu,r}(t_0) = V(t_0) = \Delta t \cdot \sum_{j=1}^{n_t} Q_{M,j}^1;$$

$Q_{M,j}^1$  – продуктивність ТС  $M$ -ї (фінішної) операції на  $j$ -му проміжку часу.

Величини  $Q_{M,j}^1$  визначаються шляхом послідовного розрахунку значень  $Q_{M,j}^1$  для  $m=1, 2, \dots, M$  в кожний  $j$ -й проміжок часу за рекурентним співвідношенням:

$$Q_{M,j}^1 = \begin{cases} 0, & \text{якщо } S_{m+1,j} \geq S_{\max_{m+1}} \\ \frac{S_{m,j}}{\Delta t}, & \text{якщо } Q_{m,j}^0 \cdot \Delta t > S_{m,j} \text{ у } S_{m+1,j} < S_{\max_{m+1}} \\ Q_{m,j}^0, & \text{якщо } Q_{m,j}^0 \cdot \Delta t << S_{m,j} \text{ у } S_{m+1,j} < S_{\max_{m+1}}, \end{cases}$$

де  $S_{m,j}$  – значення довжини черги (заповнення накопичувача) на вході  $m$ -ї ТС на  $j$ -му проміжку часу:

$$S_{m,j} = S_{m,j-1} + (Q_{m-1,j-1}^1 - Q_{m,j-1}^1) \cdot \Delta t;$$

$Q_{M,j}^1$  – можлива продуктивність  $m$ -ї ТС на  $j$ -му проміжку часу:

$$Q_{m,j}^0 = Q_m \sum_{n=1}^{N_m} Z_{m,n,j};$$

$$Z_{m,n,j} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } t_j < t_{m,n}^* \text{ у } t_j \geq t_{m,n}^* + t_{e_{m,n}}^* \\ 0, & \text{якщо } t_{m,n}^* << t_j < t_{m,n}^* + t_{e_{m,n}}^* \end{cases}$$

з початковими умовами:

$$Q_{0,j-1}^1 = Q_1 j = 1, 2, \dots, n_t.$$

У початковий момент часу (за  $j = 0$ ) довжину черги на вході кожної  $m$ -ї ТС операції у загальному випадку обирають з умов забезпечення номінального режиму роботи:

$$S_{m,0} = Q_m \cdot \Delta t \text{ для } m = 1, 2, \dots, M$$

або задають у вигляді вихідних даних:

$$S_{m,0} = S_m^0, \text{ для } m = 1, 2, \dots, M.$$

де  $S_m^0$  – вихідне заповнення  $m$ -го накопичувача.

За необхідності метод параметричної рандомізації можна використовувати для визначення інших показників надійності. Так, наприклад, середній обсяг продукції  $\bar{V}$ , що виготовляється або ремонтується ТС за час  $t_0$ , та його середнє квадратичне відхилення  $\sigma_v$  визначають за співвідношенням:

$$\bar{V} = \sum_{v=1}^{N_A - N_n} \sum_{\mu=1}^{N_{A_v}} P_{v,\mu} \cdot \frac{\sum_{r=1}^{R_{v,\mu}} V_{v,\mu,r}(t_0)}{R_{v,\mu}};$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sum_{v=1}^{N_A - N_n} \sum_{\mu=1}^{N_{A_v}} P_{v,\mu} \cdot \frac{\sum_{r=1}^{R_{v,\mu}} (V_{v,\mu,r}(t_0) - \bar{V})^2}{R_{v,\mu}}}.$$

### **Запитання та завдання для самоперевірки**

1. Що таке технологічна система?
2. Чому ТС належить до складних систем?
3. Якими ознаками характеризується технологічна система?
4. Назвіть основні особливості елемента складної системи.
5. Які структури складних систем ви знаєте?
6. Якою є ієрархічна структура ТС?
7. Що таке ефективність функціонування ТС?
8. Для чого здійснюється оцінювання надійності ТС за параметрами продуктивності?
9. Які вихідні дані використовуються під час оцінювання надійності ТС за параметрами продуктивності?
10. Що є критерієм відмови ТС за параметрами продуктивності?

### 1.1.3 Приклади розв'язання задач

#### Задача 1

Виконати розрахунок надійності за параметрами продуктивності праці ділянки автоматичної лінії зварювання корпусів виробів ГО і ТС за такими вихідними даними: кількість елементів системи  $n = 4$ , інтенсивність відмов кожного  $\lambda_i = 0,252$  1/год, середній час відновлення працездатності  $T_{vi} = 0,05$  год, номінальна продуктивність ділянки  $Q_n = 40$  вир./год. Партія налічує 400 виробів, заданий час виконання завдання – 11,5 год.

#### Розв'язання

Інтенсивність відмов ділянки при  $n = 4$  становить

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,252 + 0,252 + 0,252 + 0,252 = 1,008 \text{ 1/год.}$$

Час відновлення працездатності

$$T_{\epsilon} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\lambda_i}{\lambda} T_{vi} \right) = 0,05 \text{ год.}$$

Час виконання завдання обсягом  $V_0$  за умови безвідмовної роботи всіх елементів ТС визначається у таким чином:

$$t_n = \frac{V_0}{Q_n} = 10 \text{ год.}$$

Допустимо можливий час простою обладнання складає:

$$t_p = t_0 - t_n = 1,5 \text{ год.}$$

Допоміжні параметри:

$$a = \lambda \cdot t_n = 10,08; \quad b = \frac{t_p}{T_{\epsilon}} = 21.$$

Отже,

$$\Phi\left(\frac{1 + 21 - 10,08}{\sqrt{2 \cdot 21}}\right) = 0,968 < P_z > \Phi\left(\frac{21 - 10,08}{\sqrt{2 \cdot 10,08}}\right) = 0,0993, \quad P_z = 0,9805.$$

Коефіцієнт готовності ділянки

$$k_r = \frac{1}{1 + \lambda \cdot T_{\epsilon}} = 0,952.$$

Середній час виконання завдання:

$$T_z = \frac{V_0}{Q_n \cdot k_r} = 10,504.$$

## Задача 2

Оцінити показники надійності автоматичної лінії для зварювання корпусів виробів ГО і ТС, склад якої наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автомат розпакування	Автомат очистки	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	300	600	1000
Інтенсивність відмов, 1/год	0,03	0,01	0,02
Середній час відновлення, год	0,01	0,01	0,02

Вихідні дані:  $V_0$  – обсяг партії виробів (500 шт.),  $t_n = \frac{V_0}{Q_n}$ ,  $t_n = 500/300 = 1,67$  год,

$t_0$  – заданий час виконання завдання (1,6 год).

*Розв'язання*

Час виконання завдання обсягом  $V_0$  визначають за формулою:

$$t_p = t_n - t_0.$$

Допустимий сумарний час простою ТС

$$t_p = 1,67 - 1,6 = 0,07 \text{ год.}$$

Інтенсивність відмов системи:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i; \quad \lambda = 0,03 + 0,01 + 0,02 = 0,06 \text{ 1/год.}$$

Середній час відновлення системи:

$$T_{\text{с}} = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda} \cdot T_{\text{с}i}; \quad T_{\text{с}} = \frac{0,03}{0,06} \cdot 0,01 + \frac{0,01}{0,06} \cdot 0,01 + \frac{0,02}{0,06} \cdot 0,02 = 0,058 \text{ год.}$$

Середній час відмов до напрацювання:

$$A = \lambda \cdot t_n; \quad a = 0,06 \cdot 1,67 = 0,01.$$

Відносне значення резерву часу

$$b = t_p / T_{\text{с}}; \quad b = 0,07 / 0,058 = 1,21.$$

Імовірність виконання завдання вираховується за формулою

$$P_3(t_0, V_0) = 1 - e^{-a-b} \sum_{K=1}^m \frac{a^K}{K!} \cdot \sum_{j=0}^{K-1} \frac{b^j}{j!}.$$

$$\frac{a^m}{m!} \ll \varepsilon.$$

$$P_3 = 0,9997,$$

де  $m$  обирають на підставі заданої точності обчислень  $\varepsilon$ !

Коефіцієнт готовності ТС за  $r=1$  отримаємо в таким чином:

$$K_2 = \frac{1}{1 + \lambda \cdot T_{\text{с}}}; \quad K_2 = \frac{1}{1 + 0,06 \cdot 0,058} = 0,9964.$$

Середній час виконання завдань з урахуванням часу, витраченого на усунення замовлень, визначимо таким чином:

$$T_3(V_0) = \frac{V_0}{Q_n \cdot K_z}; \quad T_3(V_0) = \frac{500}{300 \cdot 0,9964} = 1,66 \text{ год}$$

Середня продуктивність під час виготовлення або ремонту продукції заданого обсягу та середня продуктивність на інтервалі часу  $(0, t_0)$  складають

$$Q_{cp}(V_0) = Q_n \cdot < K_z, \quad Q_{cp} = 300 \cdot 0,9964 = 298,92 \approx 299 \text{ виробів/год}$$

*Аналіз результатів.* Виконані розрахунки дозволяють зробити висновок, що ТС, відповідно до розрахунку, має високий коефіцієнт готовності, що наближається до одиниці, а це, у свою чергу, забезпечує величину середньої продуктивності, близьку до номінального значення. Час виконання завдання дещо вищий за заданий. Отже, застосування резервування є недоцільним.

### 1.1.4 Задачі для самостійного розв'язання

#### Задача 1

Визначити показники надійності та продуктивності лінії, котра складається з трьох автоматів, які мають інтенсивності відмов  $\lambda_i = 0,015$  1/год і середній час відновлення  $T_{di} = 0,04$  год. Номінальна продуктивність дільниці лінії  $Q_n = 50$  виробів/год, обсяг завдання – 400 шт., заданий час виконання завдання  $t_0 = 11,05$  год.

#### Задача 2

Визначити показники надійності та продуктивності лінії, котра складається з чотирьох автоматів, які мають інтенсивність відмов  $\lambda_i = 0,32$  1/год і середній час відновлення  $T_{di} = 0,25$  год. Номінальна продуктивність 800 шт./год, обсяг завдання – 4500 шт., заданий час виконання завдання  $t_0 = 1,4$  год.

#### Задача 3

Визначити показники надійності та продуктивності ТС, що складається з п'яти автоматів, які мають показники, наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС				
	Автомат 1	Автомат 2	Автомат 3	Автомат 4	Автомат 5
Продуктивність, шт./год	1000	600	600	120	150
Інтенсивність відмов, 1/год	0,04	0,04	0,05	0,02	0,04
Середній час відновлення, год	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03

Вихідні дані:  $V_0 = 1000$  шт.;  $t_0 = 6$  год.;  $r = 1$ ;  $n = 5$ .

#### Задача 4

Визначити показники надійності та продуктивності лінії, що складається з чотирьох автоматів, які мають показники, наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС			
	Автомат 1	Автомат 2	Автомат 3	Автомат 4
Продуктивність, шт./год	700	700	700	700
Інтенсивність відмов, 1/год	0,04	0,04	0,04	0,04
Середній час відновлення, год	0,2	0,2	0,2	0,2

Вихідні дані:  $V_0 = 3000$  шт.;  $t_0 = 5$  год.;  $r = 1$ ;  $n = 4$ .

### Задача 5

Визначити показники надійності та продуктивності лінії, що складається з трьох автоматів, які мають показники, наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автомат 1	Автомат 2	Автомат 3
Продуктивність, шт./год	300	300	800
Інтенсивність відмов, 1/год	0,03	0,01	0,02
Середній час відновлення, год	0,01	0,01	0,01

Вихідні дані:  $V_0 = 5000$  шт.;  $t_0 = 4$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

### Задача 6

Технологічна система призначена для автоматизованого виконання операцій формування, очистки і зварювання корпусів виробів ГО і ТС. Склад ТС наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автомат формування	Автомат очистки	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	600	600	1650
Інтенсивність відмов, 1/год	0,0300	0,0100	0,0002
Середній час відновлення, год	0,50	0,05	0,03

Вихідні дані:  $V_0 = 600$  шт.;  $t_0 = 4,4$  год.;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 7

Технологічна система, яка призначена для зварювання корпусів виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС			
	Блок флюсування	Блок підігрівання	Блок паяння	Блок відмивання та сушіння
Продуктивність, шт./год	800	800	800	800
Інтенсивність відмов, 1/год	0,32	0,32	0,32	0,32
Середній час відновлення, год	0,25	0,25	0,25	0,25

Вихідні дані:  $V_0 = 4500$  шт.;  $t_0 = 4,8$  год;  $r = 1$ ;  $n = 4$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 8

Технологічна система, яка призначена для зварювання корпусів виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС			
	Модуль флюсування	Модуль підсушування	Модуль попереднього підігрівання	Модуль зварювання
Продуктивність, шт./год	40	40	40	40
Інтенсивність відмов, 1/год	0,252	0,252	0,252	0,252
Середній час відновлення, год	0,05	0,05	0,05	0,05

Вихідні дані:  $V_0 = 400$  шт.;  $t_0 = 1$  год;  $r = 11,05$ ;  $n = 4$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .



### Задача 9

Технологічна система, яка призначена для зварювання корпусів виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автомат розпакування	Автомат очистки	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	400	400	400
Інтенсивність відмов, 1/год	0,04	0,01	0,04
Середній час відновлення, год	0,30	0,03	0,05

Вихідні дані:  $V_0 = 500$  шт.;  $t_0 = 3,8$  год.;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 10

Технологічна система, яка призначена для автоматизованого формування, очистки і зварювання каркасів, має склад, наведений в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автомат формування	Автомат лудіння	Універсальний автомат паяння
Продуктивність, шт./год.	900	1200	400
Інтенсивність відмов, 1/год.	0,25	0,25	0,25
Середній час відновлення, год.	0,02	0,03	0,04

Вихідні дані:  $V_0=5000$  шт.;  $t_0=13,05$  год;  $r=1$ ;  $n=3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 11

Технологічна система, яка призначена для автоматизованого виконання операцій формування, очистки і зварювання секцій виробів ГО і ТС, має склад, який наведено в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автомат формування	Автомат очистки	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	500	500	1650
Інтенсивність відмов, 1/год	0,0400	0,0100	0,0002
Середній час відновлення, год	0,50	0,05	0,03

Вихідні дані:  $V_0 = 600$  шт.;  $t_0 = 4,4$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 12

Технологічна система, яка призначена для зварювання корпусів виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС			
	Блок флюсування	Блок підігрівання	Блок зварювання	Блок відмивання та сушіння
Продуктивність, шт./год	800	800	800	800
Інтенсивність відмов, 1/год	0,32	0,32	0,32	0,32
Середній час відновлення, год	0,25	0,25	0,25	0,25

Вихідні дані:  $V_0 = 450$  шт.;  $t_0 = 4,8$  год;  $r = 1$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 13

Технологічна система, яка призначена для зварювання корпусів виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.12.

Таблиця 1.12 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автомат формування	Автомат очистки	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год.	400	400	400
Інтенсивність відмов, 1/год.	0,04	0,01	0,02
Середній час відновлення, год.	0,30	0,03	0,05

Вихідні дані:  $V_0 = 5000$  шт.;  $t_0 = 3,8$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 14

Технологічна система, яка призначена для автоматизованого формування, очистки і зварювання каркасів виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.13.

Таблиця 1.13 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автомат формування	Автомат очистки	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	900	1200	400
Інтенсивність відмов, 1/год	0,25	0,25	0,25
Середній час відновлення, год	0,02	0,03	0,04

Вихідні дані:  $V_0 = 5800$  шт.;  $t_0 = 13,05$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 15

Технологічна система, яка призначена для автоматизованого виконання операцій формування, очистки і зварювання корпусів виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.14.

Таблиця 1.14 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автомат формування	Автомат очистки	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	600	600	1650
Інтенсивність відмов, 1/год	0,0300	0,0100	0,0002
Середній час відновлення, год	0,50	0,05	0,03

Вихідні дані:  $V_0 = 1200$  шт.;  $t_0 = 4,4$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 16

Технологічна система, яка призначена для зварювання корпусів виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.15.

Таблиця 1.15 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС			
	Блок флюсування	Блок підігріву	Блок зварювання	Блок відмивання та сушіння
Продуктивність, шт./год	800	800	800	800
Інтенсивність відмов, 1/год	0,32	0,32	0,32	0,32
Середній час відновлення, год	0,25	0,25	0,25	0,25

Вихідні дані:  $V_0 = 300$  шт.;  $t_0 = 4,8$  год;  $r = 1$ ;  $n = 4$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 17

Технологічна система, яка призначена для зварювання корпусів виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.16.

Таблиця 1.16 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС			
	Модуль флюсування	Модуль підсушування	Модуль попереднього підігрівання	Модуль зварювання
Продуктивність, шт./год	40	40	40	40
Інтенсивність відмов, 1/год	0,252	0,252	0,252	0,252
Середній час відновлення, год	0,05	0,05	0,05	0,05

Вихідні дані:  $V_0 = 4000$  шт.;  $t_0 = 11,05$  год;  $r = 1$ ;  $n = 4$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 18

Технологічна система, яка призначена для зварювання корпусів виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.17.

Таблиця 1.17 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автомат формування	Автомат очистки	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	400	400	400
Інтенсивність відмов, 1/год	0,04	0,01	0,02
Середній час відновлення, год	0,30	0,03	0,05

Вихідні дані:  $V_0 = 1700$  шт.;  $t_0 = 13,8$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 19

Технологічна система, яка призначена для автоматизованого формування, очистки і зварювання каркасів виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.18.

Таблиця 1.18 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автомат формування	Автомат очистки	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	900	1200	400
Інтенсивність відмов, 1/год	0,25	0,25	0,25
Середній час відновлення, год	0,02	0,03	0,04

Вихідні дані:  $V_0 = 800$  шт.;  $t_0 = 13,05$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 20

Технологічна система, яка призначена для автоматизованого виконання операцій формування, очистки і зварювання корпусів виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.19.

Таблиця 1.19 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автомат формування	Автомат очистки	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	600	600	1600
Інтенсивність відмов, 1/год	0,0300	0,0100	0,0002
Середній час відновлення, год	0,50	0,05	0,03

Вихідні дані:  $V_0 = 1500$  шт.;  $t_0 = 6,2$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 21

Технологічна система, яка призначена для зварювання корпусів виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.20.

Таблиця 1.20 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС			
	Блок флюсування	Блок підігріву	Блок зварювання	Блок відмивання та сушіння
Продуктивність, шт./год	600	800	800	800
Інтенсивність відмов, 1/год	0,32	0,32	0,32	0,32
Середній час відновлення, год	0,25	0,25	0,25	0,25

Вихідні дані:  $V_0 = 1500$  шт.;  $t_0 = 6,2$  год;  $r = 1$ ;  $n = 4$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 22

Технологічна система, яка призначена для зварювання корпусів виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.21.

Таблиця 1.21 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС			
	Модуль флюсування	Модуль підсушування	Модуль попереднього підігрівання	Модуль зварювання
Продуктивність, шт./год	400	400	400	400
Інтенсивність відмов, 1/год	0,252	0,252	0,252	0,252
Середній час відновлення, год	0,05	0,05	0,05	0,05

Вихідні дані:  $V_0 = 1500$  шт.;  $t_0 = 6,2$  год;  $r = 1$ ;  $n = 4$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 23

Технологічна система, яка призначена для нанесення розмітки на заготовки деталей ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.22.

Таблиця 1.22 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автоматична хімічної підготовки поверхні	Накопичувач	Установка нанесення розмітки
Продуктивність, шт./год	600	–	600
Інтенсивність відмов, 1/год	0,1	0,1	0,1
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	–	200	100
Середній час відновлення, год	0,3	0,1	0,3
Ємність накопичувача, шт.	–	1000	–

Вихідні дані:  $V_0 = 120$  шт.;  $t_0 = 1,4$  год.

Визначити:  $K_r$ ,  $P_3(t_0, V_0)$ .

### Задача 24

Технологічна система, яка призначена для збирання і регулювання блоків виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.23.

Таблиця 1.23 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автомат складання	Накопичувач	Автомат регулювання
Продуктивність, шт./год	50	–	40
Інтенсивність відмов, 1/год	0,030	0,002	0,010
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	–	100	–
Середній час відновлення, год	0,5	0,5	0,5
Ємність накопичувача, шт.	–	300	–

Вихідні дані:  $V_0 = 1000$  шт.;  $t_0 = 10$  год.

Визначити:  $K_r$ ,  $P_3(t_0, V_0)$ .

### Задача 25

Технологічна система, яка призначена для виготовлення блоків виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.24.

Таблиця 1.24 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Установка складання	Накопичувач	Установка контролю
Продуктивність, шт./год	150	–	130
Інтенсивність відмов, 1/год	0,100	0,001	0,001
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	–	20	–
Середній час відновлення, год	0,10	0,06	0,20
Ємність накопичувача, шт.	–	50	–

Вихідні дані:  $V_0 = 500$  шт.;  $t_0 = 8$  год.

Визначити:  $K_r$ ,  $P_3(t_0, V_0)$ .

### Задача 26

Технологічна система, яка призначена для складання та регулювання блоків виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.25.

Таблиця 1.25 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автомат складання	Накопичувач	Автомат регулювання
Продуктивність, шт./год	50	–	40
Інтенсивність відмов, 1/год	0,030	0,002	0,010
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	–	100	–
Середній час відновлення, год	0,5	0,5	0,5
Ємність накопичувача, шт.	–	300	–

Вихідні дані:  $V_0 = 1500$  шт.;  $t_0 = 10$  год.

Визначити:  $K_r, P_3(t_0, V_0)$ .

### Задача 27

Технологічна система, яка призначена для виготовлення блоків виробів ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.26.

Таблиця 1.26 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Установка складання	Накопичувач	Установка контролю
Продуктивність, шт./год	150	–	130
Інтенсивність відмов, 1/год	0,100	0,001	0,001
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	–	20	–
Середній час відновлення, год	0,10	0,06	0,20
Ємність накопичувача, шт.	–	50	–

Вихідні дані:  $V_0 = 1200$  шт.;  $t_0 = 8$  год.

Визначити:  $K_r, P_3(t_0, V_0)$ .

### Задача 28

Технологічна система, яка призначена для нанесення розмітки на заготовки деталей ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.27.

Таблиця 1.27 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автоматична лінія підготовки поверхні	Накопичувач	Установка нанесення розмітки
Продуктивність, шт./год	600	–	600
Інтенсивність відмов, 1/год	0,1	0,1	0,1
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	–	200	100
Середній час відновлення, год	0,3	0,1	0,3
Ємність накопичувача, шт.	–	1000	–

Вихідні дані:  $V_0 = 120$  шт.;  $t_0 = 1,4$  год.

Визначити:  $K_r, P_3(t_0, V_0)$ .

### Задача 29

Технологічна система, яка призначена для нанесення розмітки на заготовки деталей ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.28.

Таблиця 1.28 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автоматична лінія підготовки поверхні	Накопичувач	Установка нанесення розмітки
Продуктивність, шт./год	600	–	600
Інтенсивність відмов, 1/год	0,1	0,1	0,1
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	–	200	100
Середній час відновлення, год	0,3	0,1	0,3
Ємність накопичувача, шт.	–	1000	–

Вихідні дані:  $V_0 = 1200$  шт.;  $t_0 = 1,4$  год,  $r = 1$

Визначити:  $K_z$ ,  $P_3(t_0, V_0)$ .

### Задача 30

Технологічна система, яка призначена для складання та регулювання блоків ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.29.

Таблиця 1.29 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Автомат складання	Накопичувач	Автомат регулювання
Продуктивність, шт./год	50	–	50
Інтенсивність відмов, 1/год	0,030	0,002	0,010
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	–	100	–
Середній час відновлення, год	0,5	0,5	0,5
Ємність накопичувача, шт.	–	300	–

Вихідні дані:  $V_0 = 500$  шт.;  $t_0 = 10$  год.

Визначити:  $K_r$ ,  $P_3(t_0, V_0)$ .

### Задача 31

Технологічна система, яка призначена для складання блоків ГО і ТС, має склад, наведений в таблиці 1.30.

Таблиця 1.30 – Склад технологічної системи

Параметр	Склад ТС		
	Установка складання	Накопичувач	Установка контролю
Продуктивність, шт./год	150	–	130
Інтенсивність відмов, 1/год	0,100	0,001	0,001
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	–	20	–
Середній час відновлення, год	0,10	0,06	0,20
Ємність накопичувача, шт.	–	50	–

Вихідні дані:  $V_0 = 7500$  шт.;  $t_0 = 8$  год.

Визначити:  $K_r$ ,  $P_3(t_0, V_0)$ .

## 1.2 Інженерний розрахунок надійності ТС за параметрами якості виробів ГО і ТС

### 1.2.1 Розрахункові методи визначення показників

#### 1.2.1.1 Метод випадкових функцій

Визначення показників точності ТС технологічних операцій методом випадкових функцій здійснюється як розрахунок характеристик випадкового процесу зміни контрольного параметра  $x(t)$ : математичного очікування  $m\{x(t)\}$  та дисперсії  $D\{x(t)\}$ .

Вихідні дані для визначення величин  $m\{x(t)\}$  та  $D\{x(t)\}$  отримують у ході вибіркового обсягу не менше ніж десяти реалізацій технологічного процесу.

Отримані в результаті розгляду значення контрольованих параметрів деталей заносять до таблиці (таблиці 1.31), в якій через  $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_l, \dots, t_m$  позначаються номери послідовно оброблюваних деталей однієї партії (або моменти часу проведення вимірювань), а через  $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$  визначаються окремі реалізації технологічного процесу (партії або вибірки з партії).

Таблиця 1.31 – Значення контрольованих параметрів деталей

$x(t)$	$t$							
	$t_1$	$t_2$	...	$t_k$	...	$t_l$	...	$t_m$
$x_1(t)$	$x_1(t_1)$	$x_1(t_2)$	...	$x_1(t_k)$	...	$x_1(t_l)$	...	$x_1(t_m)$
$x_2(t)$	$x_2(t_1)$	$x_2(t_2)$	...	$x_2(t_k)$	...	$x_2(t_l)$	...	$x_2(t_m)$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$x_j(t)$	$x_j(t_1)$	$x_j(t_2)$	...	$x_j(t_k)$	...	$x_j(t_l)$	...	$x_j(t_m)$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$x_n(t)$	$x_n(t_1)$	$x_n(t_2)$	...	$x_n(t_k)$	...	$x_n(t_l)$	...	$x_n(t_m)$

Значення  $t_1, t_2, \dots, t_m$  слід задавати рівномірними ( $t_2 - t_1 = t_3 - t_2 = \dots = t_m - t_{m-1}$ ).

Залежно від обсягу партії різницю слід підібрати таким чином, щоб кількість деталей  $m$  в одній партії або реалізацій була не меншою за десять.

Оцінки математичних очікувань  $\hat{m}\{x(t_k)\}$  та дисперсій  $\hat{D}\{x(t_k)\}$  обчислюються за формулами:

$$\hat{m}\{x(t_k)\} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j(t_k)}{n}; \quad (1.1)$$

$$\hat{D}\{x(t_k)\} = \frac{\sum_{j=1}^n [x_j(t_k) - \hat{m}\{x(t_k)\}]^2}{n - 1}; \quad (1.2)$$

або



$$\hat{D}\{x(t_k)\} = \left[ \frac{\sum_{j=1}^n [x_j(t_k)]^2}{n} - [\hat{m}\{x(t_k)\}]^2 \right] \cdot \frac{n}{n-1}, \quad (1.3)$$

де  $x_j(t_k)$  – значення  $j$ -ї реалізації в момент  $t_k$ ;  $n$  – кількість реалізацій.

#### 1.2.1.2 Метод елементарних похибок

Оцінювання показників точності ТС технологічної операції методом елементарних похибок провадиться на основі розрахунку сумарної похибки контрольованого параметра. При цьому вихідними даними є значення величин елементарних похибок (похибок установлення деталі в пристрій, геометричної похибки технологічного обладнання, похибки настроювання обладнання, похибок, викликаних тепловими деформаціями тощо).

Запропонований метод слід застосовувати на етапі технологічної підготовки виробництва, коли недоцільно здійснювати вибірковий розгляд технологічного процесу.

Якщо елементарні похибки взаємно незалежні, сумарну похибку  $\delta_\Sigma$  контрольованого параметра визначають за формулою:

$$\delta_\Sigma = k \cdot \sqrt{\lambda_1 \Delta_1^2 + \lambda_2 \Delta_2^2 + \dots + \lambda_n \Delta_n^2},$$

де  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$  – паралельні значення елементарних похибок;  $k$  – коефіцієнт ризику;  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  – коефіцієнти, які враховують закон розподілу елементарних похибок.

Коефіцієнт ризику  $k$  обирають залежно від прийнятого ризику  $P$ .

За нормального закону розподілу елементарних похибок і рівноймовірного їхнього виходу за обидві межі поля допуску значення  $P$  пов'язане зі значенням функції Лапласа  $\Phi(k)$  формулою:

$$P = 100 \cdot [1 - 2\Phi(k)] \, \%.$$

Ряд значень коефіцієнта  $k$  наведено в таблиці 1.32.

Таблиця 1.32 – Значення коефіцієнтів  $k$

$P, \%$	32,00	10,00	4,50	1,00	0,27	0,10	0,01
$k$	1,00	1,65	2,00	2,57	3,00	3,29	3,89

### 1.2.2 Дослідно-статистичні методи оцінювання точності ТС

#### 1.2.2.1 Метод точкових діаграм

Контроль точності за альтеративною ознакою для ТС технологічної операції за методом точкових діаграм здійснюють шляхом побудови графіків (точкових діаграм), на яких по осі абсцис відкладають умовні номери заготовок, що обробляються, у послідовності їх обробки (або час завершення обробки), по осі ординат – виміряні значення контрольованого параметра та їх порівняння із заданими граничними значеннями  $X_b$  і  $X_n$ .

Графіки будуються за даними протоколів вимірювань.

У залежності від мети дослідження та виду технологічного процесу на один графік наносять задані граничні значення контрольованого параметра та результатів вимірювання деталі вибірок.

Вибірки проводяться з однієї партії деталей, послідовно оброблених на одній одиниці технологічного обладнання при одному настроюванні. Схематичне зображення однієї точкової діаграми випадкового процесу зміни значень контрольованого параметра  $x(t)$  наведено на рис. 1.1.

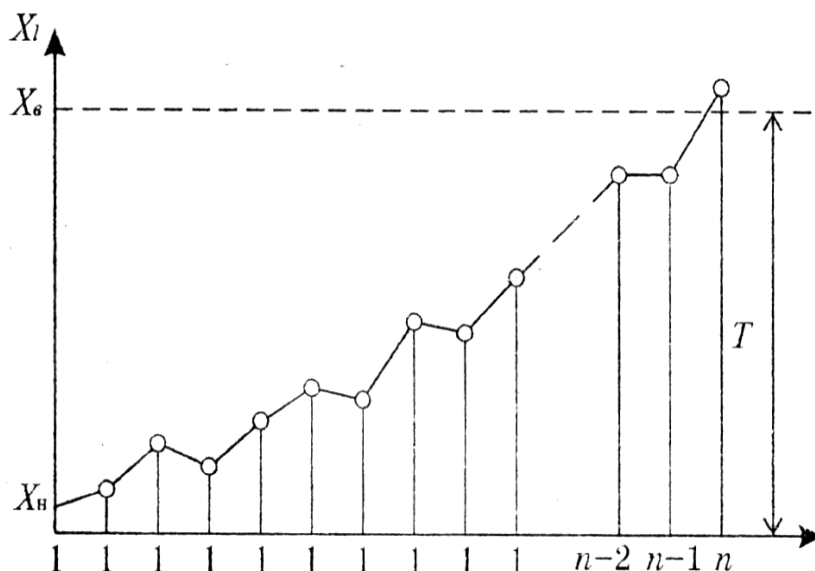


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення точкової діаграми випадкового процесу зміни значень контрольованого параметра  $x(t)$ :  
 $T$  – допуск на контролюючий параметр, що контролює

За цим графіком проводиться контроль точності однієї конкретної реалізації технологічного процесу.

Вибірки виконуються з декількох партій деталей, отриманих у результаті обробки деталей на одній одиниці технологічного обладнання при різних її налаштуваннях або замінах інструменту.

У цьому випадку на графік наносять декілька реалізацій випадкового процесу зміни значень контрольованого параметра  $x(t)$  отриманих на одній одиниці технологічного обладнання, відповідне схематичне зображення показано на рис. 1.2.

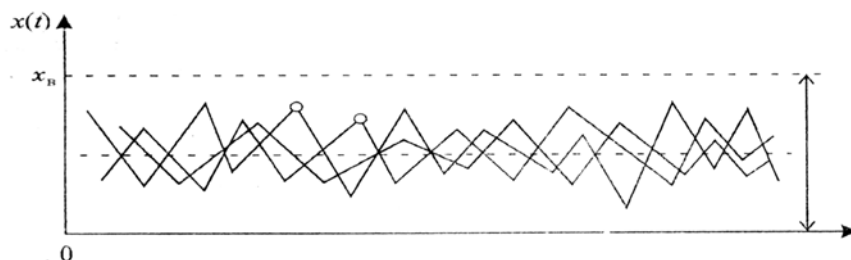


Рисунок 1.2 – Графік декількох реалізацій випадкового процесу зміни значень контрольованого параметра  $x(t)$ , отриманих на одній одиниці технологічного обладнання

За цим графіком здійснюється контроль точності ТС технологічної операції.

Вибірки здійснюються з декількох партій деталей, отриманих у результаті різноманітної обробки однойменних деталей за різних налаштуваннях на декількох одиницях технологічного обладнання, що виконують однакову операцію.

У даному випадку на графік наносять декілька реалізацій випадкового процесу зміни значень контрольованого параметра  $x(t)$ , отриманих на декількох одиницях технологічного обладнання, що виконують цю операцію.

Під час побудови графіків за одну реалізацію слід брати значення контрольованого параметра, отримані за постійних умов обробки (одна партія, одне настроювання, один інструмент тощо).

#### *1.2.2.2 Метод миттєвих вибірок*

Визначення показників точності ТС проводяться шляхом добору миттєвих вибірок з потоку продукції, яка виготовляється або ремонтується.

Показники точності ТС технологічних операцій, у загальному випадку, отримують за даними об'єднаної вибірки, що складається з серії миттєвих вибірок, взятих через певні інтервали часу виготовлення партії встановленого обсягу за різних рівнів факторів, які впливають на точнісні характеристики ТС.

При цьому, залежно від цілей перевірки, за партію установленого обсягу приймають:

- партію деталей, оброблених за одного виду налаштування на одній одиниці технологічного обладнання;
- партію деталей, оброблених за декількох видів налаштування на одній одиниці технологічного обладнання;
- партію деталей, оброблених за декількох видів налаштування на декількох одиницях технологічного обладнання, що виконують однакову операцію.

Коефіцієнт точності ТС

$$K_T = \frac{\omega}{T}.$$

При цьому величину  $\omega$  обчислюють за формулою:

$$\omega = x_{\max} - x_{\min},$$

де  $x_{\max}$ ,  $x_{\min}$  – максимальне та мінімальне значення контрольованого параметра в об'єднаній вибірці.

#### *1.2.2.3 Метод приведених відхилень*

Контроль точності ТС за альтернативною ознакою методом приведених відхилень здійснюється розрахунком приведених відхилень (під якими розуміється відхилення контрольованого параметра відносно його номінального значення, виражене у відносних одиницях) та перевіркою відповідності їх необхідним значенням.

Даний метод застосовують в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва, коли кількість однойменних деталей, що обробляються, менше обсягу, необхідного для визначення показника точності ТС розрахунковими методами.

Розрахунок приведених відхилень провадиться за вибірками. В одну вибірку повинні включатися деталі, що характеризуються конструктивною подібністю, спільністю технологічного процесу обробки (методами обробки, технологічним обладнанням).

й оснащенням, що застосовуються, матеріалом заготовок тощо) і що відрізняються номінальними значеннями контрольованого параметра (розміру).

Відхилення розмірів вимірюваних деталей, які об'єднані в одну вибірку, приводять до єдиного масштабу обчисленням приведених відхилень.

Приведені відхилення ( $\Delta_{npi}$ ) обчислюють за формулами:

– у разі розрахунку відносного нижнього граничного відхилення  $\Delta_{ni}$  (рис. 1.3), що відповідає даному номінальному розміру:

$$\Delta_{npi} = \frac{\Delta_{di} - \Delta_{ni}}{T_i}, \quad (1.4)$$

де  $\Delta_{npi}$  – наведене відхилення розміру  $i$ -ї деталі;  $\Delta_{di}$  – дійсне відхилення розміру  $i$ -ї деталі;  $\Delta_{ni}$  – нижнє граничне відхилення розміру  $i$ -ї деталі;  $T_i$  – допуск на розмір  $i$ -ї деталі;

– у разі розрахунку відносного верхнього відхилення  $\Delta_{vi}$ , що відповідає даному номінальному розміру

$$\Delta_{npi} = \frac{\Delta_{vi} - \Delta_{di}}{T_i}; \quad (1.5)$$

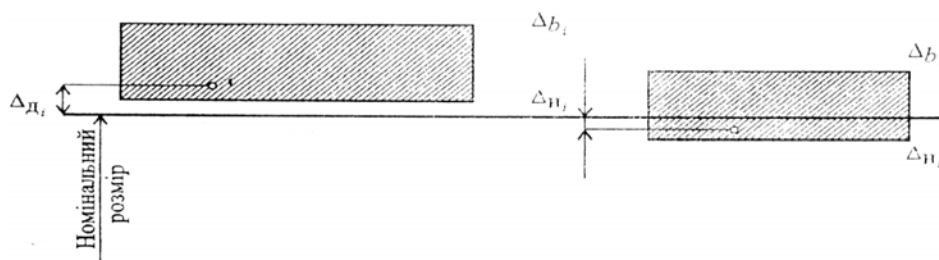


Рис. 1.3 – Відхилення розмірів від номіналу

– у разі розрахунку відносно координати середини поля допуску  $\Delta_{0i}$ , що відповідає даному номінальному розміру:

$$\Delta_{npi} = \frac{2(\Delta_{di} - \Delta_{0i})}{T_i}. \quad (1.6)$$

Приведені відхилення для параметрів форми та розташування поверхонь деталей, об'єднаних в одну вибірку, обчислюються за формулою:

$$\Delta_{npi} = \frac{\Delta_{di}}{T_{fi}}, \quad (1.7)$$

де  $T_{fi}$  – допуск на параметр форми або розташування поверхонь  $i$ -ї деталі.

Точність ТС технологічної операції вважається задовільною у випадку виконання однієї з наступних умов:

– якщо наведене відхилення розраховано за формулами (1.4) – (1.6)

$$0 \leq \Delta_{npi} \leq 1;$$

– якщо наведене відхилення розраховано за формулою (1.7)

$$-1 \leq \Delta_{npi} \leq 1.$$

### ***Запитання та завдання для самоперевірки***

1. За допомогою яких методів можна оцінити надійність ТС за параметрами продуктивності? Поясніть зміст кожного з них.
2. Які вимоги висуваються до методів оцінки одиничних і комплексних показників надійності ТС?
3. Назвіть одиничні показники надійності.
4. Які розрахункові співвідношення використовуються для визначення значень одиничних показників надійності функціонування ТС за параметрами продуктивності?
5. Назвіть номенклатуру комплексних показників надійності ТС.
6. Які методи розрахунку використовуються для отримання значень комплексних показників?

### ***1.2.3 Приклади розв'язання задач***

#### ***Задача 1***

Зробити контроль точності ТС технологічної операції методом наведених відхилень.

*Вихідні дані.* В результаті вимірювання розмірів фланців діаметром 450Н9 і діаметром 350Н9 отримано вісім значень:

$x_1 = 460,03$  мм;  $x_2 = 460,06$  мм;  $x_3 = 460,09$  мм;  $x_4 = 460,12$  мм;

$y_1 = 350,02$  мм;  $y_2 = 350,05$  мм;  $y_3 = 350,06$  мм;  $y_4 = 350,10$  мм.

На рис. 1.4 показано розташування відхилень обмірюваних розмірів в межах полів допусків.

#### ***Розв'язання***

Визначимо наведені відхилення за формулою (1.4):

– для фланця діаметром 460Н9:

$$\begin{aligned}\Delta_{np1}^{x_1} &= \frac{30}{155} = 0,19; & \Delta_{np2}^{x_2} &= \frac{60}{155} = 0,38; \\ \Delta_{np3}^{x_3} &= \frac{90}{155} = 0,58; & \Delta_{np4}^{x_4} &= \frac{120}{155} = 0,77.\end{aligned}$$

– для фланця діаметром 350Н9:

$$\begin{aligned}\Delta_{np1}^{y_1} &= \frac{20}{140} = 0,14; & \Delta_{np2}^{y_2} &= \frac{50}{140} = 0,35; \\ \Delta_{np3}^{y_3} &= \frac{60}{140} = 0,42; & \Delta_{np4}^{y_4} &= \frac{100}{140} = 0,71.\end{aligned}$$

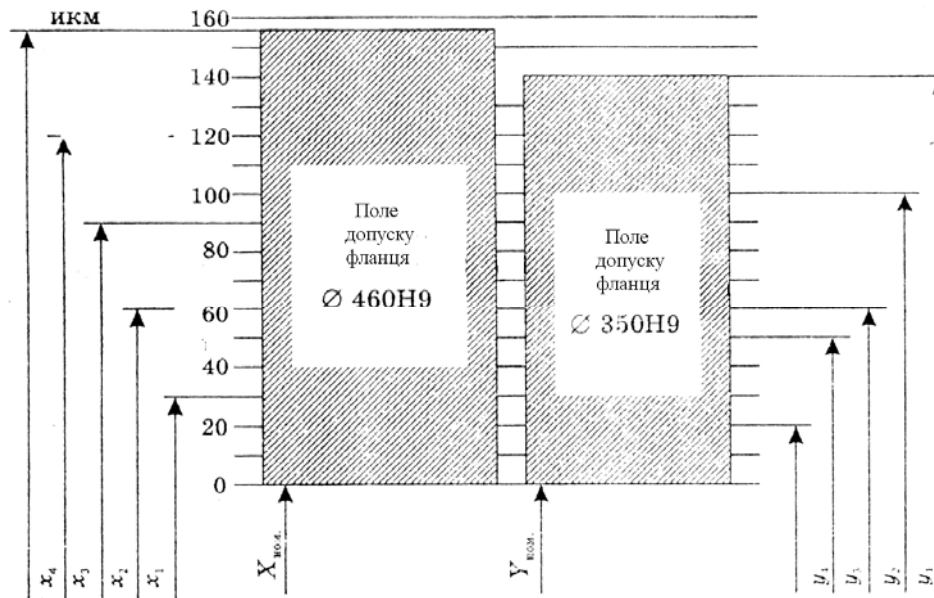


Рис. 1.4 – Розташування відхилень обмірювальних розмірів у межах полів допусків

Оскільки розраховані наведені значення задовольняють умову (1.4), точність ТС слід вважати задовільною.

### Задача 2

Визначити коефіцієнт точності ТС операції обробки корпусної заготовки, закріпленої в пристрої на столі вертикально-фрезерного верстака, торцевою фрезою, установленою в шпинделі (за допомогою оправки).

*Вихідні дані.*

Відповідно до схеми фрезерування сумарна похибка контрольованого параметра включає наступні елементарні похибки:

- геометричну похибку верстата  $\Delta_1=30$  мкм;
- похибку базування  $\Delta_2=0$  (внаслідок збігу вимірювальної та установної бази);
- похибку закріплення  $\Delta_3=20$  мкм;
- похибку виготовлення пристрою  $\Delta_4=20$  мкм;
- похибку виготовлення інструмента  $\Delta_5=0$  (припускаємо, що настроювання на розмір ведуть на найбільш виступаючому зубі фрези, і, як наслідок, биття зубів не впливає на контрольований параметр);
- похибку настроювання фрези на розмір  $\Delta_6=40$  мкм;
- похибку, пов'язану з розмірним спрацюванням інструмента  $\Delta_7=0$  (вважаємо, що її можна компенсувати піднастроюванням фрези);
- похибку вимірювань  $\Delta_8=90$  мкм;
- похибку, викликану віджиманням фрези від заготовок під дією сил різання  $\Delta_9=30$  мкм.

Допуск на контрольований параметр  $T$ , що контролюється, дорівнює 200 мкм.

*Розв'язання*

Визначимо величину сумарної похибки контрольованого параметра  $\delta_\Sigma$ .

При цьому значення коефіцієнтів  $\lambda_1, \dots, \lambda_9$  приймаємо рівним 0,111, вва-

жаючи, що умови обробки заготовки такі, що розподіл елементарних похибок буде близьким до закону Гауса.

Приймаємо ризик  $P = 1 \%$  та по таблиці 1.33 знаходимо значення  $K = 2,57$ .

Визначаємо шукану величину  $\delta_\Sigma$  за формулою:

$$\delta_\Sigma = 2,57 \sqrt{0,111 \cdot 30^2 + 0,111 \cdot 20^2 + 0,111 \cdot 40^2 + 0,111 \cdot 90^2 + 0,111 \cdot 30^2} = 958 \text{ мкм.}$$

Визначимо коефіцієнт точності:

$$K_T = \frac{\delta_\Sigma}{T} = 90/200 = 0,47.$$

#### 1.2.4 Задачі для самостійного розв'язку

##### Задача 1

Визначити коефіцієнт точності ТС свердлувальної операції за даними вибіркового обстеження 12 реалізацій, наведеними в таблиці 1.33, та для допуску  $T = 20$  мкм.

##### Задача 2

Визначити коефіцієнт точності ТС складальної операції за даними вибіркового обстеження 11 реалізацій, наведеними в таблиці 1.34 та для допуску  $T = 40$  мкм.

Таблиця 1.33 – Експериментальні значення

$x(t)$	$t$											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x_1(t)$	9,8	9,9	9,8	9,8	9,6	10,0	10,0	9,9	9,8	10,0	9,9	10,0
$x_2(t)$	9,7	9,8	9,8	10,0	9,9	10,0	10,1	10,1	10,0	9,9	9,8	9,6
$x_3(t)$	9,9	9,7	9,9	10,0	9,9	10,0	10,1	10,0	10,1	10,1	9,8	9,7
$x_4(t)$	9,9	9,7	9,6	10,0	10,0	9,9	9,9	10,0	9,9	10,1	9,7	9,6

Таблиця 1.34 – Експериментальні значення

$x(t)$	$t$										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$x_1(t)$	12	13	12	10	12	10	8	8	7	6	4
$x_2(t)$	14	12	12	10	8	8	8	7	6	5	1
$x_3(t)$	18	12	10	8	6	6	6	6	5	4	8
$x_4(t)$	12	9	8	6	4	4	7	5	4	3	4

## 2. ТЕХНІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ТА РЕМОНТУ ВИРОБІВ ГО і ТС

### 2.1 Види робіт з технічної підготовки виробництва та ремонту

#### 2.1.1 Визначення показників технічної підготовки виробництва та ремонту

Технічна підготовка виробництва (ТПВ) – системно організований керований процес.

Метою ТПВ на етапі освоєння є забезпечення повної технічної готовності підприємства і його виробничих підрозділів до освоєння випуску нових виробів високої якості в установлені директивні строки за ефективного використання обладнання, оснащення, виробничих площ, трудових, паливно-енергетичних, матеріальних та інших ресурсів.

Під повною технічною готовністю слід розуміти наявність на підприємстві, у його підрозділах комплексу конструкторсько-технологічної документації на усі освоювані види виробів, а також наявність необхідного технологічного обладнання, в тому числі контрольного та випробувального, інструменту та засобів контролю, засобів механізації та автоматизації виробничих процесів, у тому числі міжопераційні транспортні засоби, засоби переміщення та складування нової продукції, що забезпечують випуск нових виробів у необхідній кількості, в задані строки та за мінімально можливих витрат.

Для загальної оцінки технічної підготовки підприємства в цілому може бути використаний інтегральний показник, що визначається як середньозважена величина значень часткових коефіцієнтів (таблиці 2.1):

$$K_{mг} = \frac{\sum K_i \cdot m_i}{\sum m_i};$$

де  $K_i$  – часткові коефіцієнти технічної готовності;  $m_i$  – вагомість  $i$ -го показника.

#### *Запитання та завдання для самоперевірки*

1. Що розуміють під технологічною підготовкою виробництва?
2. Які завдання розв'язують під час організації ТПВ?
3. Назвіть функції ТПВ та їхній зміст.
4. Які види робіт входять до технічної підготовки виробництва?

#### 2.1.2 Приклади розв'язання задач

##### *Задача 1*

Необхідно визначити рівень технічної готовності виробництва до випуску нового виробу ГО і ТС.

*Вихідні дані* для оцінки часткових показників та інтегрального показника технічної готовності виробництва до випуску нового виробу наведені в таблиці 2.2.

##### *Розв'язання*

Використовуючи формули таблиці 2.1, розрахуємо часткові коефіцієнти готовності.



Таблиця 2.1 – Співвідношення для розрахунку коефіцієнтів технічної готовності виробництва

Показник	Формула	Позначення
Коефіцієнт готовності технічної документації (креслень, технологічних процесів тощо)	$K_{m\partial} = \frac{T_{\phi}}{T_n}$	$T_{\phi}$ – фактична кількість на момент початку освоєння нових виробів; $T_n$ – загальна кількість креслень, технологічних процесів, які передбачені за планом (розрахунком)
Коефіцієнт забезпеченості виробничими потужностями	$K_m = \frac{M_{\phi}}{M_p}$	$M_{\phi}$ – фактична (наявна) середня річна потужність підприємства (провідного цеху, обладнання); $M_p$ – розрахункова (необхідна) потужність підприємства (провідного цеху, обладнання) з урахуванням об'ємів випуску нового виробу
Коефіцієнт оснащення нового виробу необхідним технологічним обладнанням, енергетичними установками, транспортними засобами	$K_{об} = \frac{C_{\phi}}{C_n}$	$C_{\phi}$ – фактична наявність даного типу обладнання, транспортних засобів тощо; $C_n$ – необхідна кількість даного типу обладнання, що забезпечує випуск нового виробу
Коефіцієнт готовності технологічного оснащення (штампів, пристосувань, прес-форм тощо) для нового виробу	$K_{oc} = \frac{O_{\phi}}{O_n}$	$O_{\phi}$ – фактична забезпеченість операцій технологічним оснащенням; $O_n$ – забезпеченість інструментом для виробництва на момент початку запланованого виготовлення нових виробів
Коефіцієнт забезпеченості виробництва нового виробу інструментом загального і спеціального призначення	$K_n = \frac{P_{\phi}}{P_n}$	$P_{\phi}$ – фактична забезпеченість виробництва інструментів на момент початку виготовлення нових виробів $P_n$ – забезпеченість інструментами для запланованого виробництва (нормативна)

Готовність конструкторської документації:

$$K_{к\partial_1} = \frac{T_{\phi_1}}{T_{n_1}}; \quad K_{к\partial_1} = \frac{450}{500} = 0,9.$$

Готовність технологічної документації:

$$K_{m\partial_2} = \frac{T_{\phi_2}}{T_{n_2}}; \quad K_{m\partial_2} = \frac{200}{350} = 0,57.$$

Готовність технологічного оснащення:

а) штампи

$$K_{oc_1} = \frac{O_{\phi_1}}{O_{n_1}}; \quad K_{oc_1} = \frac{91}{100} = 0,91;$$

б) прес-форми

$$K_{oc_2} = \frac{O_{\phi_2}}{O_{n_2}}; \quad K_{oc_2} = \frac{23}{128} = 0,18;$$

в) кондуктори

$$K_{oc_3} = \frac{O_{\phi_3}}{O_{n_3}}; \quad K_{oc_3} = \frac{27}{50} = 0,54;$$

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для аналізу виробу ГО і ТС

Показник	Об'єм випуску нового виробу										Коефіцієнт вагомості
	за планом (норматив)					фактичний на дату освоєння					
	Варіант										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Забезпеченість конструкторською документацією, найменувань	500	520	550	480	510	450	460	440	470	430	0,10
Забезпеченість технологічною документацією, найменувань	350	370	340	330	360	200	230	190	220	200	0,10
Забезпеченість технологічним оснащенням, всього	387	365	390	395	382	230	240	228	235	250	0,30
У тому числі:											
штампи, комплектів	100	95	102	105	103	91	95	90	87	101	0,40
прес-форми, комплектів	128	126	120	128	100	26	30	26	22	32	0,40
кондуктори, найменувань	50	50	55	56	52	27	29	25	25	30	0,05
зварювальні пристрої, найменувань	25	22	25	30	20	19	20	18	21	24	0,05
складальне пристрої, найменувань	40	40	42	45	50	30	32	28	29	35	0,05
Інше оснащення, найменувань	44	52	26	29	57	40	34	44	61	28	0,05
Забезпеченість спеціалізованим інструментом, найменувань	35	39	36	30	39	28	30	28	26	32	0,30
Забезпеченість обладнанням, всього	23	20	24	29	21	14	16	12	17	20	0,20
У тому числі:											
верстати з ЧПК, найменувань	4	4	5	8	6	2	9	11	9	7	0,40
робототехнічні системи, найменувань	3	6	11	8	10	6	10	8	14	12	0,50
верстати універсальні, найменувань	11	14	10	6	12	6	12	12	16	11	0,10

г) зварювальні пристрої

$$K_{oc_4} = \frac{O_{\phi_4}}{O_{n_4}}; \quad K_{oc_4} = \frac{19}{25} = 0,76;$$

д) складальні пристрої

$$K_{oc_5} = \frac{O_{\phi_5}}{O_{n_5}}; \quad K_{oc_5} = \frac{30}{40} = 0,75;$$

е) інші види оснащення

$$K_{oc_6} = \frac{O_{\phi_6}}{O_{n_6}}; \quad K_{oc_6} = \frac{40}{44} = 0,90.$$

У цілому готовність за технологічним оснащення складає:

$$K_{oc} = \frac{\sum K_{oc_i}}{\sum m_i};$$

$$K_{oc} = 0,91 \cdot 0,4 + 0,18 \cdot 0,4 + 0,54 \cdot 0,05 + 0,76 \cdot 0,05 + 0,75 \cdot 0,05 + 0,90 \cdot 0,05 = 0,54.$$

Забезпеченість спеціальним інструментом

$$K_n = \frac{P_\phi}{P_n}; \quad K_n = \frac{28}{35} = 0,80.$$

Забезпечення технологічним оснащенням:

а) обладнання з ЧПК

$$K_{o\delta_1} = \frac{C_{\phi_1}}{C_{n_1}}; \quad K_{o\delta_1} = \frac{2}{4} = 0,5;$$

б) складальні робототехнологічні комплекси

$$K_{o\delta_2} = \frac{C_{\phi_2}}{C_{n_2}}; \quad K_{o\delta_2} = \frac{6}{8} = 0,75;$$

в) універсальне обладнання

$$K_{o\delta_3} = \frac{C_{\phi_3}}{C_{n_3}}; \quad K_{o\delta_3} = \frac{6}{11} = 0,54.$$

У цілому коефіцієнт забезпеченості технологічним обладнанням:

$$K_{o\delta} = \frac{\sum K_{o\delta_i} \cdot m_i}{\sum m_i};$$

$$K_{o\delta} = 0,5 \cdot 0,4 + 0,75 \cdot 0,5 + 0,54 \cdot 0,1 = 0,62.$$

Враховуючи значення вагомості кожного часткового показника (таблиці 2.2), розрахуємо інтегральний показник технологічної готовності виробництва до випуску нового виробу як середньозважену величину

$$K_{m_2} = \frac{\sum K_{m_i} \cdot m_i}{\sum m_i};$$

$$K_{m_2} = 0,9 \cdot 0,1 + 0,57 \cdot 0,1 + 0,54 \cdot 0,3 + 0,8 \cdot 0,3 + 0,62 \cdot 0,2 = 0,673.$$

Галузевий рівень технічної готовності підприємства до освоєння виробництва нових виробів не перевищує 0,4-0,6.

Порівняння отриманого значення  $K_{m_2}$  з галузевими нормами показує, що воно незначно перевищує їх. Отже, технічна підготовка виробництва нового виробу за заданим варіантом вихідних даних задовільна.

### **2.1.3 Задачі для самостійного розв'язання**

Визначити рівень технологічної готовності виробництва за вихідними даними, наведеними в таблиці 2.2.

### 3. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБІВ ГО і ТС

#### 3.1 Забезпечення точності операцій складання

##### 3.1.1 Розрахунок точності складання вихідних параметрів

У виробництві та під час ремонту виробів ГО і ТС застосовуються наступні методи забезпечення заданої точності вихідних параметрів функціональних вузлів: повної взаємозамінності, неповної взаємозамінності, групової взаємозамінності, підгонки та регулювання.

Варіант складального процесу обирають шляхом порівняння результатів точнісного аналізу вихідних параметрів (у рамках загальної теорії точності) за відомої точності параметрів елементів і похибки, що вноситься в результаті складально-монтажних операцій, із припустимими значеннями точності вихідних параметрів та наступним логічним аналізом результатів цього порівняння. У результаті розв'язання задачі отримаємо рекомендації з вибору оптимального варіанта, складання (повної та неповної взаємозамінності, групової взаємозамінності, підгонки або регулювання). Математична модель вирішення такої задачі подається у вигляді системи рівнянь і нерівностей. Відносно синтезу складання функціонального вузла модель має вигляд:

$$\sigma_{n.в.}^2 = \sigma_{icc}^2 \sum_{j=1}^n A_{ij}^2 \sigma_j^2 + 2 \sum_{j>U}^n \rho_{iU} A_{ij} A_{iu} \sigma_j \sigma_u ; \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} i=1, m; \quad j=1, n; \\ \sigma_{idod} \geq \sigma_{in.в.}; \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\sigma_{idod} \geq \frac{1}{k_{\Sigma}} \sigma_{in.в.}, \quad (3.3)$$

де  $\sigma_{in.в.}$  – середньоквадратичне відхилення  $i$ -го вихідного параметра, що утворюється за умовами повної взаємозамінності;  $\sigma_{icc}$  – середньоквадратичне відхилення  $i$ -го вихідного параметра, що утворюється у результаті впливу складального процесу;  $A_{ij}$  – коефіцієнт впливу  $i$ -го параметра елемента на  $j$ -й вихідний параметр вузла;  $A_{iu}$  – коефіцієнт впливу  $i$ -го параметра елемента на  $u$ -й вихідний параметр вузла;  $\sigma_j$  – середньоквадратичне відхилення  $j$ -го параметра елемента;  $\rho_{iU}$  – коефіцієнт кореляції між параметрами багатомірних елементів;  $n$  – кількість параметрів елементів, з яких складається вузол;  $m$  – кількість вихідних параметрів вузла;  $\sigma_{idod}$  – допустиме середньоквадратичне відхилення вихідного параметра;  $k_{\Sigma}$  – коефіцієнт ризику.

Група (3.1), що включає  $m$  рівнянь, відображає функціональні взаємозв'язки між вихідними параметрами вузла та параметрами елементів, з яких він складається, урахуванням похибок, що вносяться складальним процесом.

Група нерівностей (3.2) визначає умову виконання складального процесу методом повної взаємозамінності.

Група нерівностей (3.3) умовно визначає виконання складального процесу методом повної взаємозамінності, де коефіцієнт ризику  $k_{\Sigma}$  визначає допустимий за критерієм собівартості відсоток браку. Невиконання умови (3.3) тягне за собою пере-

хід до методу групової взаємозамінності з попередньою селекцією заздалегідь обумовленої кількості елементів із зменшеною величиною  $\sigma_j$ . Якщо і в цьому випадку не вдається виконати  $\sigma_{\text{ідоо}}$ , необхідно перейти до методу підгонки або регулювання.

Рівняння вихідного параметра має вигляд

$$N_i = f(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_m) \quad (3.4)$$

як функція параметрів елементів  $x_j$  величин  $\sigma_{\text{іск}}$ ,  $\sigma_j$ ,  $\sigma_{\text{ідоо}}$ ,  $k_\Sigma$ ,  $\sigma_u$ ,  $l$  (число селектованих елементів), номінальних значень параметрів елементів  $x_{j0}$ .

Рівняння (3.4) використовується для визначення коефіцієнтів впливу  $A_{ij}$  методом часткових похідних та наступного формування рівняння похибки (3.1). Останнє можна здійснити також за статистичними даними запланованого експерименту або шляхом регресійно-кореляційного аналізу за даними пасивного експерименту.

Потім обчислюємо похибку параметра  $N_i$ . При цьому одночасно визначаються середньоквадратичне відхилення та максимальне відхилення  $\sigma_{\text{ін.в.}} = 3 \sigma_{\text{ін.в.}}$  за умови врахування законів розподілу всіх параметрів елементів та штучного приведення їх до нормального (за рівнем  $P = 0,9973$ ) введення коефіцієнтів відносного розсіювання  $k_j$ , що використовуються в теорії точності. У цьому випадку на підставі (3.1)

$$\sigma_{\text{ін.в.}}^2 = k_i^2 + \sigma_{\text{іск}}^2 + \sum_{j=1}^n A_{ij}^2 k_j^2 \sigma_j^2 + 2 \sum_{j>0}^n P_{ju} A_{ij} A_{iu} k_j k_u \sigma_j \sigma_u ; \quad (3.5)$$

$$\sigma_{\text{ін.в.}} = 3 \sigma_{\text{ін.в.}} \quad (3.6)$$

де  $k$  – коефіцієнт відносного розсіювання,  $k_i = \frac{\delta \sigma_i}{\Delta_i}$ ;  $\Delta_i$  – поле розсіювання

величини параметра  $N_i$  для  $p = 0,9973$ .

Під час вирішення задачі синтезу процесу складання послідовно перевіряють можливості застосування кожного з названих методів складання. Критерій можливості застосування методу повної взаємозамінності полягає у виконанні умови (3.2) під час переходу до величини  $\sigma_{\text{ін.в.}}$ :

$$\sigma_{\text{ін.в.}} \leq \sigma_{\text{ідоо}} \quad (3.7)$$

У разі виконання умови (3.7) оптимальним є метод повної взаємозамінності – тоді подальший аналіз не здійснюється, результати обчислення та порівняння надходять на вихід. Якщо умова (3.7) не виконується, необхідно зробити висновок про неможливість застосування методу повної взаємозамінності. Забезпечити необхідну точність вихідних параметрів можна в результаті селекції вхідних елементів для зменшення їх похибок, що є досить трудомісткою справою та збільшує собівартість, або в результаті відсотка браку виробів за точнісними характеристиками допустимих вихідних параметрів  $N_i$ . У більшості випадків, особливо в умовах великосерійного та масового виробництва, слід задіювати другий варіант і переходити до подальших розрахунків, аналізуючи можливість застосування методу неповної взаємозамінності. Відхилення  $\sigma_i$  вихідного параметра  $N_i$  повинно задовольняти умову (3.6). З урахуванням (3.4) та (3.5) отримаємо умову (3.7) для виконання складального процесу методом неповної взаємозамінності:

$$\delta_{in.в.} = \frac{1}{k_{\Sigma}} \delta_{in.в.} \leq \delta_{idod}. \quad (3.8)$$

Коефіцієнт ризику  $k_{\Sigma} > 1$  для методу неповної взаємозамінності обираємо на підставі допустимого відсотка ризику (браку) з таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Залежність відсотка ризику від  $k_{\Sigma}$

Відсоток ризику	0,5	1,0	2,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
$k_{\Sigma}$	1,05	1,11	1,21	1,30	1,33	1,36	1,40	1,44

У випадку виконання умови (3.8) за заданого  $k_{\Sigma}$  оптимальним є метод неповної взаємозамінності - тоді подальший розрахунок припиняється. Якщо умови не виконуються, аналізується можливість використання методу групової взаємозамінності, коли необхідно обрати групу елементів із найбільшими значеннями коефіцієнтів впливу  $A_{ij}$  та застосувати селекцію цих елементів, заздалегідь обумовивши при цьому межі зменшення відхилень параметрів елементів. У цьому випадку похибка вихідного параметру  $\delta_{ic}$  повинна задовольняти умову:

$$\delta_{ic} \leq \delta_{idod}. \quad (3.9)$$

Кількість селектованих елементів та їх допустимі відхилення визначаються вартісними обмеженнями.

У разі виконання умови (3.9) вирішення задачі завершується висновком про те, що оптимальним є метод групової взаємозамінності.

У випадку його невиконання необхідно перейти до методу підгонки та регулювання. Як елемент, за допомогою якого здійснюється компенсація похибки, використовується елемент із максимальним  $A_{ij}$ . Похибка цього елемента  $\delta_{ij}$  дорівнює нулю, що дозволяє зменшити відхилення вихідного параметра  $\delta_{ip}$ . Далі оцінюється величина компенсації відхилення елемента  $\delta_{ip}$  за умови  $\delta_{ip} \leq \delta_{idod}$ :

$$B = \delta_{in.в.} - \delta_{ip};$$

$$\delta_{ij} = \frac{B}{A_{ij}}.$$

Якщо

$$\delta_{ip} \leq \delta_{idod},$$

то обраний варіант методу підгонки та регулювання задовольнятиме вирішення задачі оптимального синтезу ТП складання.

Якщо величина  $\delta_{ij}$  є незначною, вона може бути скомпенсована у результаті операції під час складання (метод підгонки), якщо  $\delta_{ij}$  порівняно велика – вводиться додатковий елемент – компенсатор.

### **Запитання та завдання для самоперевірки**

1. Назвіть виробничі похибки.
2. Які методи аналізу точності ТП ви знаєте? Поясніть суть кожного.
3. Які причини виникнення виробничих похибок ви знаєте?
4. Як класифікуються виробничі похибки?
5. Як оцінюється точність ТП за допомогою точнісних діаграм?

## 3.2 Організаційні основи складання

### 3.2.1 Розрахунок техніко-економічних показників складання

Тип виробництва визначають з аналізу конструкції виробів, програми випуску та дійсного річного фонду робочого часу. Для певного типу виробництва обирають оптимальні методи складання, необхідне обладнання та оснащення. Тип виробництва встановлюють за допомогою коефіцієнта серійності

$$k_c = \frac{K_0}{n_p},$$

де  $k_0$  – кількість складальних операцій за технологічним процесом;  $n_p$  – кількість робочих місць, необхідних для виконання процесу складання

$$n_p = \frac{N \sum_{i=1}^{K_0} T_{um.i}}{60 \cdot k \cdot \Phi_0},$$

де  $N$  – річний обсяг випуску виробів, шт.;  $\sum_{i=1}^{K_0} T_{um.i}$  – трудомісткість складання виробу, хв.;  $T_{um.i}$  – норма штучного часу  $i$ -ї складальної операції, хв.;  $k$  – коефіцієнт виконання норм у процесі складання;  $\Phi_0$  – дійсний річний фонд часу, год;  $k_c \leq 1$  відповідає масовому виробництву,  $k_c > 1$  – серійному виробництву,  $k_c \gg 1$  – для невеликих програм та одиничного виробництва.

Тривалість виробничого циклу  $T_y$  – це час між запуском у виробництво та закінченням виготовлення партії виробів або одного виробу. Тривалість циклу залежить від сполучення операцій.

У разі послідовного сполучення операцій:

$$T_y = N \cdot T_y,$$

де  $N$  – кількість виробів в партії;  $T_y$  – час проходження всіх операцій одним апаратом.

У разі паралельного сполучення операцій кожен виріб переходить на наступну операцію, не очікуючи, доки всі інші вироби цієї партії пройдуть дану операцію, тоді:

$$T_y = T_y + (N-1) T_{um. \max},$$

де  $T_{um. \max}$  – норма часу найбільш трудомісткої операції.

У разі послідовно-паралельному способі сполучення операцій:

$$T_y = \sum_{i=1}^n t_{cm} + N \cdot T_{um.k} T,$$

де  $t_{cm}$  – зміщення у часі між початками двох операцій, що йдуть послідовно, хв.;  $T_{um.k}$  – норма часу кінцевої операції, хв.

Якщо тривалість попередньої операції більше наступної, то зсув між цими операціями:

$$t_{cm} = T_{um.i} - (N-1) T_{um.i+1}.$$

Якщо попередня операція менше наступної, то зміщення між операціями:

$$t_{cm} = T_{um.i}.$$

Операції технологічного процесу бажано проектувати рівними або кратними одна одній за тривалістю. Це дозволяє легко організовувати потокове виробництво. Розрахунки поточкових та конвеєрних ліній полягають у визначенні їхніх основних параметрів та виконуються однаково. У ході розрахунку необхідно знайти:  $\tau$  – такт потокової лінії, хв.;  $T_{\text{л}}$  – темп потокової лінії, шт./год.;  $t_{\text{л}}$  – ритм потокової лінії, хв., що розраховують лише в тому випадку, якщо деталі передаються транспортними партіями;  $n_p$  – число робочих місць на лінії;  $L$  – довжину потокової лінії або конвеєра, м;  $B_{\text{л}}$  – ширину стрічки транспортеру, см;  $v_k$  – швидкість руху конвеєра, м/хв.

Такт потокової лінії

$$\tau = \frac{\Phi_{\text{см}}}{\Pi_{\text{сз}}},$$

де  $\Phi_{\text{см}}$  – фонд робочого часу за зміну, хв.:

$$\Phi_{\text{см}} = 492 - T_{\text{об}} - T_{\text{відн}},$$

де  $T_{\text{об}}$  – час організаційно-технічного обслуговування лінії, хв.;  $T_{\text{відн}}$  – час на відпочинок, хв.;  $T_{\text{об}}$  і  $T_{\text{відн}}$  у сумі складають 7–10 % від оперативного часу, що дорівнює

$$T_{\text{он}} = T_{\text{o}} + T_{\text{д}},$$

де  $T_{\text{o}}$  – основний технологічний час;  $T_{\text{д}}$  – допоміжний час, що не перекривається;  $\Pi_{\text{зз}}$  – змінна програма запуску, шт.:

$$\Pi_{\text{зз}} = \frac{100 \cdot \Pi_{\text{з}}}{100 - p},$$

де  $\Pi_{\text{з}}$  – змінне планове завдання випуску виробів, шт.;  $p$  – відсоток допустимого браку.

Темп потокової лінії:

$$T_{\text{л}} = \frac{60 - (T_{\text{об}} + T_{\text{відн}})/\tau}{\tau},$$

де  $r$  – кількість годин в зміні ( $r = 8,2$ ).

Ритм потокової лінії:

$$t_{\text{л}} = \frac{T_{\text{зм}} \cdot S}{\Pi_{\text{зз}}},$$

де  $T_{\text{зм}}$  – тривалість зміни, хв.;  $S$  – кількість виробів, що складаються, в транспортній партії:

$$n_p = \sum_{i=1}^n \frac{T_{\text{ум.і}}}{\tau}.$$

У разі розташування робочих місць в лінію з однієї сторони стрічки транспортеру:

$$L = l_{\text{num}} \cdot n_p \text{ при } l_{\text{num}} \geq 1,2 \text{ м.}$$

При розташуванні робочих місць з двох сторін стрічки транспортеру в шаховому порядку:

$$L = l_{\text{num}} \left( \frac{n_p}{2} + 1 \right) \text{ за } l_{\text{num}} \geq 0,8 \text{ м,}$$



де  $l_{um}$  – питома довжина одного робочого місця за напрямком руху стрічки транспортеру, м.

$$v_k = \frac{l_{um}}{\tau}.$$

Перервно-потокові (прямоточні) лінії характеризуються відсутністю точної синхронності операцій. Ритмічність такої лінії полягає в тому, що через певні проміжки часу на кожній операції оброблюється точно визначена, однакова кількість виробів за різного завантаження робочих місць. Отже, під ритмом роботи  $t_n$  прямоточної лінії розуміють інтервал часу (кратний тривалості зміни), протягом якого на лінії формується заготовка заданої величини. Внаслідок різниці роботи за операціями, що мають різну продуктивність, створюються міжопераційні оперативні запаси.

Повне використання фонду робочого часу досягається впровадженням багатостанкового обслуговування та суміщення обслуговування операцій. Для цього складають графік обслуговування, що визначає періоди роботи обладнання та робітників, порядок і час переходів робітників, які обслуговують декілька операцій протягом зміни. Час роботи робітника на одному робочому місці – це період комплектування запасу:

$$T_x = t_n \cdot k_3,$$

де  $k_3$  – коефіцієнт завантаження робітника на одному робочому місці на даній операції;

$$k_3 = \frac{T_{um.}}{\tau}.$$

Упродовж періоду комплектування запасу зберігається однаковий план роботи на суміжних операціях, а величина міжопераційного запасу змінюється від нуля до максимального абсолютного значення. Стала величина запасу відноситься до кінця періоду  $T_x$ , а його від'ємна величина – до початку періоду  $T_x$ .

Величину міжопераційного зворотного заділу  $z_{max}$  визначають з виразу

$$z_{max} = \left( \frac{n_{p_i}}{T_{um.i}} - \frac{n_{p_{i+1}}}{T_{um.i+1}} \right) \cdot T_x,$$

де  $n_{p_i}$  та  $n_{p_{i+1}}$  – кількість робочих місць на кожній з двох суміжних операцій, котрі здійснюються протягом періоду  $T_x$ .

Норма виробітку розраховується для різних проміжків технологічного часу (години, зміни тощо). Залежить від типу виробництва.

У серійному виробництві змінна норма виробітку:

$$H_{зм} = \frac{T_{зм} - T_{пз}}{T_{um.}},$$

де  $T_{пз}$  – підготовчо-заклучний час, що витрачається на підготовчі дії перед початком складання та на заключному етапі, після складання партії виробів (ознайомлення з технологічним процесом, транспортування деталей та складальних одиниць, налагодження обладнання тощо).

У масовому виробництві за наявності наладчика та у випадку подання деталей та складальних одиниць і матеріалів на робоче місце змінна норма виробітку визначається виразом:

$$H_{зм} = \frac{T_{зм}}{T_{шт.}}$$

У випадку складання на конвеєрних та потокових лініях вона визначається виразом:

$$H_{зм} = \frac{T_{зм} - (T_{об} + T_{відн})}{T_o + T_v}$$

Економічний розрахунок проводиться у разі: вибору найбільш ефективного варіанту технологічного процесу; виборі спеціального оснащення; обґрунтування технологічності виробів ГО і ТС.

Вибір технологічного процесу з низки прийнятних варіантів здійснюють визначення критичної кількості пристроїв чи шляхом порівнянням приведеної технологічної собівартості.

Технологічна собівартість виробів ГО і ТС  $C_m$  – це частка собівартості, що включає витрати, що можуть суттєво змінюватися у разі зміни технологічного процесу:

$$C_m = M + З + П + E = P + \frac{B}{N_p},$$

де  $M$  – витрати на матеріали, що використовуються в з'єднаннях;  $З$  – зарплата робітників, що працюють на виробництві;  $E$  – витрати, пов'язані з експлуатацією обладнання та універсальних пристроїв;  $P=M+З+E$  – річні витрати на складання одного виробу;  $П = \frac{B}{N_p}$  – річні витрати з експлуатації, амортизації та налагодження спеціального оснащення, віднесені до одного складаного виробу.

Критичну кількість виробів, за якою собівартість двох порівняних варіантів однакова, визначають на підставі рівності  $C_{m1}=C_{m2}$ :

$$N_{кр} = \frac{P_2 - P_1}{B_1 - B_2}.$$

### **Запитання та завдання для самоперевірки**

1. Дайте пояснення поняттю загального складання виробів ГО і ТС.
2. У чому полягають конструктивно-технологічні особливості загального складання виробів ГО і ТС?
3. Від чого залежить точність позиціювання?

### **3.2.2 Приклади розв'язання задач**

#### **Задача 1**

Визначити час виготовлення партії виробів ГО і ТС у кількості 1000 шт. за різних сполучень операцій, якщо норми штучного часу на окремих операціях складають:

$$T_{шт. 1} = 2 \text{ хв.}; T_{шт. 2} = 6 \text{ хв.}; T_{шт. 3} = 4 \text{ хв.}; T_{шт. 4} = 4 \text{ хв.}; T_{шт. 5} = 3 \text{ хв.}; \\ T_{шт. 6} = 2 \text{ хв.}; T_{шт. 7} = 5 \text{ хв.}$$

### Розв'язання

Час проходження усіх операцій одним виробом:

$$T_y = \sum_{i=1}^n T_{ум. i} = 26 \text{ хв.}$$

У разі послідовного сполучення складальних операцій:

$$T_y = N \cdot T_y, \\ T_y = 1000 \cdot 26 = 26000 \text{ хв.} = 433 \text{ год. } 2 \text{ хв.}$$

У разі послідовного сполучення складальних операцій:

$$T_y = 26 + 6 \cdot (1000 - 1) = 6020 \text{ хв.} = 100 \text{ год. } 2 \text{ хв.}$$

У разі паралельного сполучення складальних операцій визначаємо зміщення між початками суміжних операцій:

$$t_{зм 12} = T_{ум. 1} = 2 \text{ хв.}; t_{зм 23} = 6000 - 999 \cdot 4 = 2004 \text{ хв.}; t_{зм 34} = 0; \\ t_{зм 45} = 4000 - 999 \cdot 3 = 1003 \text{ хв.}; t_{зм 56} = 3000 - 999 \cdot 2 = 1002 \text{ хв.}; t_{зм 67} = T_{ум. 6} = 2 \text{ хв.} \\ T_y = (2 + 2004 + 1003 + 1002 + 2) + 5000 = 9013 \text{ хв.} = 150 \text{ год. } 13 \text{ хв.}$$

### Задача 2

Запірний клапан складають у результаті виконання семи складальних операцій, норми штучного часу яких становлять:

$$T_{ум. 1} = 2 \text{ хв.}; T_{ум. 2} = 6 \text{ хв.}; T_{ум. 3} = 4 \text{ хв.}; T_{ум. 4} = 4 \text{ хв.}; T_{ум. 5} = 3 \text{ хв.}; \\ T_{ум. 6} = 2 \text{ хв.}; T_{ум. 7} = 5 \text{ хв.}$$

Визначити, за якого способу організації процесу складання буде швидше виготовлена партія клапанів, що складається з 300 шт.

### Розв'язання

Порівняємо три варіанти організації процесу складання – паралельний, послідовно-паралельний та потоковий, зробивши припущення, що змінне завантаження у випадку потокового складання дорівнює 100 шт.  $T_y = 26 \text{ хв.}$

Визначимо скорочення витрат часу у разі паралельної організації складання порівняно з послідовно-паралельним методом складання:

$$\Delta T_1 = \sum_{i=1}^n t_{смij} + T_k \cdot N - T_y - T_{\max} \cdot (N - 1) = \sum_{i=1}^k t_{смij} + N \cdot (T_{\max} - T_k) - T_y + T_{\max}.$$

Аналогічно до попередньої задачі, визначаємо зміщення між початками суміжних операцій для паралельно-послідовного сполучення операцій:

$$t_{зм 12} = 2 \text{ хв.}; t_{зм 23} = 6 \cdot 300 - 299 \cdot 4 = 604 \text{ хв.}; t_{зм 34} = 0; \\ t_{зм 45} = 4 \cdot 300 - 299 \cdot 3 = 303 \text{ хв.}; t_{зм 56} = 3 \cdot 300 - 299 \cdot 2 = 302 \text{ хв.}; t_{зм 67} = 2 \text{ хв.}$$

Звідси

$$\sum_{i=1}^6 t_{смij} = 2 + 604 + 03 + 302 + 2 = 1113 \text{ хв.},$$

тоді

$$\Delta T_1 = 1113 - 300 \cdot (6 - 5) - 26 - 6 = 793 \text{ хв.} = 13 \text{ год. } 13 \text{ хв.}$$

Тривалість виробничого циклу у разі потокової організації складання визначається заміною  $T_{\max}$  на  $\tau$ . У цьому випадку необхідні додаткові дані, наприклад, змінна програма запуску  $\Pi_{зз}$ , змінний фонд робочого часу  $\Phi_{зм}$ , такт потокової лінії  $\tau$ .

Прийmemo, що  $\Pi_{33} = 94$  шт.;  $\Phi_{3m} = 470$  хв. Тоді визначимо  $\tau = 5$  хв./шт. Різниця між тривалостями виробничих циклів у разі паралельного та потокового способів складання виробів ГО і ТС становить:

$$\Delta T_2 = T_y + T_{\max} \cdot (N - 1) - T_y - \tau \cdot (N - 1) = (T_{\max} - \tau) \cdot (N - 1) = 299 \text{ хв.} \approx 5 \text{ год.}$$

### Задача 3

Час на виконання всіх складальних операцій на потоковій лінії складає 142 хв. Визначити параметри потокової лінії, якщо витрати на організаційно-технічне обслуговування складають  $T_{об} = 12$  хв., час на відпочинок  $T_{відп} = 8$  хв., змінне планове завдання  $\Pi_3 = 196$  шт., відсоток допустимого браку  $p = 2$  %. Габарити складаного запірного клапана  $160 \times 120 \times 80$  мм<sup>3</sup>.

#### Розв'язання

Визначаємо:

$$\begin{aligned} \Pi_{33} &= \frac{196 \cdot 100}{100 - p} = 200 \text{ шт.}; \\ \tau &= \frac{492 - 12 - 8}{200} = 2,35 \text{ хв./шт.}; \\ n_p &= \frac{142}{2} = 71 \text{ робоче місце.} \end{aligned}$$

Прийнявши, що робочі місця з двох сторін стрічки конвеєра розташовані в шаховому порядку, питома довжина робочого місця  $l_{num} = 120$  см та ширина стрічки транспортера  $B_n = 30$  см, визначимо:

$$\begin{aligned} L &= 120 \cdot \left( \frac{71}{2} + 1 \right) = 120 \cdot 36,5 = 4380 \text{ см} = 43 \text{ м } 80 \text{ см}; \\ T_n &= \frac{60 - (12 + 8)/8,2}{2,35} = 24 \text{ шт./год.} \end{aligned}$$

### Задача 4

Визначити величину міжопераційних оборотних запасів під час складання виробу на прямоточній лінії з нормами часу за операціями, наведеними в таблиці 3.2.

Змінна програма випуску – 92 шт. Робота в дві зміни.

Таблиця 3.2 – Трудомісткість операцій складання виробів

Номер операції	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_{шт.}, \text{ хв.}$	2,9	2,3	2,7	1,7	2,3	1,2	5,1	2,5

#### Розв'язання

Визначимо коефіцієнти запуску завантаження робітників на кожній операції:

$$\begin{aligned} k_{31} &= 2,9 / 5,2 = 0,56; k_{31} = k_{35} = 2,3 / 5,2 = 0,44; k_{33} = 2,7 / 5,2 = 0,52; \\ k_{36} &= 1,7 / 5,2 = 0,3; k_{34} = 1,2 / 5,2 = 0,23; k_{37} = 5,1 / 5,2 = 0,98. \end{aligned}$$

Аналіз коефіцієнтів завантаження свідчить про те, що для виконання семи операцій достатньо чотирьох робітників. У цьому випадку перший робітник

сполучає 1 і 2, другий – 3 і 8, третій – операції 4, 5 і 6, четвертий робітник повністю зайнятий на операції 7.

Під час розрахунку оборотних запасів встановлюємо, що ритм роботи лінії  $t_L$  має тривалість 240 хв. – половину зміни. Визначаємо період комплектації запасів на кожній операції:

$$T_{x1} = 240 \cdot 0,56 = 134 \text{ хв.}; T_{x2} = T_{x5} = 240 \cdot 0,44 = 106 \text{ хв.}; T_{x3} = 240 \cdot 0,52 = 125 \text{ хв.};$$

$$T_{x4} = 240 \cdot 0,33 = 80 \text{ хв.}; T_{x6} = 240 \cdot 0,23 = 55 \text{ хв.}; T_{x7} = 240 \text{ хв.}$$

Визначимо величини міжопераційних зворотних запасів:

$$z_{12} = 134 \cdot 1 / 2,9 - 134 \cdot 0 / 2,3 = 46 \text{ шт.};$$

$$z'_{12} = (0 / 2,9 - 1 / 2,3) \cdot 106 = -46 \text{ шт.}$$

Оскільки з початку зміни на другій операції протягом 134 хв. робота не виконувалась, то на третій операції до моменту пуску лінії повинен бути сформований запас, якого вистачило б на  $T_x = 125$  хв. роботи:

$$z_{23} = (0 / 2,9 - 1 / 2,7) \cdot 125 = -46 \text{ шт.}$$

Протягом періоду  $T_x = 134 - 125 = 9$  хв. складання на другій та третій операціях не проводиться,  $n_{p2} = n_{p3} = 0$  та  $z'_{23} = 0$ . Далі, працюючи протягом 106 хв. на другій операції, перший робітник створює запас:

$$z''_{23} = (1 / 2,3 - 0 / 2,7) \cdot 106 = 46 \text{ шт.}$$

Аналогічно,

$$z_{34} = (1 / 2,7 - 1 / 1,7) \cdot 80 = -17 \text{ шт.}; z'_{34} = (1 / 2,7 - 0 / 1,7) \cdot (125 - 80) = 17 \text{ шт.}$$

Починаючи зі 125-ї хвилини, складання на третій операції не здійснюється, та отриманий запас  $z'_{34} = 17$  шт. зберігається до початку другої половини зміни.

$$z_{45} = (1 / 1,7 - 0 / 2,3) \cdot 80 = 46 \text{ шт.}; z'_{45} = (0 / 1,7 - 1 / 1,3) \cdot 106 = -46 \text{ шт.}$$

Протягом 55 хв., починаючи з 186-ї хв., складання на четвертій і п'ятій операціях не здійснюється  $n_{p4} = n_{p5} = 0$  та  $z''_{45} = 0$  шт.

$$z_{56} = (1 / 2,3 - 0 / 1,2) \cdot 106 = 46 \text{ шт.}; z'_{56} = (0 / 2,3 - 1 / 1,2) \cdot 55 = -46 \text{ шт.};$$

$$z_{67} = (0 / 1,2 - 1 / 5,1) \cdot 186 = -36 \text{ шт.}; z'_{67} = (1 / 1,2 - 1 / 5,1) \cdot 55 = 36 \text{ шт.};$$

$$z_{78} = (1 / 5,1 - 0 / 2,5) \cdot 125 = 24 \text{ шт.}; z'_{78} = (1 / 5,1 - 1 / 2,5) \cdot 115 = -24 \text{ шт.}$$

### Задача 5

Визначити тривалість виробничого циклу складання одного вузла виробу ГО і ТС у цеху, якщо трудомісткість складальних операцій становить 10 год., трудомісткість контрольних операцій – 2 год., трудомісткість транспортних операцій – 3 год., час природних процесів, що передбачені технологією, – 20 год. Кількість операцій, що виконуються в даному цеху, – 11, поза цехом – 5. Час міжопераційного зберігання в цеху – доба, а поза цехом – дві доби. Роботи в дві зміни.

*Розв'язання*

$$T_y = \frac{10 + 2 + 3 + 20}{16,4} + 1 \cdot (11 - 1) + 2 \cdot 5 = 22,4 \text{ робочих днів.}$$

Переведення робочих днів у календарні здійснюється за допомогою коефіцієнта:

$$\xi = \frac{Д}{РД} = \frac{7}{5} = 1,4,$$

де Д – кількість календарних днів у тижні; РД – кількість робочих днів у тижні.

Тоді

$$T_{\text{ц}} = 1,4 \cdot 22,4 = 31,5 \text{ календарних днів.}$$

### Задача 6

Визначити середній час безвідмовної роботи автоматичної лінії (АЛ) складання виробів ГО і ТС, якщо середній час обслуговування й усунення відмов складає 320 с, позациклові втрати часу 3,2 с/шт., а циклова продуктивність складає 0,12 шт./с.

#### Розв'язання

Визначимо імовірність відмов АЛ на кожному робочому циклі

$$W_{\text{в}} = \frac{\sum t_n}{Q_{\text{сер}}},$$
$$W_{\text{в}} = \frac{3,2}{320} = 0,01.$$

Середнє напрацювання на відмову:

$$K_{\text{н}} = \frac{1}{W_{\text{в}}},$$
$$K_{\text{н}} = \frac{1}{0,01} = 100 \text{ циклів.}$$

Час робочого циклу складає:

$$T_{\text{р}} = \frac{1}{Q_{\text{н}}},$$
$$T_{\text{р}} = \frac{1}{0,12} = 8,33 \text{ с.}$$

Середній час безвідмовної роботи АЛ становить:

$$M_{\text{ср}} = K_{\text{н}} \cdot T_{\text{р}},$$
$$M_{\text{ср}} = 100 \cdot 8,33 = 833 \text{ с.}$$

### Задача 7

Виконати розрахунок організаційного-технічних параметрів розподіленого пластинчатого вертикально-замкненого конвеєра у випадку дворядного розташування робочих місць у шаховому порядку.

*Вихідні дані:* максимальне число робочих місць на лінії  $K_{\text{max}} = 40$ ; відстань між двома сусідніми робочими місцями з однієї сторони конвеєра  $l = 1,2$  м; довжина натяжної та приводної станцій,  $L' = 3,2$  м; діаметр натяжного барабану  $D = 0,6$  м; ритм  $r^T = 3$  хв.; шаг конвеєра  $d = 0,6$  м.

Визначити робочу довжину несучого органа конвеєра  $L_{\text{р}}$ , довжину конвеєра, швидкість руху тримального органа, розмір пластини конвеєра, число транспортних пристроїв.

### Розв'язання

Робоча довжина тримального органа конвеєра у випадку двохрядного розташування робочих місць у шаховому порядку розраховується за формулою:

$$L_p = \frac{(k_{\max} + 1) \cdot l}{2},$$

де  $k_{\max}$  – максимальна кількість робочих місць на лінії;  $l$  – відстань між двома сусідніми робочими місцями з однієї сторони конвеєра,

$$L_p = \frac{(40 + 1) \cdot 1,2}{2} = 24,6 \text{ м.}$$

Довжина конвеєра:

$$L_k = L_p + L',$$

де  $L'$  – довжина приводної та натяжної станцій.

$$L_k = 24,6 + 3,2 = 27,8 \text{ м.}$$

Повна довжина тримального органа:

$$L_n = 2 \cdot L_p + \pi \cdot d,$$
$$L_n = 2 \cdot 24,6 + 3,14 \cdot 0,6 = 51,084 \text{ м.}$$

Швидкість руху тримального органу безперервно рухомого конвеєра:

$$V = \frac{d}{r^T},$$

де  $r^T$  – постійний ритм роботи лінії,

$$V = \frac{0,6}{3} = 0,2 \text{ м/хв.}$$

Розмір пластини конвеєра:

– ширина

$$a = l_1 + 40,$$

де  $l_1$  – ширина виробу,  $l_1=32$  мм.

Тоді  $a = 72$  мм;

– довжина ( $b$ ) обирається на підставі умови, що між виробами була ціла кількість пластин, тобто за відстані між виробами 0,6 м та кількості пластин 36 її довжина 0,2 м (200 мм).

Число транспортних пристроїв:

$$Q = \frac{L_n}{l} Q = \frac{51,084}{1,2} = 42,5.$$

Приймаємо  $Q = 43$ .

### Задача 8

Визначити тип виробництва за допомогою коефіцієнта серійності за таких вихідних даних: програма випуску  $N=14800$  шт.; кількість операцій в ТП  $k_0 = 21$ ; норма штучного часу  $i$ -ї операції  $t_{um_i} = 15,4$ ; коефіцієнт виконання норми  $k = 0,76$ ; дійсний річний фонд часу  $\Phi_\partial = 1823$  год.

### Розв'язання

Тип виробництва визначають за коефіцієнтом закріплення операцій, що визначається за формулою:

$$k_c \frac{k_0}{n_p},$$

де  $k_0$  – кількість операцій в ТП;  $n_p$  – кількість робочих місць, необхідних для виконання складання

$$n_p = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^{k_0} T_{um.i}}{60 \cdot k \cdot \Phi_0},$$

де  $N$  – програма випуску;

$$n_p = \frac{14800 \cdot 15,4 \cdot 21}{60 \cdot 0,76 \cdot 1823} = 57,5 \approx 58 \text{ робочих місць.}$$

Тоді

$$k_c = \frac{21}{58} = 0,36 \approx 1.$$

На підставі умови, що  $k_c \leq 1$  – виробництво масове,  $k_c > 1$  – виробництво серійне,  $k_c \gg 1$  – виробництво одиничне, робимо висновок, що за  $k_c = 1$  – виробництво масове.

### 3.2.3 Задачі для самостійного розв'язання

#### Задача 1

Визначити час виготовлення партії вузлів виробів ГО і ТС, що складається з 1000 шт., у випадку паралельного сполучення операцій. Норми часу на кожну операцію наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Трудомісткість операцій складання виробу

Номер операції	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{um.}$ , хв.	2,8	1,4	0,7	0,7	1,4	1,4	3,5	0,7	1,4	1,4

#### Задача 2

Клапан запірний складається на конвеєрі. Змінна програма конвеєра – 198 шт. Трудомісткість складання шасі – 48 хв. Регламентовані зупинки конвеєра для відпочинку робітників – 8 хв., для обслуговування – 12 хв.; відсоток допустимого браку 1 %; габаритні розміри шасі – 800×500×300 мм<sup>3</sup>. Робочі місця розташовуються з однієї сторони конвеєра з шагом 1,2 м. Визначити параметри конвеєра.

#### Задача 3

Вентиль складається на конвеєрі. Змінна програма лінії – 34 шт. Трудомісткість складання приймача – 5 год. 25 хв. Крок конвеєра – 1,6 м. Регламентовані зупинки лінії для відпочинку робітників – 7 %. Робочі місця розташовані з однієї сторони конвеєра. Знайти параметри конвеєра.



#### **Задача 4**

Змінна програма складання вузла виробу ГО і ТС на потоковій лінії – 130 шт., трудомісткість складання – 96 хв., габарити пристрою – 1000×600×500 мм. Визначити основні характеристики лінії, якщо робочі місця розташовані з двох сторін стрічки транспортера в шаховому порядку з кроком 1,5 м; відсоток допустимого браку – 2 %; регламентовані зупинки лінії – 20 хв.

#### **Задача 5**

Змінна програма складання вентиля на конвеєрі – 392 шт.; трудомісткість складання – 96 хв.; габарити приймача - 300×200×30 мм. Визначити основні характеристики конвеєра, якщо робочі місця розташовані з двох сторін конвеєра в шаховому порядку з кроком 1,5 м; регламентовані зупинки конвеєра – 20 хв. за зміну; відсоток допустимого браку – 2 %.

#### **Задача 6**

Змінна програма складання вентилів на прямоточній лінії – 200 шт. Дійсний фонд робочого часу за зміну – 400 хв. Норми часу за операціями наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Трудомісткість операцій складання вентиля

Номер операції	1	2	3	4	5	6
$T_{ум.}, \text{хв.}$	4,05	7,60	5,40	1,35	0,67	1,46

Розрахувати потребу обладнання за операціями, побудувати план-графік роботи лінії та визначити величини міжопераційних оборотних запасів.

#### **Задача 7**

Виконати синхронізацію технологічного процесу складання за рахунок комбінації операцій і визначити необхідну кількість робітників для складання вентиля на потоковій лінії з тактом 5 хв. Норми часу за операціями наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Трудомісткість операцій складання вентиля

Номер операції	1	2	3	4	5	6	7
$T_{ум.}, \text{хв.}$	2,2	4,6	1,8	3,0	11,4	2,4	0,6

#### **Задача 8**

Складання функціонального вузла виробу ГО і ТС здійснюється на прямоточній лінії в дві зміни. Добова програма випуску – 260 шт. Норми часу за операціями наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Трудомісткість операцій складання вузла

Номер операції	1	2	3	4	5	6	7
$T_{ум.}, \text{хв.}$	2,70	2,70	3,25	3,50	0,90	1,02	3,80

Визначити основні параметри лінії та необхідну кількість робітників.

### **Задача 9**

Визначити величину максимального запасу та кількість змін роботи споживальної лінії, якщо живильна лінія працює в одну зміну з тактом 10 хв. Такт споживальної лінії – 21 хв.

### **Задача 10**

Визначити тривалість складального складу та технологічної системи складання та функціонального блоку виробу ГО і ТС.

### **Задача 11**

Визначити час, необхідний для виготовлення партії блоків виробів ГО і ТС у випадку паралельного сполучення операцій, якщо партія блоків складається з 500 шт., а час, що витрачається на кожну операцію, наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Трудомісткість операцій складання блоків

Номер операції	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{\text{шт.}}, \text{хв.}$	4,2	4,2	4,2	5,0	0,8	0,8	0,8	1,6	1,2	1,2

### **Задача 12**

Визначити час, необхідний для виготовлення партії функціональних вузлів виробів ГО і ТС, що складається з 800 шт., у випадку послідовно-паралельного сполучення операцій, якщо норми часу на кожну операцію наведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Трудомісткість операцій складання вузлів

Номер операції	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{\text{шт.}}, \text{хв.}$	0,8	0,8	0,8	9,8	8,0	8,0	0,7	0,7	0,7	0,7

### **Задача 13**

Вентиль складається на конвеєрі. Змінна програма конвеєра – 198 шт. Трудомісткість вкладання корпусу – 48 хв. Регламентовані зупинки конвеєра для відпочинку робітників – 8 хв., для обслуговування – 12 хв.; відсоток допустимого браку – 1 %; габаритні розміри корпусу – 800×500×300 мм. Робочі місця розташовуються з однієї сторони конвеєра з кроком 1,2 м. Визначити розміри конвеєра.

### **Задача 14**

Клапан запірний складається на конвеєрі. Змінна програма лінії – 34 шт. Трудомісткість складання клапана – 5 год. 25 хв. Крок конвеєра – 1,6 м. Регламентовані зупинки лінії для відпочинку робітників – 7 %. Робочі місця розташовані з однієї сторони конвеєра. Визначити параметри конвеєра.

### **Задача 15**

Виконати синхронізацію технологічного процесу складання за рахунок комбінації операцій і визначити необхідну кількість робітників для складання вентилів на поточковій лінії з тактом  $\tau = 5$  хв. Норми часу за операціями наведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Трудомісткість операцій складання вентиля

Номер операції	1	2	3	4	5	6	7
$T_{ум.}, \text{хв.}$	3,2	2,6	1,7	4,3	2,5	3,2	1,9

**Задача 16**

Добова програма випуску функціонального блоку виробу ГО і ТС – 400 шт. Складання здійснюється на прямоточній лінії в дві зміни. Період комплектування заділу – 2 год. Норми часу за операціями наведено в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Трудомісткість операцій складання блоку

Номер операції	1	2	3	4	5	6	7
$T_{ум.}, \text{хв.}$	2,2	4,6	1,8	3,0	11,4	2,4	0,6

**3.3 Технологічне оснащення виробництва та ремонту виробів ГО і ТС****3.3.1 Основні теоретичні відомості**

Точнісні вимоги до складання верстатів. Одне із основних питань під час використання складального устаткування полягає у складання виробів у точній відповідності з ТУ, конструкторською документацією й іншими нормативними документами.

Для складальних верстатів, на відміну від металорізальних, кінцевим результатом є складальна одиниця, що складається з певної кількості деталей, розміри яких коливаються в межах допусків. Таким чином, для складальних верстатів-автоматів можна сформулювати дві основні вимоги: висока стабільність процесу автоматичного складання і точність виконання складальних операцій.

У загальному випадку стійкість процесу автоматичного складання є технологічною оцінкою ходу процесу. Під стабільністю автоматичного складання розуміють постійність у часі параметрів розподілу досліджуваної ознаки якості. Стабільний процес є стійким. Однак стійкий процес може бути нестабільним.

Стабільність і можливість автоматичного складання може визначатися сумарною похибкою відносної орієнтації складених деталей перед їх сполученням, при цьому похибка залежить від конструкції складального верстата-автомата, і точністю виконання окремих вузлів і деталей, що надходять на складання.

Для нормального ходу автоматичного складання необхідно, щоб сумарна похибка відносної орієнтації деталей перед їхнім сполученням не перевищувала допустимих значень. Цю умову можна виразити у вигляді:

$$\Delta\Sigma_{\max} \leq |\Delta_R|,$$

де  $\Delta\Sigma_{\max}$  – максимальне значення сумарної похибки відносної орієнтації складених деталей;  $\Delta_R$  – величина, обумовлена видом з'єднання і групою посадки.

Допустима похибка відносної орієнтації складених деталей визначається видом з'єднання і точністю виготовлення з'єднаних поверхонь. Точність виконання складальної операції визначається похибкою взаємного розташування деталей у складаному вузлі.

Сумарну похибку відносної орієнтації деталей на позиції складання для будь-якого складального автомата можна виразити функцією:

$$\Delta_{\Sigma} = f(\Delta'_{\Sigma}, \Delta_{\delta}, \Delta_{c.z.}),$$

де  $\Delta_{\Sigma}$  – сумарна похибка відносної орієнтації деталей на позиції складання;  $\Delta'_{\Sigma}$  – сумарна похибка відносного розташування складального пристрою і складальної головки;  $\Delta_{\delta}$  – похибка базування деталей на позиції складання;  $\Delta_{c.z.}$  – похибка розташування робочих частин складальної головки чи пристрою.

Сумарна похибка відносного розташування складального пристрою і складальної головки безпосередньо залежить від конструкції верстата і визначається обраною схемою автоматичного складання. Отже, при розгляді похибки  $\Delta'_{\Sigma}$  виходять із конструкції складального верстата.

Похибка базування деталей на позиції складання  $\Delta_{\delta}$  обумовлюється обраною схемою базування. Під час вибору останньої потрібно виходити з того, що коливання розмірів деталі в межах допуску незначно відображається на її положенні. Похибка базування має випадковий характер.

Похибка виготовлення складальної головки (розташування її робочих частин)  $\Delta_{c.z.}$  є похибкою відносного розташування робочих частин пристрою, з яких здійснюється видача деталей, що приєднуються до базової деталі. Ця похибка відбувається у випадках, коли виконується паралельне чи послідовно-паралельне приєднання до базової деталі.

*Продуктивність АТУ з ЧПК.* Робота будь-якого технологічного автомата характеризується періодичним повторенням основних (робочих) і допоміжних (неробочих) дій у заданій послідовності, тобто повторення робочого циклу. Відповідно до основних положень теорії продуктивності, продуктивним є тільки той час, що витрачається на безпосередню технологічну дію, тобто час робочих ходів. Інший час з погляду цієї теорії є загубленим, будь то неробочі ходи робочого циклу чи позациклові втрати (простої) з технічних або організаційних причин.

Період робочого циклу є важливим параметром, що визначає циклову продуктивність устаткування. Циклова продуктивність  $Q_{\text{ц}}$  технологічного автомата визначається кількістю продукції, яку виготовлено на ньому за одиницю часу:

$$Q_{\text{ц}} = 1/T_{\text{ц}} = 1/(t_p + t_x),$$

де  $t_p$  – час основних (робочих) ходів з формоутворення, складання, монтажу, зварювання, паяння, очистки та ін.;  $t_x$  – час допоміжних (неробочих) ходів (подачі заготовки чи деталі в робочу зону, переміщення виробу з однієї позиції на іншу, відведення і підведення інструменту, вмикання і вимикання устаткування й ін.).

Циклова продуктивність залежить від таких факторів, як складність виготовлення виробу, спосіб і режими його виготовлення, ступінь суміщення операцій, швидкість допоміжних рухів і конструктивні особливості їхніх механізмів.

Для автоматів різного технологічного призначення складові  $t_p$  і  $t_x$ , що входять у циклову продуктивність, визначатимуться по-різному в залежності від структури автомата, типу приводу й ін.

Наприклад, у складальних автоматах під час складання вузла виробу ГО і ТС виділяють такі елементи циклу: переміщення вузла в задану позицію  $t_{дп}$ , пошук потрібного компонента  $t_{\kappa}$ , доставка його в зону дії робочої головки  $t_{ок}$ , захват компонента робочою головою й установлення в монтажні отвори  $t_y$ , обрізка та гнуття виводів компонента з протилежного боку плати  $t_{np}$ .

Усі ці елементи циклу, як правило, виконуються послідовно, і тоді:

$$Q_{\kappa} = (t_{дп} + t_{\kappa} + t_{ок} + t_y + t_{np})^{-1}.$$

Якщо деякі дії сполучаються (наприклад, пошук компонента та його доставка в зону дії робочої головки можуть бути суміщені з переміщенням плати в задану позицію), тоді:

$$Q_m = (t_{дп} + t_y + t_{np})^{-1}.$$

Технологічну продуктивність автомата можна визначити за співвідношенням:

$$Q_m = 1/t_p.$$

В автоматах безперервної дії (за  $t_x = 0$ ), коли час неробочих ходів відсутній, циклова продуктивність дорівнює технологічній, тобто:

$$Q_{\kappa} = Q_m, \text{ якщо } t_x = 0.$$

Однак циклова продуктивність не є вичерпною характеристикою продуктивності технологічних автоматів. Так, продуктивність протягом тривалого часу, наприклад зміни, залежність це від позациклових втрат, тобто має місце так звана фактична продуктивність.

Фактична продуктивність визначається відповідно до формули

$$Q_{\phi} = \left( t_p + t_x + \sum_i^n t_{m\kappa} \right)^{-1},$$

де  $\sum_i^n t_{m\kappa}$  – позациклові витрати.

За функціональними ознаками всі позациклові втрати (простой) технологічних автоматів можна поділити на п'ять видів:

– простой через інструмент. До цих простоїв відноситься час, який простоює устаткування через нероботоздатність інструментів: отримання інструменту, установка його в робочу головку, зміна, регулювання та підналагодження;

– простой через устаткування. Устаткування простоює через поломки окремих механізмів, відмови в роботі, розрегулювання, забруднення тощо. Час простоїв через устаткування включає час на ремонт і регулювання механізмів, заміни спрацьованих деталей і вузлів, очікування наладчиків;

– простой з організаційних причин. Вони виникають у тих випадках, коли устаткування роботоздатне, але відсутні зовнішні умови для його нормальної експлуатації: немає заготовки, деталей, компонентів, електроенергії, мають місце порушення трудової дисципліни обслуговуючим персоналом (несвоєчасний початок роботи, передчасне її завершення і несанкціоноване залишення робочого місця), прибирання верстатів;

– простої через брак. Коли інструмент і механізми роботоздатні, є заготовка, деталі тощо, але результат роботи не відповідає вимогам якості. Тому хоч устаткування і працює, але придатної продукції немає, і час, витрачений на випуск бракованої продукції, має бути віднесений до простоїв;

– простої, пов'язані з переналагодженням устаткування на випуск нових виробів. Час, пов'язаний із заміною програмоносіїв, технологічного оснащення, затискних пристроїв.

Усі простої можна поділити на власні й організаційно-технічні. Власні простої функціонально пов'язані з режимом роботи устаткування. Їх рівень визначається конструктивною досконалістю устаткування, його надійністю в роботі, кваліфікацією робітників. До цього виду відносяться простої через інструмент і устаткування, простої, пов'язані з прибиранням верстата, налагоджувальний брак. Організаційно-технічні простої зумовлені зовнішніми причинами (відсутністю заготовок, деталей, переналагодженням, браком у попередніх операціях, порушенням обслуговуючим персоналом трудової дисципліни).

Чим частіше виникають простої і чим більша їхня тривалість, тим нижчою є фактична продуктивність технологічного устаткування.

*Надійність АТУ.* Відповідно до загальних положень теорії надійності, є надійність АТУ властивістю об'єкта виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, які відповідають заданим режимам й умовам використання. Під об'єктами в теорії надійності розуміють будь-які системи чи елементи, що мають певне функціональне призначення. У нашому випадку під об'єктом розуміється технологічне устаткування (автомат, напівавтомат, автоматична лінія, гнучкий виробничий модуль тощо).

Для технологічного устаткування заданою функцією є випуск продукції необхідної якості в необхідній кількості. Надійність АТУ – це, насамперед, його здатність до безперебійного випуску придатної продукції в розмірах, обумовлених заданою виробничою програмою протягом усього строку служби.

Чим нижча надійність АТУ, тим вищі втрати продуктивності і тим більшою є різниця між фактичною і цикловою продуктивністю. Таким чином, надійність АТУ характеризує ступінь підвищення продуктивності і реалізації потенційних можливостей, закладених у технологічних процесах АТУ.

Надійність АТУ обумовлюється його безвідмовністю, ремонтпридатністю, довговічністю. Будь-який об'єкт (устаткування) може перебувати в одному з двох станів: роботоздатному і нероботоздатному. Роботоздатним називається такий стан АТУ, в якому воно відповідає ТУ. Подія, коли порушується роботоздатність (перехіді АТУ з роботоздатного стану в нероботоздатний внаслідок виникнення несправностей), називається відмовою.

Виникнення відмов, їх виявлення, усунення і попередження – це випадкові процеси, що відбуваються в часі. Тому всі кількісні показники надійності мають імовірнісний характер. Показники надійності можна поділити на дві групи: часткові показники, що оцінюють тільки один якісний бік надійності, наприклад, тільки безвідмовність чи тільки ремонтпридатність; і узагальнені

(комплексні) показники, що оцінюють, наприклад, і безвідмовність, і ремонтоспридатність.

Безвідмовність є властивістю АТУ зберігати роботоздатність протягом деякого часу або деякого напрацювання.

Як свідчить практика, тривалість  $t$  безвідмовної роботи АТУ, від увімкнення до відмови є величиною випадковою, яка змінюється в дуже широких межах навіть за стабільних умовах експлуатації.

За стаціонарних умов експлуатації щільність імовірності безвідмовної роботи зазвичай описується експонентним розподілом:

$$f(t) = \frac{1}{m_{\text{сеп}}} \cdot e^{-\frac{t}{m_{\text{сеп}}}},$$

де  $m_{\text{сеп}}$  – середній час безвідмовної роботи АТУ, год.;  $t$  – тривалість безвідмовної роботи АТУ, год.

Важливим показником безвідмовності є ймовірність  $P$ , що АТУ працюватиме без відмов упродовж часу  $t$  після ввімкнення.

Функціональна залежність імовірності безвідмовної роботи  $P$  протягом часу  $t$  після пуску від тривалості часу  $t$  називається функцією надійності і позначається  $P(t)$ . Математичний вираз, найповніше апроксимуючий статичну функцію надійності, має вигляд:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \omega(t) dt},$$

де  $\omega(t)$  – параметр потоку відмов, у загальному випадку також є величиною, що залежить від часу.

Параметр потоку відмов  $\omega(t)$  є показником безвідмовності, характеризуючи частоту відмов при експлуатації АТУ. Він чисельно дорівнює середньому математичному сподіванню кількості відмов за одиницю часу. Якщо час  $t$  виражений у робочих циклах, величина  $\omega(t)$  означає ймовірність виникнення відмови у разі кожного спрацьовування механізму, пристрою чи АТУ в цілому.

Величина, зворотна параметру потоку відмов, є середнім часом безвідмовної роботи чи середнім напрацюванням на відмову:

$$m_{\text{сеп}} = 1/\omega.$$

Припустимо, що  $\omega = \text{const}$ , тобто параметр потоку відмов є величиною умовно постійною для деякого інтервалу тривалості експлуатації АТУ. Тоді математичний вираз функції надійності можна записати у вигляді

$$P(t)e^{-\omega t} = e^{-t/m_{\text{сеп}}}.$$

Показники надійності  $P(t)$ ,  $\omega$ ,  $m_{\text{сеп}}$  однаковою мірою дозволяють оцінити як надійність спрацьовування, так і технологічну (точнісну) надійність. Так, для надійності спрацьовування величина  $P_1(t)$  означає імовірність того, що в АТУ впродовж часу  $t$  не виникає ніяких поломок, перекосів, згоряння й інших несправностей механізмів, пристроїв, інструмента та ін. Для технологічної надійності величина  $P_2(t)$  означає імовірність того, що за час  $t$  після розмірного

підналагодження чи заміни інструмента не з'явиться жодного бракованого виробу і не знадобиться нове розмірне підналагодження чи заміна інструмента.

Аналогічно величина  $m_{сер}$  для надійності спрацювання означає середню кількість циклів між двома неспрацюваннями механізму, а для технологічної надійності – середню кількість придатних деталей між двома бракованими чи середню кількість робочих циклів між двома розмірними підналагодженнями.

Комплексними показниками надійності АТУ є: власні позациклові втрати  $\sum t_n$  і коефіцієнт технічного використання  $\eta_{tex}$ , які одночасно є і важливими параметрами теорії продуктивності.

Власні позациклові втрати характеризують і безвідмовність, і ремонтпридатність:

$$\sum t_n = \omega \theta_{сер} / T = \theta_{сер} / (m_{сер} \cdot T),$$

де  $\omega$  – параметр потоку відмов;  $\theta_{сер}$  – середній час виявлення й усунення відмов, год.;  $T$  – тривалість робочого циклу, год.

Коефіцієнт технічного використання визначають за співвідношенням:

$$\eta_{tex} = \frac{1}{1 + (\sum t_n / T)} = \frac{1}{1 + (\theta_{сер} / m_{сер})} = \frac{1}{1 + \omega_u \theta_{сер}},$$

де  $\sum t_n$  – власні позациклові втрати, год.;  $\omega_u$  – імовірність відмови АТУ на кожен робочий цикл, 1/цикл.

Таким чином, коефіцієнт технічного використання є показником надійності та характеризує і безвідмовність, і ремонтпридатність АТУ в конкретні періоди його експлуатації.

### ***Запитання та завдання для самоперевірки***

1. Назвіть основні положення автоматизації виробництва.
2. Які існують стратегії автоматизації виробництва?
3. Якими є основні передумови автоматизації виробництва?
4. Опишіть основні рівні автоматизації виробництва.
5. У чому полягають особливості автоматизованого устаткування?

### ***3.3.2 Приклади розв'язання задач***

#### ***Задача 1***

Одноканальна система масового обслуговування (СМО) з відмовами є одним складним агрегатом. Заявка – тримальна базова конструкція (функціональний блок), надійшовший в момент, коли автомат зайнятий, отримує відмову (тобто він має знайти інший автомат, робоче місце). Інтенсивність потоку заявок  $\lambda = 2$  (надходження кількості блоків за хвилину). Середній час складання  $\bar{t}_{ск} = 0,3$  хв. Усі потоки подій – найпростіші.

Визначити граничні (за  $t \rightarrow \infty$ ) значення: відносну пропускну здатність  $q$ ; абсолютну пропускну здатність  $A$ ; імовірність відмови  $P_{від}$ .

Порівняти фактичну пропускну здатність СМО з номінальною, якщо складання кожного вузла тривало рівно 1,3 хв., а блоки надходили один за одним без перерви.



### Розв'язання

Визначаємо параметр  $\mu$  потоку обслуговування:

$$\mu = \frac{1}{t_{ск}}; \quad \mu = \frac{1}{0,3} = 3,3 \text{ 1/хв.}$$

Відносна пропускна здатність:

$$q = \frac{\mu}{\lambda + \mu}; \quad q = \frac{3,3}{2 + 3,3} = 0,62 \text{ 1/хв.}$$

Абсолютна пропускна здатність:

$$A = \lambda q; \quad A = 2 \cdot 0,62 = 1,24.$$

Імовірність відмови:

$$P_{від} = 1 - q; \quad P_{від} = 1 - 0,62 = 0,38.$$

Номінальна пропускна здатність:

$$A_{ном} = \frac{1}{t_{ск}}; \quad A_{ном} = \frac{1}{0,33} = 3,03 \text{ 1/хв.}$$

### Аналіз результатів.

Виконані розрахунки дозволяють зробити такі висновки: за встановленого режиму система складання обслуговуватиме близько 62 % модулів, що надходять на складання; автомат здатний здійснювати в середньому 1,24 модуля за хвилину; близько 38 % модулів, що надходять, отримують відмову; номінальна пропускна здатність (3,03 1/хв.) перевищує за значенням фактичну пропускну здатність, отриману з урахуванням випадкового характеру потоку заявок та ймовірності часу обслуговування.

### Задача 2

Визначити час пересування алюмінієвої заготовки виробу ГО і ТС на транспортер автоматичної лінії з висоти 1,1 м по сталевому лотку-склізу, встановленому під кутом  $37^\circ$  до горизонту. Лоток і заготовка мають симетричний кутовий переріз у нормальній площині, кут якого  $130^\circ$ .

### Розв'язання

Визначаємо приведений коефіцієнт тертя під час ковзання заготовки по лотку:

$$f' = \frac{f}{\sin \beta} = \frac{0,605}{\sin 65^\circ} = \frac{0,605}{0,906} = 0,668,$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя заготовки по лотку, дорівнює 1,1;  $\beta$  – половина кута кутового перерізу.

Знаходимо довжину пересування вздовж лотка:

$$L = \frac{H}{\sin \alpha} = \frac{1,1}{0,601} = 1,83 \text{ м,}$$

де  $H$  – висота, з якої просувається заготовка;  $\alpha$  – кут нахилу лотка до горизонту.

Встановлюємо значення коефіцієнта запасу, що враховує тертя заготовки об стінку лотка, а також додатковий час, необхідний для заспокоєння (як правило, обирають у межах  $K = 1,5 \div 2$ ); приймаємо  $K = 1,5$ .

Визначаємо час пересування заготовки по лотку за формулою:

$$t = K \sqrt{\frac{2L}{g(\sin \alpha - f' \cos \alpha)}},$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння.

Підставляємо отримані значення у вираз:

$$t = 1,5 \sqrt{\frac{2 \cdot 1,85}{9,81(0,601 - 0,668 \cdot 0,797)}} = 3,35 \text{ с.}$$

### **Задача 3**

Автоматична лінія складається з трьох ділень. Власні позациклові втрати ділень складають відповідно 13, 12 і 10,8 с/шт. Коефіцієнт накладення позациклових втрат другої ділянки на першу випускову – 0,18, третьої на випускову – 0,2. Період робочого циклу випускової ділянки – 150 с.

Визначити коефіцієнт використання та фактичну продуктивність автоматичної лінії.

#### **Розв'язання**

Позациклові втрати ділень, віднесені до одиниці часу безвідмовної роботи, складають:

$$B_1 = \frac{\sum_{i=1}^n t_1}{T_{\text{ц}}} = \frac{13}{150} = 0,087; \quad B_2 = \frac{\sum_{i=1}^n t_2}{T_{\text{ц}}} = \frac{12}{150} = 0,08;$$

$$B_3 = \frac{\sum_{i=1}^n t_3}{T_{\text{ц}}} = \frac{10,8}{150} = 0,072.$$

Коефіцієнт використання автоматичної лінії визначаємо за формулою:

$$\eta_{\text{а.л.}} = \frac{1}{1 + 0,087 + 0,08 \cdot 0,18 + 0,072 \cdot 0,02} = 0,89.$$

### **3.3.3 Задачі для самостійного розв'язання**

#### **Задача 1**

Визначити загальну кількість одиниць обладнання в потоковій лінії виготовлення виробів ГО і ТС за такими вихідними даними  $t_i = 30,5$  хв. – штучний час виготовлення  $i$ -го виробу;  $n = 3000$  шт. – кількість виробів, виготовлених за рік;  $F = 1000$  год. – дійсний річний фонд часу роботи одиниці обладнання;  $K=12$  – кількість операцій у ТП.

#### **Задача 2**

Визначити показник відносної трудомісткості  $K_{\text{від}}$  ТП виготовлення виробництва ГО і ТС за такими вихідними даними:  $t_{\text{шт. } i} = 2,5$  хв. – штучний час  $i$ -ї операції;  $K_o = 15$  – кількість операцій у ТП;  $K_v = 0,7$  – коефіцієнт виконання норм;  $N = 1000$  – обсяг випуску виробів у плановий період;  $F = 175$  год. – місячний фонд часу роботи обладнання.

Перевірити умови:  $0 \leq K_{\text{від}} \leq 10$ .

### **Задача 3**

Вибрати конструкцію кишенькового БЗП для автоматичної подачі на автомат сталевих заготовок типу осі з конусом на кінці: довжина  $l = 1,2 \cdot 10^{-2}$  м; діаметр  $d = 4 \cdot 10^{-3}$  м; довжина конусної частини  $l_1 = 3 \cdot 10^{-3}$  м; орієнтацію заготовки здійснюють конусним кінцем уперед.

### **Задача 4**

Визначити середній час безвідмовної роботи автоматичної лінії, якщо середній час виявлення й усунення відмов – 240 с, сумарні позациклові втрати – 1,5 с/шт., а циклова продуктивність 0,033 шт./с.

## **3.4 Технологія деталей і конструкцій виробів ГО і ТС**

Одним з основних завдань та інших учасників виробництва в механічних цехах є забезпечення необхідної точності виготовлених деталей.

Реальні деталі, виготовлені за допомогою механічної обробки, мають параметри, що відрізняються від ідеальних значень, тобто мають похибки, але розміри похибок не повинні перевищувати допустимих граничних відхилень (допусків). Для забезпечення заданої точності обробки має бути правильно спроектований технологічний процес з урахуванням економічної точності, які досягається різними методами обробки. Важливо враховувати, що кожен наступний перехід підвищує точність на 1...4 квалітети.

У деяких випадках використовуються розрахункові методи для визначення можливої величини похибки обробки. Так визначають похибки токарної обробки від дії сил різання, що виникають унаслідок недостатньої жорсткості технологічної системи.

В інших випадках здійснюється аналіз точності обробки партії деталей методами математичної статистики.

Поверхні деталей, отримані литтям, куванням, оброблені за допомогою металорізальних верстатів та іншими способами, характеризуються шорсткістю, кольором і фізичними властивостями поверхневого шару – ступенем зміцнення (наклепуванням), глибиною зміцненого шару, наявністю залишкових напруг від обробки та іншим. Ці показники визначають стан поверхні та характеризують її якість. Існує цілком визначений зв'язок між методами обробки та якістю обробленої поверхні.

Для оцінювання шорсткості поверхонь краще застосовувати параметр  $R_a$ ; іноді застосовують параметр  $R_v$ .

Параметри шорсткості поверхонь за різних видів обробки заготовок різанням наводяться в технологічних та інших довідниках.

У процесі виконання механічної обробки поверхні шорсткість її зменшується на початку різко (після чорнових переходів параметри знижуються в 4...5 разів), потім повільніше при виконанні завершальних обробних переходів у 1,5...2 рази.

Для того, щоб здійснити обробку заготовки на верстаті, її необхідно закріпити на ньому, попередньо обравши бази. Під базуванням розуміють розміщення заготов-

ки у необхідному положенні відносно верстата й інструмента. Від правильності базування залежить точність обробки. Під час розробки схеми базування вирішують питання вибору та розташування опорних точок.

У виробничих умовах завжди мають місце похибки обробки  $\varepsilon_{уст}$ , що залежать від умов установки, тобто від базування  $\varepsilon_{баз}$ , закріплення  $\varepsilon_{закр}$  заготовки та від неточності устаткування  $\varepsilon_y$ . Похибка установки виражається формулою:

$$\varepsilon_{уст} = \sqrt{\varepsilon_{баз}^2 + \varepsilon_{закр}^2 + \varepsilon_y^2}.$$

Для зменшення цих похибок важливо дотримуватися правил базування: правила «шести точок», правила «постійності баз», правила «суміщення баз» тощо.

Значення похибки можна визначити різними методами. Табличний метод дозволяє визначити похибки установки залежно від виробничих умов. Розрахунковий метод визначення похибок базування, похибок закріплення та похибок, викликаних неточністю устаткування, виконується за допомогою формул.

При недотриманні правила «суміщення баз» виникає необхідність у перерахунку конструкторських розмірів у технологічні (рис. 3.1). Мета перерахунку полягає у визначенні похибки розміру замикальної ланки та порівнянні її з допуском конструкторського розміру.

Розрахунок розмірних ланцюгів виконується у відповідності з ГОСТ 16319-80 та ГОСТ 6320-80 одним із зазначених у них методів («максимум – мінімум», імовірнісними тощо). Під час цих розрахунків користуються формулами визначення номінального розміру замикальної ланки:

$$H = H - T,$$

де  $H$  – розмір, що пов'язує конструкторську й технологічну бази;  $T$  – розмір, що пов'язує технологічну базу з оброблюваною поверхнею.

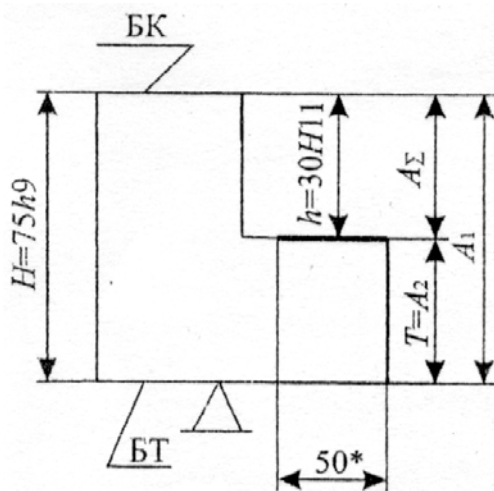


Рис. 3.1 – Визначення конструкторських (БК) та технологічних (БТ) баз

Похибка розміру замикальної ланки  $\varepsilon_h = \varepsilon_\Delta$  під час розв'язання методом «максимуму – мінімуму» визначається формулою:

$$\varepsilon_h = T_H + T_T; \quad \varepsilon_h = T_\Sigma = \sum_1^{m+n} T_i,$$

де  $T_i$  – допуск на розмір кожної ланки ланцюга;  $T_H$  – допуск на розмір  $H$ , що встановлюється кресленням;  $T_T$  – допуск на технологічний розмір, значення якого залежить від методу обробки та встановлюється відповідно до нормативів середньої економічної точності обробки.

Під час розрахунку за імовірнісним методом використовують формули:

$$T_{\Sigma} = \theta \sum_i^{m+n} T_i; \quad T_{\Sigma} = \frac{K_c \sum T_i}{\sqrt{m+n}}, \quad T_{\Sigma} = \pm \sqrt{\sum_1^{m+n} (T'_i)^2}$$

де  $\theta$  – коефіцієнт, що залежить від кількості складових ланок;  $K_c$  – середнє значення похибок за законом нормального розподілу; де  $T'_i$  – половина поля допуску ланок ланцюга.

У результаті має бути витримана умова:

$$T_h \geq T_{\Sigma}.$$

Технологічність – найважливіше технічне підґрунтя, що забезпечує використання конструкторських і технологічних резервів для виконання завдань з підвищення техніко-економічних показників виготовлення та якості виробів. Робота з покращення технологічності має здійснюватися на всіх стадіях проектування та освоєння у виробництві виробів, котрі випускаються.

Технологічність конструкції деталей обумовлена:

- раціональним вибором вихідних заготовок матеріалів;
- технологічністю форми деталі;
- раціональною підстановкою розмірів;
- призначенням оптимальної точності розмірів, форми та взаємного розташування поверхонь, параметрів шорсткості та технічних вимог.

Технологічність деталі залежить від типу виробництва; обраного технологічного процесу; обладнання й оснащення; організації виробництва, а також від умов роботи деталі та складальної одиниці у виробі й умов ремонту.

Ознаками технологічності конструкції деталі, наприклад підкласу валів, є наявність у східчастих валах невеликих перепадів діаметрів східців, розташування східчастих поверхонь зі спадання діаметра від середини або від одного з кінців, доступність усіх оброблюваних поверхонь для механічної обробки, можливість застосування для виготовлення деталі вихідної заготовки прогресивного виду, яка за формою та розмірами близька до форми та розмірів готової деталі, можливість застосування для обробки високовиробничих методів.

Під час розгляду елементарної поверхні вихідної заготовки та відповідної їй поверхні готової деталі загальний припуск на механічну обробку визначається порівнянням їх розмірів: це – різниця розмірів відповідної поверхні на вихідній заготовці та готовій деталі. Під час розгляді зовнішньої поверхні обертання (рис. 3.2, а) загальний припуск:

$$2\Pi_{\text{загд}} = d_0 - d_{\delta};$$

у внутрішній поверхні обертання (рис. 3.2, б) загальний припуск:

$$2\Pi_{\text{загD}} = D_{\delta} - D_0;$$

у плоскій поверхні (рис. 3.2, в) загальний припуск на сторону:

$$2\Pi_{\text{загh}} = dh_0 - h_{\delta},$$

де  $d_0, D_0, h_0$  – розміри вихідної заготовки;  $d_\phi, D_\phi, h_\phi$  – відповідні розміри готової деталі;  $2\Pi_{zagd}$  та  $2\Pi_{zagD}$  – загальні припуски на діаметр зовнішньої поверхні й отвору;  $2\Pi_{zagh}$  – загальний припуск на сторону (торець, площина).

Припуск на механічну обробку видаляється зазвичай послідовно за декілька переходів і тому для поверхонь обертань і для плоских поверхонь:

$$2\Pi_{zagd} = \sum 2\Pi_i; \quad 2\Pi_{zagD} = \sum 2\Pi_i; \quad 2\Pi_{zagh} = \sum 2\Pi_i,$$

де  $\Pi_i$  – проміжні припуски, що виконуються протягом  $i$ -го переходу, причому на кожному наступному переході розмір проміжного припуску менше, ніж на попередньому, а також з кожним наступним переходом підвищується точність і зменшується шорсткість оброблюваної поверхні.

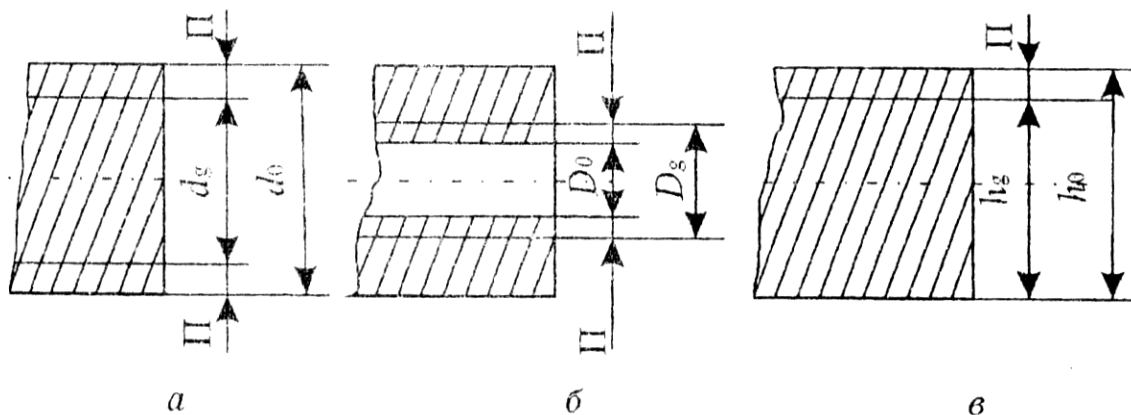


Рис. 3.2 – Загальний припуск на механічну обробку:

*а – зовнішня поверхня обертання; б – внутрішня поверхня обертання;  
в – плоска поверхня*

Важливою та відповідальною роботою під час проектування технологічних процесів обробки деталей є встановлення процесів механічної обробки деталей є встановлення оптимального для цього переходу проміжного припуску, після чого можна визначити дуже важливі в технології обробки деталі параметри – проміжні розміри заготовки, що фігурують у технологічній документації, залежно від яких виконавці добирають різальні та вимірювальні інструменти.

Проміжні припуски на кожен перехід можна встановити двома методами:

– дослідно-статистичним, користуючись таблицями в технологічних довідниках, відомих керівних технологічних матеріалах та інших джерелах. У цих джерелах часто відсутні таблиці для визначення операційних припусків на перший чорновий перехід. Операційний припуск на чорновий перехід визначають розрахунком за формулою:

$$\Pi_1 = \Pi_{zag} - (\Pi_2 + \Pi_3 + \dots + \Pi_n),$$

де  $\Pi_{zag}$  – загальний припуск на механічну обробку, встановлений при проектуванні заготовки;  $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_n$  – проміжні припуски відповідно на 1-й, 2-й, ...,  $n$ -й переходи;

– розрахунково-аналітичним за спеціальними формулами з урахуванням багатьох факторів обробки. Під час розрахунку за цим методом операційні припуски виходять меншими, ніж обрані за таблицями, що дозволяє зекономити

метал, знизити собівартість обробки. Цей метод використовують під час проектування технологічних процесів обробки деталей з великим річним обсягом випуску. У технологічній документації та на практиці обробки використовують проміжні номінальні розміри з допустимими відхиленнями. Як видно зі схеми (рис. 3.3), номінальні проміжні розміри залежать від номінальних припусків, які визначаються за формулою

$$\Pi_{\text{ном}_i} = \Pi_{\text{ном}_{\text{ш}}} + T_{i-1},$$

де  $T_{i-1}$  – допуск на проміжний розмір на попередньому переході.

Для різних поверхонь використовують такі формули:

– для поверхонь обертання, окрім випадку обробки в центрах:

$$2\Pi_{\text{ном}_s} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{\text{деф}_{i-1}} + \sqrt{\zeta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) + T_{i-1};$$

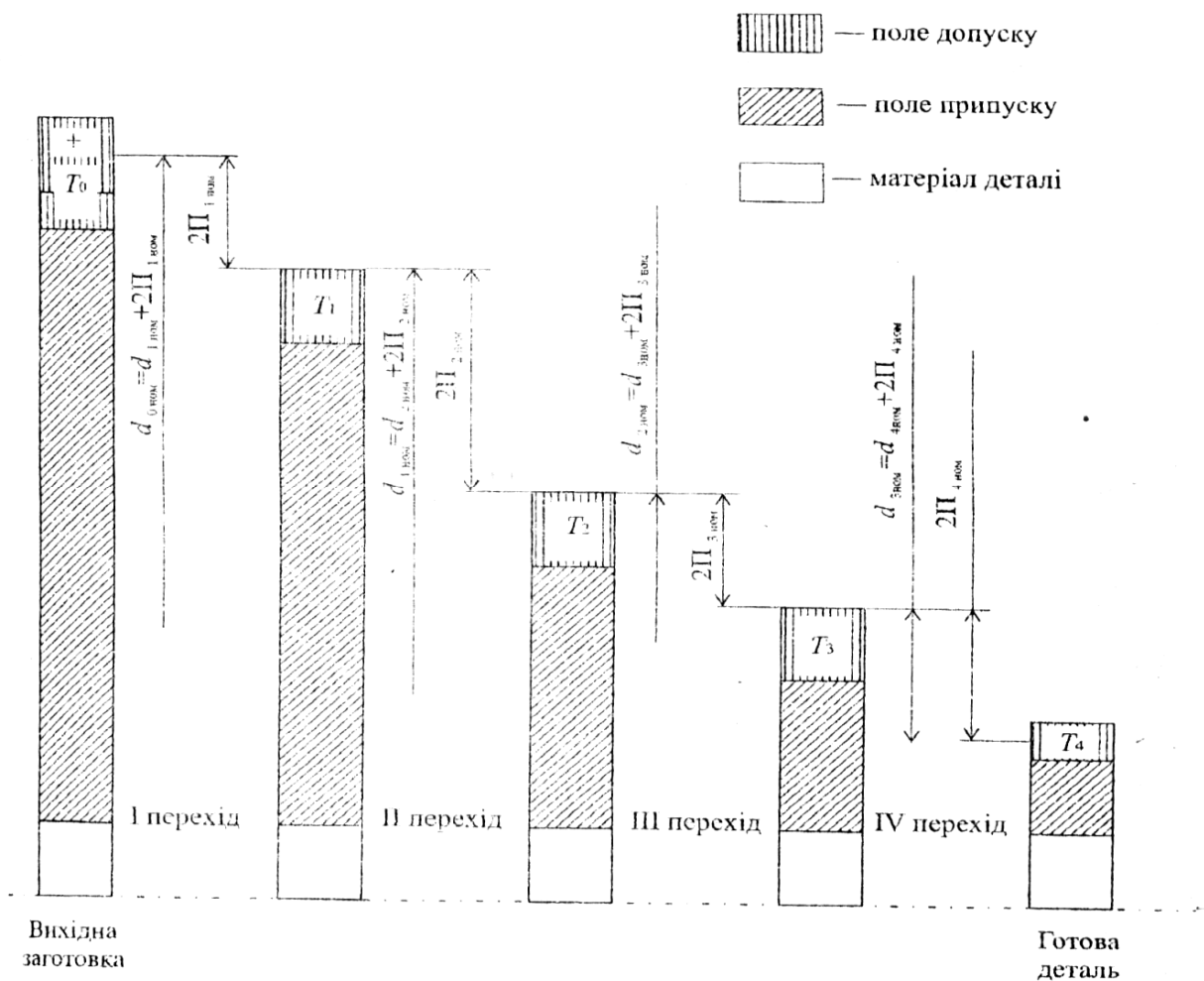


Рис. 3.3 – Розташування припусків і допусків при механічній обробці

– для поверхонь обертання у разі обробки в центрах:

$$2\Pi_{\text{ном}_s} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{\text{деф}_{i-1}} + \zeta_{i-1}) + T_{i-1};$$

– для плоских поверхонь:

$$\Pi_{\text{ном}_s} = R_{z_{i-1}} + T_{\text{деф}_{i-1}} + \zeta_{i-1} + \varepsilon_i + T_{i-1};$$

– для двох протилежних плоских поверхонь у разі одночасної їхньої обробки:

$$2\Pi_{ном_s} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{def_{i-1}} + \zeta_{i-1} + \varepsilon_i) + T_{i-1},$$

де  $R_{z_{i-1}}$  – висота мікронерівностей на поверхні після попереднього переходу;  $T_{def_{i-1}}$  – товщина (глибина) дефектного шару, отримана на попередньому суміжному переході, наприклад, ливарна корка, знеуглецьований або наклепаний шар (цей доданок не враховується для чавунних деталей, починаючи з другого переходу, та для деталей після термообробки);  $\zeta_{i-1}$  – сумарне значення просторових відхилень взаємозв'язаних поверхонь від правильної форми (викривлення, ексцентричність тощо), що залишилися після виконання попереднього переходу (сумарне значення просторових відхилень зменшується з кожним наступним переходом:  $\zeta_1 = 0,06\zeta_0$ ;  $\zeta_2 = 0,05\zeta_1$ ;  $\zeta_3 = 0,04\zeta_2$ . У разі нежорсткого закріплення заготовок або інструмента, наприклад, у державках, що хитаються або плавають,  $\zeta_{i-1}=0$ );  $\varepsilon_i$  – похибка встановлення заготовки на верстаті під час виконання переходу, що розглядається:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{баз}^2 + \varepsilon_{закр}^2 + \varepsilon_{присос}^2},$$

де  $\varepsilon_{баз}$ ,  $\varepsilon_{закр}$ ,  $\varepsilon_{присос}$  – відповідно похибки базування, закріплення та присосовування (у разі установа в центрах  $\varepsilon_i=0$ , під час обробки на багато позиційних операціях у випадку зміні позиції враховують похибки індексації  $\varepsilon_{інд} = 50$  мкм за формулою  $\varepsilon_i = 0,06 \varepsilon_{i-1} + \varepsilon_{інд}$ );  $T_{i-1}$  – допуск на проміжний розмір (у разі визначення припуску на перший чорновий перехід для зовнішніх поверхонь враховуються лише мінусова його частина  $T_0^-$ ), а для внутрішніх поверхонь – плюсова частина  $T_0^+$  допуску вихідної заготовки).

За вихідний розрахунковий розмір береться найбільший граничний розмір готової поверхні. Округлення проміжних розмірів здійснюється у бік збільшення проміжного припуску до того ж знаку, що й допуск цього розміру.

Особливості розрахунку проміжних припусків і розмірів для внутрішніх поверхонь полягають у наступному:

– допуски проміжних (міжопераційних) розмірів встановлюються за системою отвору з полем допуску  $H$  відповідного квалітету;

– номінальні розміри та номінальні припуски на всіх переходах, окрім першого, пов'язані залежністю:

$$\Pi_{ном_i} = \Pi_{min_i} + T_{i-1},$$

а номінальний припуск для першого (чорнового) переходу визначається за формулою:

$$\Pi_{ном_1} = \Pi_{min_1} + T_0^+,$$

де  $T_0^+$  – плюсова частина допуску заготовок;

– проміжні розміри встановлюються у порядку, зворотному процесу виконання технологічного процесу від розміру готового отвору до розміру заготовки шляхом віднімання від найменшого граничного розміру готового отвору (вихідного розміру) припусків  $\Pi_{ном_3}$ ,  $\Pi_{ном_2}$ ,  $\Pi_{ном_1}$ . Допуски їх ставляться за системою отвору з полем допуску  $H$ ;



– за вихідний розрахунковий розмір беруть найменший граничний розмір готового отвору.

Схему полів допусків зовнішньої поверхні деталі, заготовок на всіх стадіях обробки та вихідної заготовки і полів припусків загального та проміжного наведено на рис. 3.4.

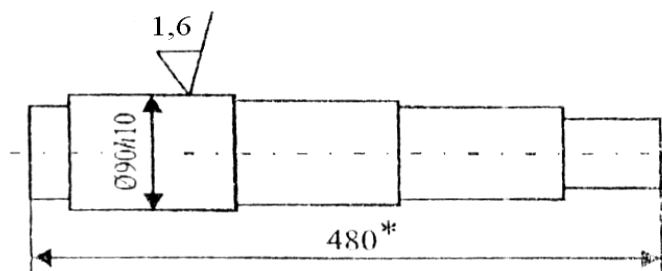


Рис. 3.4 – Схема полів допусків зовнішньої поверхні деталі за умов механічної обробки

### Запитання та завдання для самоперевірки

1. Що таке технологічність конструкції деталі?
2. Якими факторами обумовлена технологічність конструкції деталі?
3. Визначте суму полів допусків зовнішньої поверхні деталі.
4. Як залежить шорсткість деталі від методу виготовлення заготовки?

### 3.4.1 Приклади розв'язання задач

#### Задача 1

Деталь (вилку) виготовляють в умовах серійного виробництва з гарячекатаного прокату, розрізаного на штучні заготовки. Усі поверхні оброблюються одноразово. Токарна операція виконується згідно з двома операційними ескізами за установленнями (рис. 3.5).

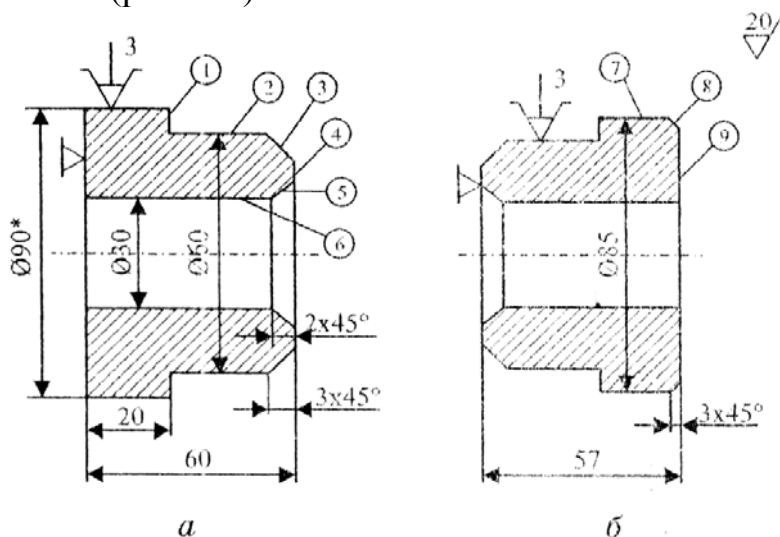


Рис. 3.5 – Схема токарної обробки деталі:  
а – установлення А; б – установлення Б

Необхідно провести аналіз операційних ескізів та інших вихідних даних; встановити зміст операції та сформулювати її найменування та зміст; встанови-

ти послідовність обробки заготовок в цій операції; описати зміст операцій за переходами.

#### *Розв'язання*

Аналізуючи вихідні дані, встановлюємо, що в розглядуваній операції, яка складається з двох установлень, виконується обробка дев'яти поверхонь заготовки, для чого потрібно виконати послідовно дев'ять технологічних переходів.

Для виконання операції буде використаний токарний або токарно-гвинторізний верстат, і найменування операції «Токарна» або «Токарно-гвинторізна» (ГОСТ 3.1702-79). За цим же ГОСТом визначаємо номер групи операції (14) та номер операції (63).

Для запису змісту операції за наявності операційних ескізів може бути використана скорочена форма запису: «Підрізати три торця», «Сточити дві циліндричні поверхні», «Просвердлити та розточити отвір», «Розточити одну істочити дві фаски».

Встановлюємо раціональну послідовність виконання технологічних переходів за установленнями, керуючись операційними ескізами. У першому установленні необхідно підрізати торець 4, сточити поверхню 2 з утворенням торця 1, сточити фаску 3, просвердлити отвір 6 та розточити фаску 5. У другому установленні необхідно підрізати торець 9, точити поверхню 7 та фаску 8.

Зміст операції в технологічній документації записується за переходами: технологічним (ПТ) та допоміжним (ПД). Під час формулювання змісту переходів використовується скорочений запис (таблиці 3.13).

Таблиця 3.13 – Види та зміст переходів

Номер переходу	Вид переходу	Зміст переходу
1	ПД	Установити та закріпити заготовку
2	ПТ	Підрізати торець 4
3	ПТ	Сточити поверхню 2 з утворенням торця 1 (під час точіння поверхні 2 виконується 2 робочих ходи)
4	ПТ	Точити фаску 3
5	ПТ	Просвердлити отвір 6
6	ПТ	Розточити фаску 5
7	ПД	Переустановити заготовку
8	ПТ	Підрізати торець 9
9	ПТ	Сточити поверхню 7
10	ПТ	Контроль розмірів деталі
11	ПД	Контроль розмірів деталі
12	ПД	Зняти деталь і покласти в тару

#### *Задача 2*

Поверхня східця сталевого вала довжиною 480 мм, що виготовляється з поковки, оброблюється попередньо на токарному верстаті до діаметра 91,2 мм (рис. 3.6).

Визначити економічну точність обробки розміру 91,2; квалітет точності поверхні, що оброблюється, та її шорсткість.

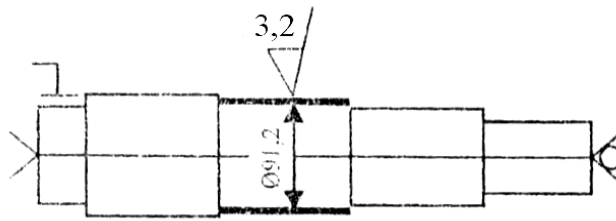


Рис. 3.6 – Ескіз вала сталевого

#### Розв'язання

Для визначення економічної точності користуються таблицями «Економічна точність механічної обробки», що наводяться у різних довідниках.

У нашому випадку після чорнового точіння обробленої поверхні вона має бути у межах 12...14-го квалітету (приймаємо 13-й квалітет). З урахуванням умови

$$l/d=5,3,$$

похибки обробки зростають у 1,5-1,6 рази, що відповідає зниженню точності на один квалітет. Остаточню приймаємо точність за 14-м квалітетом.

Оскільки у випадку чорнового точіння розмір заготовки є проміжним, то він встановлюється для зовнішньої поверхні з полем допуску основної деталі  $\text{Ø}91,2h14$  чи  $\text{Ø}91,2_{-0,37}$ . Шорсткість поверхні  $R_a=40\ldots20$  мкм (у практиці заводів за якісно виконаних заготовках і нормальних виробничих умовах досягається вища точність обробки).

#### Задача 3

На зовнішній поверхні вала (рис. 3.7) задано допуск форми. Остаточну обробку цієї поверхні передбачається виконати шліфуванням на круглошліфувальному верстаті моделі 3М151.

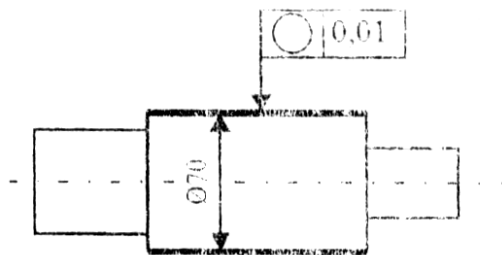


Рис. 3.7 – Ескіз вала

Необхідно встановити найменування та зміст умовного позначення вказаного відхилення; встановити можливість дотримання точності форми цієї поверхні при передбачуваній обробці.

#### Розв'язання

За поданим ескізом точність форми циліндричної поверхні виражається допуском круглості та складає 10 мкм. Згідно з ГОСТ 24643-81, цей допуск відповідає 6-му ступеню точності форми. Під терміном «допуск круглості» розуміють найбільш припустиме значення відхилення від круглості. Частковими видами відхилення від круглості є овальність, огранка й інше.

На круглошліфувальному верстаті моделі 3М151 можна здійснювати обробку заготовок із найбільшим діаметром до 200 мм і довжиною 700 мм. Отже,

він придатний для обробки цієї заготовки. Відхилення від круглості при обробці на цьому верстаті складає 2,5 мкм.

Отже виконання обробки із заданою точністю можливе.

#### Задача 4

На настроєному горизонтально-фрезерному верстаті, що працює відповідно до мети настроювання, начисто оброблюється вказана площина. При цьому має бути витриманий координуючий розмір  $h = (70 \pm 0,05)$  мм (рис. 3.8). Допуск розміру  $h$  дорівнює  $T_h = 0,1$  мм.

Необхідно встановити, чи буде витримана під час обробки задана точність розміру.

#### Розв'язання

З умови та з операційного ескізу видно, що за технологічну базу прийнято нижню площину  $A$  заготовки. Конструкторською та вимірювальною базами для контролю розміру  $h$  є верхня площина  $B$ . У зв'язку з тим, що бази не збігаються, виникла потреба в перерахунку конструктивних розмірів на технологічні.

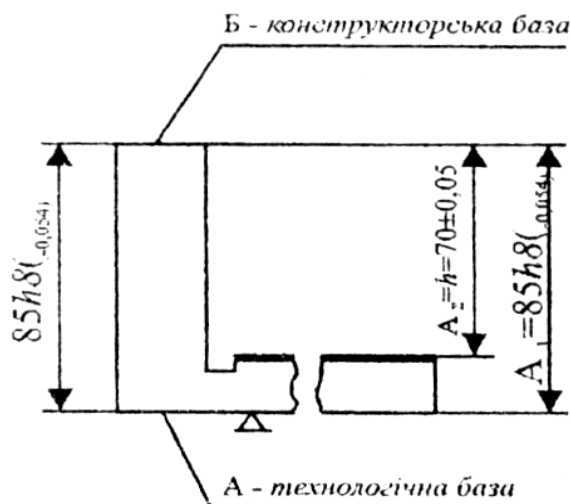


Рис. 3.8 – Ескіз деталі

При цьому необхідно розрахувати похибку  $\varepsilon_h$ , з якою може бути виконано розмір  $h$ , та порівняти її з допуском  $T_h$  цього розміру. Повинна бути витримана умова  $\varepsilon_h \leq T_h$ .

Розглядуваний розмірний ланцюг, що розглядається, є лінійним і складається з трьох ланок: розмір  $h = 70$  мм вважатимемо замикальною ланкою  $A$ ; перший складальний ланцюг – розмір  $A_1 = 85h8(85_{-0,05}^{+1})$  між раніше обробленими площинами є збільшуючим ланцюгом; друга складальна ланка – розмір  $A_2$  є технологічним, зменшуючим і точність його обумовлена нормами економічної точності обробки на верстатах. Для нашого випадку похибка цього розміру складає 0,06 мм.

Номінальні розміри усього ланцюга пов'язані рівнянням:

$$A_{\Sigma} = A_1 - A_2; \quad A_{\Sigma} = 85 - 15 = 70 \text{ мм.}$$

Під час розрахунку лінійного розмірного ланцюга (рис. 3.8) методом повної взаємозамінності, тобто методом «максимум – мінімум», визначають паралельні відхилення (похибки обробки) вихідного (замикального) ланцюга за формулою:

$$T_{\Sigma} = \sum_1^{m+n} T_i = (T_{A_1} + T_{A_2});$$

$$T_{\Sigma} = (0,054 + 0,06) = 0,114 \text{ мм.}$$

Як видно із розв'язання, допуск за кресленням  $T_h = 0,1$  мм менший, ніж можлива похибка під час обробки  $T_{\Sigma} = \varepsilon_h = 0,114$  мм, що зовсім неприпустимо. Отже, необхідно вжити заходів, що дозволять домогтися виконання умови  $\varepsilon_h \leq T_h$ .

Для цього, по-перше, можна поставити питання перед конструктором про зниження точності розміру  $h$ , тобто про розширення допуску  $T_h$  до значення 0,12, тоді  $h = (70 \pm 0,06)$  мм. Умову  $T_{\Sigma} \leq T_h$  буде виконано.

По-друге, застосувати як завершальну (фінішну) обробку тонке фрезерування або чистове шліфування. Економічна точність цих процесів вище і за них  $T_{A_2} = 0,025$  мм. Тоді:

$$T_{\Sigma} = (0,054 + 0,025) \text{ мм} = 0,079 \text{ мм.}$$

Умову  $T_{\Sigma} \leq T_h$  виконано.

По-третє, складальний розмір  $A=85h8$  отримано під час обробки площин  $A$  і  $B$  до розглядуваної операції, що розглядається. Якщо попередню обробку виконати точніше на один квалітет, тоді допуск розміру буде  $85h7(85_{-0,035})$ . Отже, похибка обробки:

$$T_{\Sigma} = (0,035 + 0,006) \text{ мм} = 0,095 \text{ мм.}$$

Умову  $T_{\Sigma} \leq T_h$  витримано.

По-четверте, під час розрахунку розмірного ланцюга можна користуватися ймовірнісним методом за формулою:

$$T_{\Sigma} = K_c \sum_1^{m+n} \frac{T_i}{\sqrt{m+n}},$$

де  $K_c=1,5$ . У виробництвах з налагодженим технологічним процесом коефіцієнт  $K_c$  знижується до 1,2. Тоді

$$T_{\Sigma} = 1,2 \frac{(0,054 + 0,06)}{\sqrt{2}} = 0,097 \text{ мм}$$

і витримано умову  $T_{\Sigma} \leq T_h$ .

По-п'яте, допуск замикального ланцюга розраховують із використанням для випадку розсіювання похибок відхилень за законом нормального розподілу за формулою:

$$T_{\Sigma} = \pm \sqrt{\sum_1^{m+n} (T_i')^2};$$

$$T_{\Sigma} = \pm \sqrt{0,027^2 + 0,03^2} = \pm 0,04 \text{ мм,}$$

або  $T_{\Sigma} = 0,08$  мм. Умову  $T_{\Sigma} \leq T_h$  виконано.

Зрештою, у разі незначного обсягу випуску деталей, тобто в одиничному або дрібносерійному виробництві, можна працювати не за налагодженням, а, наприклад, зі зняттям пробних стружок. Під час обробки кожної деталі контролюється розмір  $h$ .

### Задача 5

Для виготовлення корпусу опори виконано два варіанти конструкції вихідної заготовки, отримані литтям, (рис. 3.9).

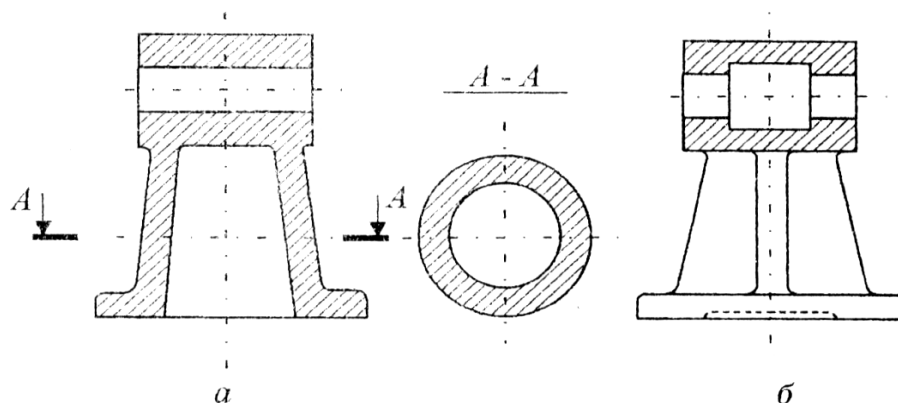


Рис. 3.9 – Ескіз деталі:

*а – перший варіант конструкції; б – другий варіант конструкції*

Необхідно встановити, який із варіантів має більш технологічне конструктивне оформлення вихідної заготовки.

#### Розв'язання

Корпус (рис. 3.9, *а*) має в нижній частині трубчасту порожнину. Для її утворення в ливарній формі доведеться застосовувати консольний стрижень, а це ускладнюватиме механічну обробку.

Корпус (рис. 3.9, *б*) у нижній частині має хрестоподібний перетин, що має високу міцність та жорсткість, і для виготовлення виливки не потрібен стрижень. Це значно полегшує виготовлення форм для лиття. Вилив симетричний відносно вертикальної площини та легко формується у двох опоках. Отвір у середній частині має виїмку і тому довжина поверхні отвору, що підлягає механічній обробці, скоротилася, а це, в свою чергу, значно полегшує та здешевлює механічну обробку.

Таким чином, можна зробити висновок, що другий варіант є більш технологічним.

### Задача 6

Вал регулятора довжиною  $L_d = 480$  мм (рис. 3.10) виготовляється в умовах дрібносерійного виробництва зі сталевого гарячекатаного прокату звичайної точності діаметром  $d_0 = 100$  мм. Найбільший за діаметром ступень вала  $\varnothing 90h10(90_{-0,38})$  із шорсткістю поверхні  $R_a(R_z20)$  оброблюється дворазово: попереднім та остаточним точінням.

Необхідно встановити загальний припуск на механічну обробку діаметрального розміру; встановити проміжні припуски на обидва переходи обробки статистичним методом; розрахувати проміжний розмір.

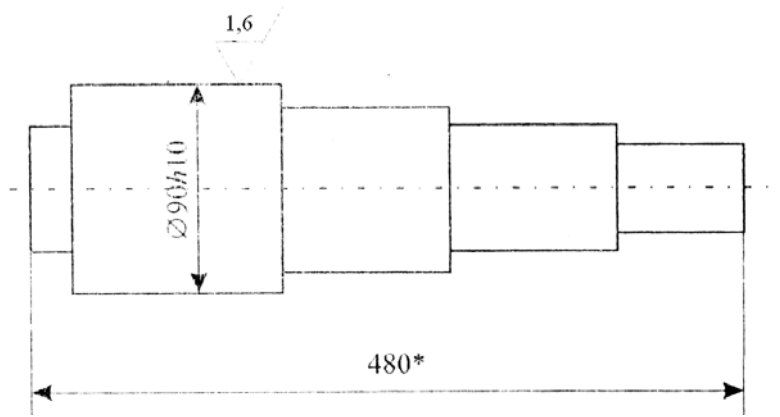


Рис. 3.10 – Ескіз деталі

#### Розв'язання

Загальний припуск на механічну обробку на діаметр визначається за формулою:

$$2\Pi_{заг_d} = d_0 - d_d;$$

$$2\Pi_{заг_d} = 100 - 90 = 10 \text{ мм.}$$

Проміжний припуск на діаметр у разі чистового точіння вала дорівнює  $2\Pi_{заг} = 1,2 \text{ мм.}$

Для дрібносерійного характеру виробництва припуск збільшується, для чого вводиться коефіцієнт  $K = 1,3$ , тобто

$$2\Pi_{2_{розрах}} = 1,2 \cdot 1,3 = 1,56 \approx 1,6 \text{ мм.}$$

Оскільки вказівки стосовно розміру операційного припуску на діаметр у разі чорнового точіння в технологічних довідниках відсутні, визначаємо його шляхом розрахунку, використовуючи формулу:

$$2\Pi_1 = \Pi_{заг_d} - 2\Pi_{2_{розрах}};$$

$$2\Pi_1 = 10 - 1,6 = 8,4 \text{ мм.}$$

Отже, вихідний розрахунковий розмір діаметра (найбільший граничний розмір) дорівнює  $d_{вих} = 90 \text{ мм}$ , операційний припуск на чистове точіння:

$$d_1 = d_{вих} + 2\Pi_2 = 91,6;$$

він же з допуском:

$$d_1 = 91,6 \text{ h } (91,6_{-0,35});$$

шорсткість поверхні 3,2.

У технологічній документації виконуються операційні ескізи на обидва переходи (рис. 3.11).

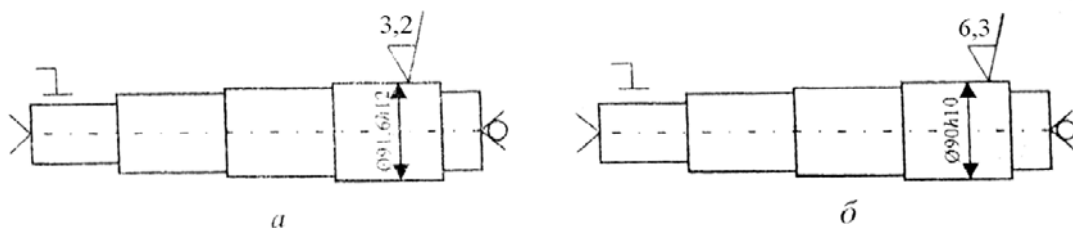


Рис. 3.11 – Ескіз деталі: а – перший перехід; б – другий перехід

### 3.4.2 Задачі для самостійного розв'язання

#### Задача 1

Одна із ступенів вала піддається механічній обробці одним із зазначених способів. Номери варіантів наведено в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 – Варіанти методів обробки

Номер варіанта	Метод обробки та її характер	Довжина вала, мм	Діаметр \ східця, мм
I	Притирання	100	20
II	Обточування напівчисте	200	45
III	Шліфування тонке	500	55
IV	Обточування однократне	450	120
V	Суперфініш	700	100
VI	Шліфування попереднє	250	70
VII	Обточування тонке	375	65
VIII	Обточування остаточне	275	50
IX	Вигладжування алмазне	60	170
X	Шліфування остаточне	120	38

Необхідно встановити економічну точність обробки; виконати операційний ескіз і вказати на ньому розмір, квалітет точності, розмір допуску та шорсткість. Прийняти, що поверхня розглядуваного ступеня вала, має поле допуску основної деталі ( $h$ ).

#### Задача 2

На рис. 3.12 і в таблиці 3.15 позначено варіанти поверхонь із допустимими відхиленнями форми.

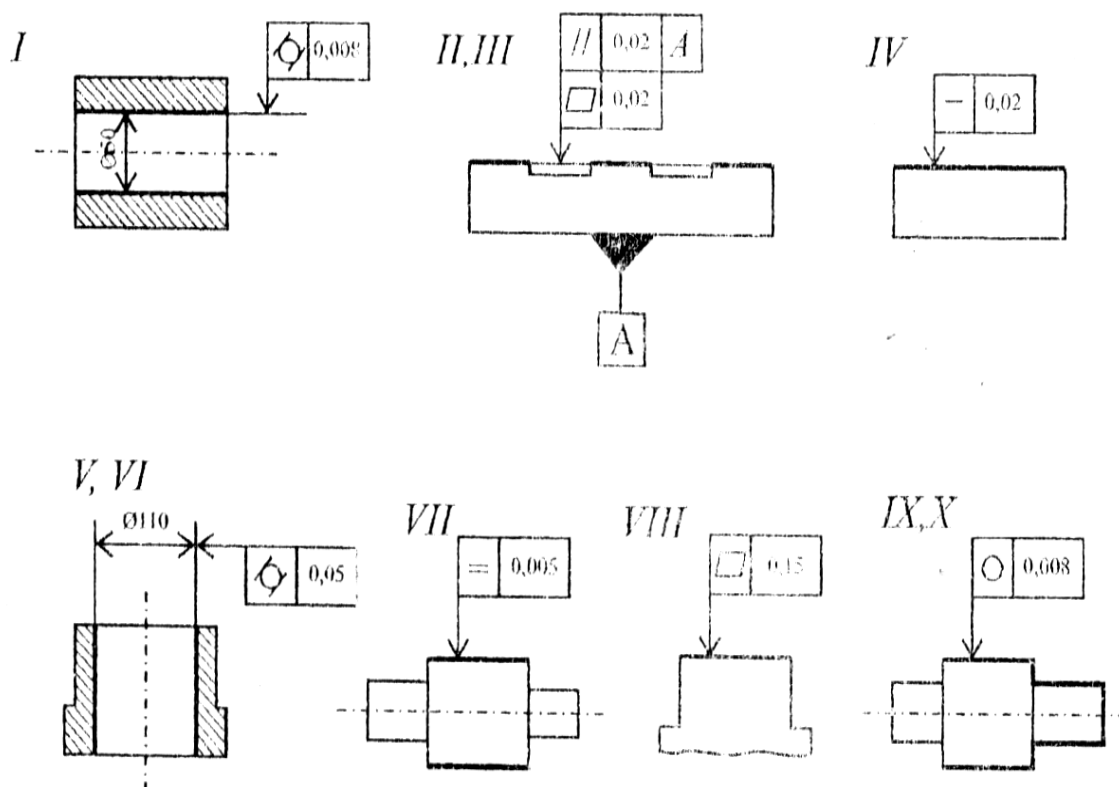


Рис 3.12 – Варіанти форми поверхонь деталей



Таблиця 3.15 – Варіанти форми поверхонь деталей

Номер варіанта	Форма поверхні	Тип верстата
I	Отвір	Внутришліфувальний
II	Площина	Плоскошліфувальний
III	Площина	Плоскошліфувальний
IV	Грань	Круглошліфувальний
V, VI	Отвір	Хонінгувальний
VII	Циліндр	Токарно-гвинторізний
VIII	Площина	Поздовжньо-стругальний
IX	Циліндр	Токарний багато різцевий
X	Циліндр	Круглошліфувальний

Необхідно встановити можливі варіанти завершального (фінішного) методу обробки цієї поверхні; товщину дефектного шару, який залишиться після цієї обробки.

### Задача 3

Для зовнішньої поверхні деталі задано необхідну шорсткість поверхні. Варіанти наведено в таблиці 3.16.

Необхідно встановити можливі варіанти завершального (фінішного) методу обробки цієї поверхні; товщину дефектного шару, який залишиться після цієї обробки.

Таблиця 3.16 – Вихідні дані

Номер варіанту	Найменування деталі	Вигляд вихідної заготовки	Шорсткість деталі $R_a$ , мкм
1	Втулка	Литво чавунне I класу	2,50
2	Втулка	Литво чавунне II класу	1,25
3	Обойма	Литво чавунне I класу	1,25
4	Обойма	Литво чавунне II класу	0,32
5	Вал	Прокат сталевий гарячекатаний звичайної точності	10,00
6	Вал	Прокат сталевий гарячекатаний підвищеної точності	0,63
7	Палець	Прокат сталевий гарячекатаний звичайної точності	5,00
8	Палець	Прокат сталевий гарячекатаний підвищеної точності	0,32
9	Шестірня	Сталеve штампування	2,50
10	Шестірня	Поковка	5,00

### Задача 4

На рис. 3.13 та в таблиці 3.17 надано варіанти операцій.

Необхідно визначити можливу похибку базування розміру в результаті виконання зазначеної обробки.

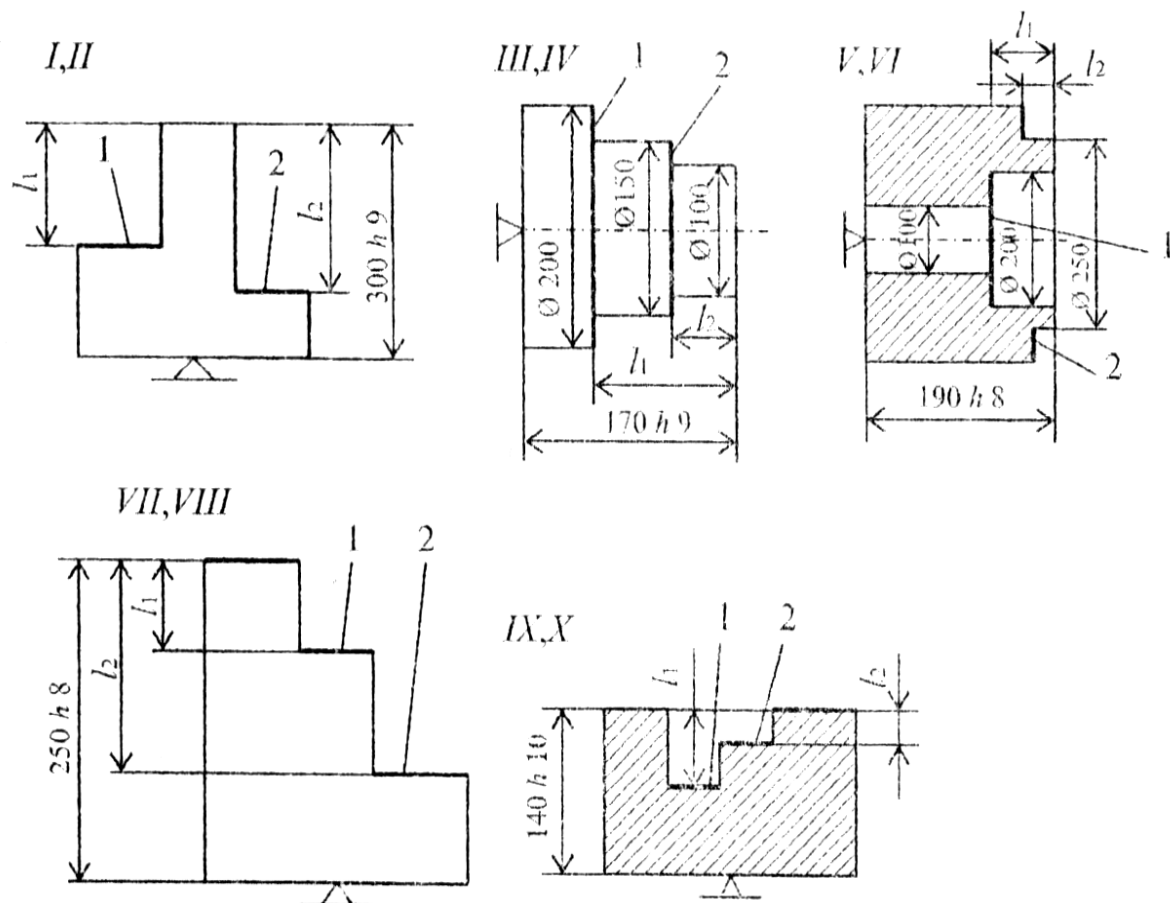


Рис. 3.13 – Варіанти форми поверхонь деталей

Таблиця 3.17 – Варіанти форми поверхонь деталей

Номер варіанта	Зміст операції	Розмір $l$ , мм
I	Стругати площину 1 попередньо	$l_1=150\pm0,2$
II	Стругати площину 2 остаточно	$l_2=170\pm0,1$
III	Підрізати торець 1 попередньо	$l_1=60\pm0,3$
IV	Підрізати торець 2 остаточно	$l_2=30\pm0,1$
V	Підрізати торець 1 попередньо	$l_1=100\pm0,2$
VI	Підрізати торець 2 остаточно	$l_2=50\pm0,1$
VII	Шліфувати площину 2 попередньо	$l_1=75\pm0,1$
VIII	Шліфувати площину 2 остаточно	$l_2=175\pm0,2$
IX	Фрезерувати площину 2 попередньо	$l_1=70\pm0,4$
X	Фрезерувати площину 2 остаточно	$l_2=30\pm0,2$

### Задача 5

Під час конструювання вихідної заготовки або її елементів були запропоновані дві конструкції (варіанти наведено в таблиці 3.18 і на рис. 3.14).

Таблиця 3.18 – Варіанти форми поверхонь деталей

Номер варіанта	Найменування деталі	Вид заготовки
I; VI	Колесо зубчасте	Поковка штампована
II; VII	Важіль	Поковка штампована
III; VIII	Кришка	Виливок
IV; IX	Горловина корпусу	Зварна
V; X	Корпус круглий	Виливок

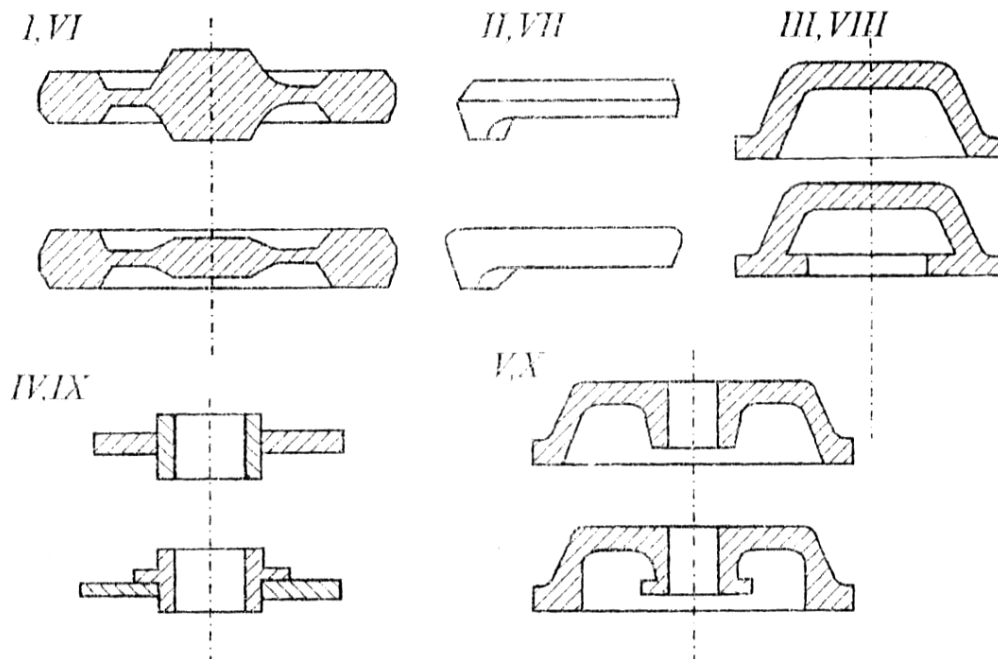


Рис. 3.14 – Варіанти форми поверхонь деталей

### Задача 6

Для виготовлення вала регулятора (рис. 3.15) в якості заготовки використано гарячекатаний сталевий круглий прокат звичайної точності діаметром  $d_0$ . Найбільша за діаметром ступінь цього вала діаметром  $d_d$ , вона виготовляється з точністю за 11-м квалітетом та шорсткістю поверхні  $R_a10$ , оброблюється двічі попереднім та остаточним точінням. Варіанти задачі наведено в таблиці 3.19.

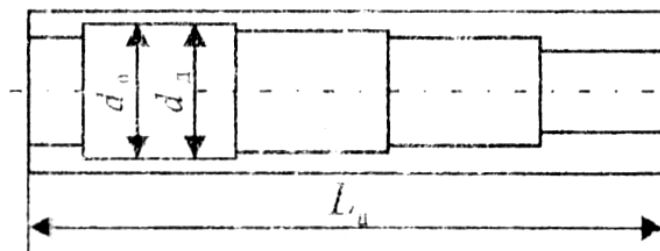


Рис. 3.15 – Ескіз деталі

Таблиця 3.19 – Вихідні дані

Номер варіанта	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
$d_b$ , мм	75h11	85a11	65b11	95a11	60a11	95d11	70a11	90h11	80d11	75h11
$d_0$ , мм	80	95	70	105	65	100	75	95	90	60
$L_d$ , мм	430	460	320	450	325	400	400	420	450	300

За допомогою таблиць необхідно встановити загальний і проміжний припуски; розрахувати проміжний розмір і виконати операційні ескізи.

## 4. КОНТРОЛЬ У ВИРОБНИЦТВІ І РЕМОНТІ ВИРОБІВ ГО І ТС

### 4.1 Загальна характеристика контролю

До заходів, що забезпечують необхідну якість виробів, у тому числі їхню надійність, належить контроль. Операції контролю здійснюються практично під час усього життєвого циклу виробництва й експлуатації виробів. Метою контролю є визначення якісних і кількісних характеристик виробів, оцінка відповідності параметрів об'єкта контролю вимогам конструкторської й технологічної документації, чинним нормам і ДСТУ. При відхиленні параметрів від норми на величини, що перевищують допуски, виріб визнається некондиційним.

Організацію та здійснення всієї системи контролю в процесі виробництва покладено на ВТК і службу державної підтримки. Хоча вони й мають одні й ті самі завдання – забезпечення технічного контролю на всіх етапах виробництва, проте різняться підпорядкованістю. Якщо служба ВТК є одним із виробничих підрозділів виробництва, тоді органи державного приймання не підпорядковані виробництву, повністю звільнені від відомчих інтересів і представляють інтерес споживача. Таким чином, ніби здійснюється і контроль ТП контролю, що дозволяє більш якісно розв'язувати питання, що виникають під час проведення вхідного контролю матеріалів, деталей і виробів, які надходять із суміжних підприємств, і має місце вплив, що забезпечує їхню необхідну кількість.

Відділ технічного контролю на етапі освоєння нового виробу забезпечує глибоке вивчення усієї документації, працює над проблемами організації та технічного забезпечення контролю. Підготовка виробництва має проводитися з використанням накопиченого досвіду та зібраних статистичних даних на інших підприємствах під час виробництва подібних виробів.

На етапі виробництва або ремонту здійснюють вхідний контроль комплектуючих матеріалів; контроль технологічних режимів виробництва і між операційний контроль; проводять заходи з виявлення причин некондиційності (браку) виробів, а також остаточне приймання та випробування виробів ГО і ТС.

Вхідний контроль проводиться лабораторією вхідного контролю. У процесі вхідного контролю перевіряють матеріали, напівфабрикати та комплектуючі виробу, а також документацію на них шляхом проведення аналізів та випробувань.

Контроль у процесі і виробництві здійснює бюро технічного контролю цеху. Під час контролю проводиться приймання й оцінка якості виробів. Заходи з виявлення причин некондиційності є одним з важливіших у роботі ВТК. Для проведення цієї роботи залучаються розробники виробів, лабораторії, відділи, цехи. Остаточне приймання й випробування виробів ГО і ТС проводяться в лабораторії типових випробувань. Під час їх проведення виявляється вплив кліматичних і механічних чинників на якість виробів ГО і ТС.

Як правило, у складі ВТК є контрольно-вимірвальна лабораторія, що здійснює перевірку й атестацію використовуваних засобів контролю, а також виготовлюваних на підприємстві оснащення й інструментів; технічне бюро, яке зберігає та систематизує інформацію під час експлуатації, проводить роботи із забезпечення результатів контролю якості, а також керує ВТК у цехах. Окрім

того, до складу ВТК входить інспекторська група.

На підприємствах з метою забезпечення необхідного рівня надійності працюють відділи або лабораторії надійності. За співпрацю з ВТК вони розробляють заходи, що забезпечують необхідний рівень надійності виробів. З цією метою розробляються програми та методики випробувань на надійність. Здійснюється обробка статистичних даних і виробляються рекомендації з удосконалення виробів та технічної документації на розробку контрольно-вимірювального обладнання. Метою всіх проведених заходів є отримання достовірних даних про фактичну надійність виробів та у випадку необхідності, вироблення заходів з її підвищення.

Класифікувати види технічного контролю можна за низкою ознак: способом контролю, відношенням до виробничого процесу; ступенем придатності виробів до використання; ступенем охоплення; характером впливу контролю на хід виробничого процесу; періодичністю контролю; ступенем участі людини в процесі контролю. Слід відзначити, що деякі операції контролю не впливають на якість виробу (не руйнуючий контроль), інші ж не зворотно погіршують якість. Руйнуючий контроль найчастіше зустрічається під час оцінки надійності та міцності.

Розглянемо основні способи контролю.

Візуальний контроль здійснюється шляхом зовнішнього огляду виробу з метою виявлення поверхневих дефектів і невідповідності виробу кресленню. Під час візуального контролю виробів важливо перевіряти якість монтажу, в тому числі якість паяних та зварених з'єднань, якість ізоляції проводів і плат, а також відповідність виробу кресленню. Контроль здійснюється на основі технологічних карт контролю, за описом операцій контролю в технологічних картах або ж спеціально розробленими інструкціями. Під час проведення візуального контролю використовують оптичні засоби – лупу, мікроскопи, дзеркала, необхідні для огляду прихованих поверхонь і контролю якості зварювань.

Геометричний контроль здійснюється за допомогою замірів вимірювальними інструментами розмірів і форм деталей і виробів та порівняння з кресленнями або зразками.

Механічний контроль здійснюється шляхом прикладення статистичних або динамічних навантажень з метою перевірки міцності з'єднань і кріплень, а також контролю якості використаних в деталях матеріалів, які піддаються механічним впливам. Для проведення механічного контролю можуть бути використані як динамометри, так і центрифуги, вібраційні й ударні стенди.

Фізико-хімічний контроль полягає дослідженні фізичних і хімічних властивостей матеріалів, що використовуються для виготовлення деталей виробів ГО і ТС.

Технологічний контроль здійснюється шляхом контролю правильності виконання операцій ТП з метою попередження порушень технологічних режимів. Для організації технологічного контролю потрібне збирання статистичних даних про якість виробів і побудування фізико-хімічної чи статистичної моделі, яка пов'язує показники якості та параметри технологічних режимів.

Стосовно виробничого процесу розрізняють поточний (міжопераційний) контроль процесу виробництва та приймальний (вихідний) контроль готових виробів. Міжопераційний контроль використовується в ході ТП після найскладніших,

нестабільних операцій, які дають високий рівень браку. Введення між операційного контролю дозволяє вилучити брак з технологічної лінії і тим самим усунути витрати на свідомо некондиційний виріб, виявити причину браку та вжити заходів з їх усунення, наприклад, налагодити обладнання або замінити інструмент, або ж, у випадку принципової нестійкості конкретного ТП, змінити технології з метою підвищення стабільності виробництва. або ж урахувати наявність браку шляхом запуску у виробництво великої кількості виробів, останнє гарантує стабільний випуск необхідної кількості кондиційної продукції. Приймальному контролю підлягають готові вироби, які мають самостійне застосування.

За способами визначення ступеня придатності виробу до використання контроль можна класифікувати за ознаками контролю.

Під час контролю за якісною ознакою з деякою точністю визначається чисельне значення контрольованого параметра. Значення контрольованого параметра залежить від низки факторів, як детермінованих, так і випадкових. На підставі результатів контролю можлива корекція систематичних відхилень від норми шляхом регулювання ТП. Після статичної обробки результатів вимірювання неперервної випадкової величини можна визначити її закон розподілу. У випадку нормального закону розподілу достатніми характеристиками будуть математичне сподівання та дисперсія. Кількісні ознаки можуть бути як неперервними, так і дискретними, випадковими величинами.

Під час здійснення контролю за якісною ознакою використовується таке поняття, як подія. Виріб може потрапити в допуск і бути кондиційним або ж вийти за його межі та стати браком. Під час здійснення контролю за якісною ознакою використовують вибіркові методи контролю – оцінюють партію з  $n$  виробів за контролем вибірки обсягом  $n$  виробів ( $n < N$ ). При цьому отримують, що кількість некондиційних виробів у вибірках підпорядковується біномному закону розподілу.

Поряд з перевагами контролю за якісним показником – простотою методу контролю, малим обсягом обчислень - існує і недолік: у зв'язку із втратою інформації про конкретне значення контрольованої величини втрачається можливість виявляти зміни в ході ТП та попереджати появу браку завдяки заходам з проведення операцій налаштування технологічного обладнання.

За ступенем охоплення виробів ГО і ТС контролем розрізняються суцільний (стовідсотковий) і вибірковий контроль. Стовідсотковий контроль дозволяє розв'язати завдання вилучення некондиційних виробів під час міжопераційного контролю з подальшого виробництва й забезпечити високу якість готових виробів під час вихідного контролю. Вибірковий контроль застосовують у випадку масового та великосерійного виробництва, знижуючи витрати на контрольні операції. Під час організації вибіркового контролю важливим питанням є його точність і надійність, а це залежить від обсягу вибірки та використовуваного контрольного обладнання.

На практиці використовується різновид вибіркового контролю – оперативний контроль. Його метою є перевірка правильності виконання ТП, оперативного усунення місць виникнення браку. До цього типу контролю належить й інспекторський контроль. Він здійснюється інспекторською групою при началь-

нику ВТК. Результати інспекторського контролю аналізуються спільно інспекторською групою ВТК і технологічною службою підприємства.

За характером впливу контролю на хід виробничого процесу розрізняють активний і пасивний контроль. Пасивний контроль частіше здійснюється за якісною ознакою. Він призначений для вилучення браку і необхідний для аналізу причин його виникнення та вжиття заходів для їх усунення. Під час його використання застосовується статистичне оброблення результатів вимірювання.

За періодичністю контроль поділяється на безперервний, періодичний та інспекторський. Якщо безперервний контроль та періодичний контроль плануються заздалегідь та покликані підтримувати необхідну стабільність ТП, то інспекторський здійснюється у разі збільшення браку або виявленні порушень у технології виробництва.

За ступенем участі людини в процесі контролю розрізняють ручний, напівавтоматичний та автоматичний види контролю.

Ручний контроль доцільно застосовувати у разі одиничного та дрібносерійного виробництва, під час виготовлення унікальної апаратури. Він найбільш трудомісткий і потребує високої кваліфікації контролера, останнє, однак, не гарантує його високої якості. Під час ручного контролю використовується стандартне універсальне вимірювальне обладнання. Основні витрати часу припадають на операції регулювання контрольних пристроїв.

Напівавтоматичний контроль здійснюється на спеціальному контрольно-вимірювальному обладнанні. Процес вимірювання автоматизується, однак підготовчі та заключні операції здійснюються вручну. Використовується в серійному та масовому виробництві.

Автоматичний контроль здійснюється на установках з високим рівнем автоматизації всіх процесів – близько 98 % часу контролю припадає на роботу автоматів. Автоматизуються й такі «інтелектуальні» операції, як сортування за групами якості, визначення характеру несправності тощо. Розвиток мікропроцесорної техніки дозволяє роботи контрольне обладнання досить універсальним, а застосування роботів – адаптованим до різних видів продукції.

Успішно розвиваються не руйнуючі методи контролю, засновані на використанні рентгенівських установок, інфрачервоної техніки й інших видів інтроскопії. Розвиток технічних засобів діагностування необхідний для створення автоматизованих, керованих контролюючих комплексів, які охоплюють усе виробництво та здійснюють оперативне керування ТП.

## **4.2 Вхідний контроль комплектуючих**

Відповідно до методу проведення контроль поділяється на одноступеневий, двоступеневий та послідовний.

Одноступеневий контроль – це приймальний статистичний контроль (ПСК), під час якого рішення щодо якості партії з  $N$  контрольованих виробів, приймаються на підставі перевірки тільки однієї випадкової вибірки, обсяг якої  $n$ . За підсумками контролю визначають кількість дефектних виробів у вибірці  $m$ .

Партію з  $N$  виробів приймають, якщо  $m \leq C_1$ , де  $C_1$  – норматив оцінювання (приймальне число). В іншому разі партію контролюють повністю, тобто виконують 100 %-й контроль (із заміною дефектних виробів придатними) або бракують, якщо неможливо виконати 100 %-й контроль (виріб може вийти з ладу) або це недоцільно з економічної точки зору.

Імовірність приймання партії за підсумками контролю вибірки визначається з рівняння:

$$B_n = \sum_{m=0}^c \frac{a^m}{m!} e^{-a},$$

де  $m$  – кількість дефектних виробів у вибірці;  $a = n \cdot g$  – параметр розподілу Пуассона;  $n$  – обсяг вибірки;  $g$  – частка дефектних виробів.

Оперативна характеристика приймального контролю – це ймовірність прийому партії залежно від частки дефектних виробів у ній (рис. 4.1).

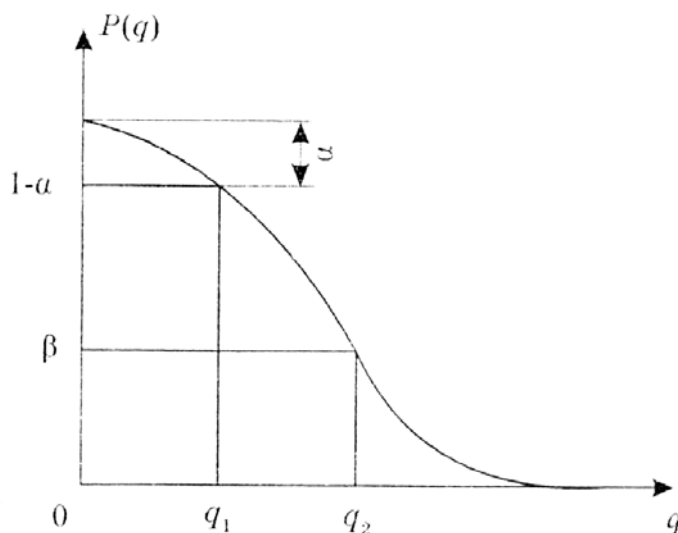


Рис. 4.1 – Оперативна характеристика

Значення  $(1 - P(q_1))$ , де  $q_1$  – приймальний рівень якості, визначає ризик постачальника  $\alpha$ .

Ризик постачальника – імовірність забракування якісної партії, тобто партії, частка дефектних виробів у якій не перевищує приймального рівня  $q_1$ .

Ризик споживача – найбільша ймовірність приймання неякісної партії, тобто партії, частка дефектних виробів у якій перевищує бракувальний рівень  $q_2$ .

Двоступеневий контроль – це ПСК, під час якого рішення щодо якості партії контрольованих виробів приймається за результатами перевірки двох вибірок, причому необхідність відбору другої вибірки визначається підсумками перевірки першої вибірки.

Якщо  $m_1 \leq C_1$  – партію приймають, якщо  $m_2 \geq C_2$  – партію бракують ( $C_1$  – приймальне число;  $C_2$  – бракувальне число для першої вибірки).

Якщо  $C_1 < m_1 < C_2$ , то обирається друга вибірка, яка теж контролюється та визначається кількістю браку  $m_2$ .



Якщо  $m_1 + m_2 < C_3$ , то партія приймається, якщо  $m_1 + m_2 \geq C_4$ , то партію слід контролювати повністю ( $C_3$ ,  $C_4$  – відповідно приймальне та бракувальне числа для другої вибірки).

Для проведення послідовного контролю слід насамперед побудувати лінію приймання та бракування, для побудови яких використовуються співвідношення:

$$C_{np} = \frac{\varepsilon - 1}{\ln \varepsilon} \cdot a - \frac{A}{\ln \varepsilon}; \quad C_{бр} = \frac{\varepsilon - 1}{\ln \varepsilon} \cdot a - \frac{B}{\ln \varepsilon},$$

$$\varepsilon = \frac{q_2}{q_1}; \quad a = n \cdot q; \quad A = \ln \frac{1 - \alpha}{\beta}; \quad B = \ln \frac{1 - \beta}{\alpha}.$$

Здійснюється послідовний контроль, доки точка з координатами  $(n, m)$  не потрапить у зону приймання або бракування (рис. 4.2).

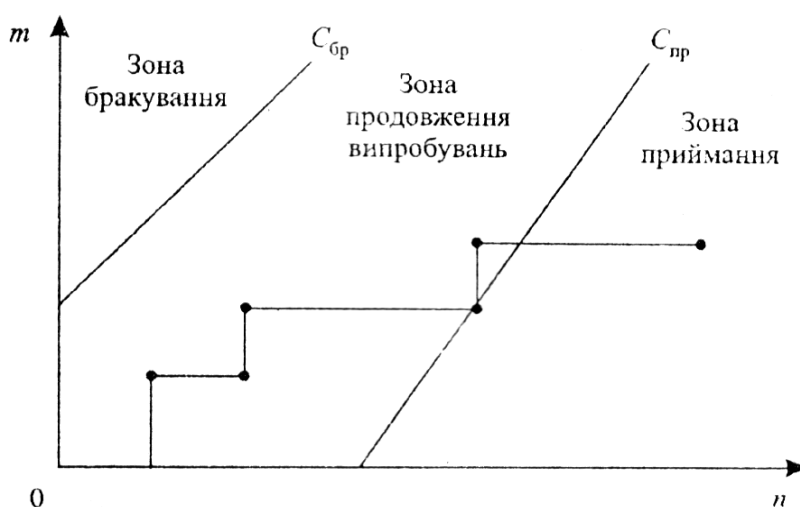


Рис. 4.2 – Контроль якості методом послідовного аналізу

Значення  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $p$  приймають, використовуючи попередні дані про контрольовані вироби.

У таблицях 4.1 – 4.3 наведено приймальні та бракувальні числа, квантілі коду якості різних обсягів вибірок для одноступеневого та двоступеневого контролю.

Таблиця 4.1 – Одноступеневий нормальний контроль

Позначення обсягу вибірки	Обсяг вибірки	Приймальні та бракувальні числа за приймальним рівнем якості, % та коди показника якості																	
		1,0		1,5		2,5		4,0		6,5		10,0		15,0		25,0		40,0	
		31	32	33	34	35	36	37	38	39									
01	2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	2	1	2	1	3	2	3
02	3	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	2	1	2	2	3	3	4
03	5	0	1	0	1	0	1	0	1	1	2	1	2	2	3	3	4	5	6
04	8	0	1	0	1	0	1	1	2	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8
05	13	0	1	0	1	1	2	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11
06	20	1	2	1	2	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15
07	32	1	2	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22
08	50	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	21	22

Таблиця 4.2 – Кванти лі оперативних характеристик для коду обсягу вибірки 06

P, %	Приймальний рівень якості				
	0,65	2,50	4,00	6,50	10,00
	Частина дефектних одиниць, %				
90	0,525	2,690	5,640	9,030	16,600
75	1,430	4,810	8,700	12,800	21,600
50	3,410	8,250	13,100	18,100	27,900
25	6,700	12,900	18,700	24,200	34,800
10	10,900	18,100	24,500	30,400	41,500
5	13,900	21,600	28,300	34,400	43,600

Таблиця 4.3 – Двоступеневий нормальний контроль

Кодове позначення обсягу вибірки	Обсяг вибірки	Приймальні та бракувальні числа за приймальним рівнем якості, % та коди показника якості																	
		1,0		1,5		2,5		4,0		6,5		10,0		15,0		25,0		40,0	
		31	32	33	34	35	36	37	38	39									
04	5	–	–	–	–	–	–	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7
	5	–	–	–	–	–	–	1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9
05	8	–	–	–	–	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9
	8	–	–	–	–	1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	11	13
06	13	–	–	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	11
	13	–	–	1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	12	13	18	19
07	20	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	12	11	18
	20	1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	12	13	18	19	26	27
08	32	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	11	11	16	11	16
	32	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	12	13	18	19	26	27	26	27

### 4.3 Собівартість вихідного контролю

Економічна оцінка вхідного контролю дозволяє отримати співвідношення між вартістю контролю виробів, що надходять, і витратами на заміну бракованих елементів, що потрапляють в апаратуру. Тим самим вирішується питання щодо доцільності застосування того чи іншого виду вихідного контролю. Такий контроль доцільний для виробів ГО і ТС, які не забезпечують значною мірою надійності параметрів виготовлення апаратури.

Введемо поняття повної собівартості, під якою розумітимемо суму витрат на вхідний контроль та усунення бракованих елементів в апаратурі.

Визначення повної собівартості дамо для трьох можливих практичних випадків.

За відсутності вхідного контролю повна собівартість дорівнює вартості робіт з усунення бракованих елементів, що потрапляють в апаратуру. Вона дорівнює добутку кількості браку в партії деталей та цехових витрат на вилучення бракованої деталі із зібраного виробу та заміну її справною деталлю:

$$C'_0 = P \cdot N \cdot C_R,$$

де  $P$  – частка або ймовірність браку серед деталей, що надходять;  $C_R$  – витрати на заміну однієї деталі;  $N$  – загальна кількість деталей.

У випадку стовідсоткового контролю повна вартість дорівнює сумі витрат на контроль і заміну бракованих деталей.

Кількість пропущених деталей визначається кваліфікацією контролера та якістю контрольно-вимірювальної апаратури.

Повна собівартість у цьому випадку визначається рівнянням

$$C''_0 = N \cdot C_T + K_1 \cdot P \cdot N \cdot C_R,$$

де  $C_T$  – вартість контролю однієї деталі;  $K_1$  – частка браку, пропущеного у випадку стовідсоткового контролю.

У випадку вибіркового контролю повна собівартість складається з двох частин:

– з вартості приймання партії деталей на підставі вибірки, яка може бути представлена таким виразом:

$$C = P_A [nC_T + (N - n)PC_R + nK_2PC_R],$$

де  $nC_T$  – вартість контролю вибірки, що складається з  $n$  деталей;  $(N - n)PC_R$  – вартість заміни бракованих деталей з неперевіреної частини партії;  $nK_2PC_R$  – вартість заміни бракованих деталей з перевіреної частини партії (вибірки), що пропущені контролером;  $P_A$  – імовірність приймання партії;

– з вартості відбракованої партії, яка дорівнює вартості контролю відібраних деталей, помноженої на ймовірність відбракування  $(1 - P_A)$ .

Вираз для очікуваної повної вартості відбракованих партій має вигляд:

$$\frac{n \cdot C_T \cdot (1 - P_A)}{P_A}.$$

Повна собівартість у разі вибіркового контролю визначається виразом:

$$C'''_0 = P_A \cdot [n \cdot C_T + (N - n) \cdot P \cdot C_R + n \cdot K_2 \cdot P \cdot C_n] + \frac{n \cdot C_T \cdot (1 - P_A)}{P_A}.$$

Користуючись виведеними рівняннями, можна побудувати графіки повної вартості контролю залежно від якості партії, що характеризується величиною  $P$ , тобто часткою браку.

Графіки повної вартості контролю наведені на рис. 4.3.

Графік повної вартості для стовідсоткового контролю є майже горизонтальною прямою лінією, що дещо знижується залежно від значення  $K$ ,  $P$ .

Графік повної вартості за відсутності вхідного контролю комплектуючих деталей є похилою лінією, що проходить через початок координат.

За  $P = 0$  повна вартість дорівнює нулю, а з погіршенням якості комплектуючих деталей повна вартість зростає лінійно. Інтенсивність браку повної вартості залежить від загальної кількості деталей та рівня витрат на їх заміну.

Графік повної собівартості для вибіркового контролю має нелінійний характер. За  $P = 0$  вартість визначається значенням  $nC_T$ , у разі зростання  $P$  вона зростає, але менш інтенсивно, ніж за відсутності контролю.

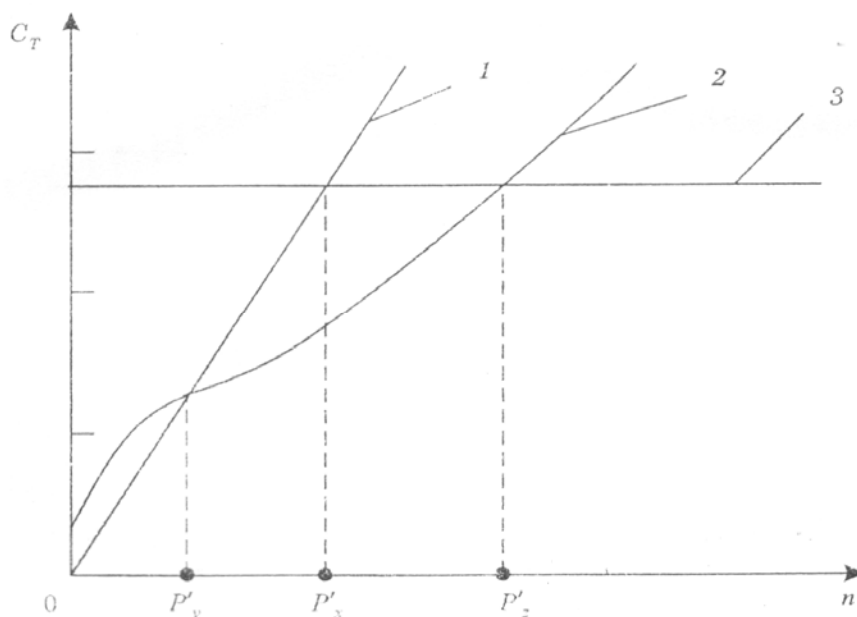


Рис. 4.3 – Графіки повної залежності різних методів контролю:  
 1 – відсутність входного контролю; 2 – вибіркового контролю;  
 3 – стовідсотковий контроль

За графіками повної вартості можна визначити оптимальний за вартістю варіант контролю.

Спосіб контролю комплектуючих деталей визначатиметься розміром партії  $n$  та часткою браку  $P$ , який наявний у цій партії, а також іншими параметрами, які можуть бути або заданими, наприклад  $C$  та  $C_R$ , або бути функцією від  $N$  або  $P$ , наприклад  $n$  або  $P_A$ .

Частка браку  $P$  зазвичай є невідомою до перевірки партії і тому слід під час оцінювання цієї величини орієнтуватися на статистичні дані, отримані раніше.

Оптимальну оцінку контролю можна отримати також аналітичним способом, без графічних побудов. Для цього визначити критичні точки, тобто такі точки, в яких одна схема контролю є дешевшою за іншу. Позначимо ці критичні точки через  $P'_x, P'_y, P'_z$ .

За відсутності контролю та за стовідсотковому контролі критична точка  $P'_x$  перетину кривих повної вартості визначається з рівняння

$$P' \cdot N \cdot C_R = N \cdot C_T + K_1 \cdot P' \cdot N \cdot C_R,$$

тобто

$$P'_x = \frac{C_T}{C_R \cdot (1 - K_1)}.$$

Стовідсотковий контроль буде більш економічним, коли рівень якості деталей  $P'$ , що надходять, більше значення  $P'_x$ , і навпаки, за  $P' < P'_x$  більш економічною відсутність контролю.

За відсутності вхідного контролю та у випадку вибіркового контролю критична точка  $P'_y$  перетину кривих повної вартості визначається з рівняння:

$$P' \cdot N \cdot C_R = P_A \cdot [n \cdot C_T + (N - n) \cdot P' \cdot C_R + K_2 \cdot n \cdot P' \cdot C_R] + \frac{n \cdot C_T \cdot (1 - P_A)}{P_A},$$

тобто

$$P'_y = \frac{n \cdot C_T}{C_R \cdot [N - P_A \cdot (N - n + n \cdot K_2)]}.$$

Імовірність приймання партії  $P_A$  виражається у функції  $P'$  і  $n$  та може бути визначена з урахуванням формули Пуассона:

$$P_r = \frac{(n \cdot P')^r}{r!} \cdot e^{-n \cdot P'},$$

де  $n$  – кількість вибраних для контролю деталей;  $P'$  – відсоток браку;  $P_r$  – імовірність того, що серед оброблених деталей буде  $r$  бракованих.

Очевидно, що  $P'_y$  необхідно обчислювати відповідно до конкретного плану розглядуваної вибірки з погляду на те, що для кожного плану вибірки значення  $P_A$  будуть різними.

Порядок визначення  $P'_y$  є наступним:

- розроблення плану вибірки, встановлення кількості вироблених деталей  $n$ , розміру партії  $N$  і критерію приймання  $AC$ , під яким розуміється мінімальна допустима кількість забракованих деталей серед деталей, відібраних для контролю.

Значення  $P_A$ , відповідне до будь-якого значення  $AC$ , може бути отримане з таблиць розподілу Пуассона з урахуванням передбачуваного значення  $P' \cdot P_A$ . Воно дорівнює сумі всіх  $P_r$ , майже до  $r = AC$ ;

- визначення  $P'_y$  з урахуванням здобутого значення  $P_A$ ;

- перевірка економічності: відсутність вхідного контролю буде більш економічною у разі передбачуваного значення  $P'$ , меншого за  $P'_y$ . Коли  $P' > P'_y$ , то більш економічним є спосіб вибіркового контролю.

У випадку стовідсоткового контролю та вибіркового контролю критична точка  $P'_z$  перетину кривих повної вартості визначається з рівняння:

$$\begin{aligned} N \cdot C_r + K_1 \cdot P' \cdot N \cdot C_R = \\ = P_A \cdot [n \cdot C_r + (N - n) \cdot P' \cdot C_R + K_2 \cdot n \cdot P' \cdot C_R] + \frac{n \cdot C_r \cdot (1 - P_A)}{P_A}, \end{aligned}$$

звідси

$$P'_z = \frac{P_A \cdot C_T \cdot [N - P_A \cdot n + n] - n \cdot C_r}{P_A^2 \cdot C_R \cdot [(N - n) + K_2 \cdot n] - P_A \cdot C_R \cdot K_1 \cdot N}.$$

Значення  $P'_z$  отримують таким саме чином, як і в попередньому випадку. Якщо значення  $P'$  є меншим за передбачуване значення  $P'_z$ , то більш економічним є метод вибіркового контролю. Якщо  $P' > P'_z$ , то більш економічним буде метод стовідсоткового контролю.

### **Запитання та завдання для самоперевірки**

1. Надайте визначення поняття «контроль».
2. Яким чином здійснюється вибір засобів контролю?
3. Порівняйте економічну ефективність різних методів контролю.

### **4.4 Приклади розв'язання задач**

#### **Задача 1**

Під час контролю вибірки обсягом  $N = 10000$  шт. жоден з виробів не був бракованим. Визначити мінімальний обсяг вибірки, щоб із надійною ймовірністю  $\beta = 0,9$  вважати, що за відсутності у вибірці бракованих виробів ймовірність виходу годящих була не нижче 0,95.

#### *Розв'язання*

Визначимо обсяг вибірки  $n$ , щоб з ймовірністю  $\beta = 0,95$  можна було б вважати, що невідома ймовірність браку знаходиться в довірчому інтервалі  $I_{\beta}^Q(Q_1 = 0; Q_2 = 0,05)$ .

Рівень значущості становить

$$\alpha = 1 - \beta = 1 - 0,9 = 0,1.$$

Мінімальний обсяг вибірки складає:

$$n_{\min} = \frac{-\lg \alpha}{Q_2} = \frac{2,3026}{0,05} = 46.$$

Результати розрахунку дозволяють зробити висновок, що достатньо перевірити 46 виробів, щоб із надійною ймовірністю  $\beta = 0,9$  вважати, що ймовірність браку у партії буде не більше 0,05.

#### **Задача 2**

Вибрати метод вхідного контролю вентилів у процесі складання (стовідсотковий, вибірковий або відсутність контролю) за таких вихідних даних: витрати на заміну одного вентиля – 0,02 грн.; загальна кількість вентилів – 1000 шт.; вартість контролю одного вентиля – 0,01 грн.; частка браку, допустима у випадку стовідсоткового контролю, – 0,001; обсяг вибірки вибіркового контролю – 20 шт.; частка браку, допустима у випадку вибіркового контролю – 0,01; ймовірність приймання партії – 0,994; вартість одного вентиля – 0,1 грн.

#### *Розв'язання*

Критична точка  $P'_x$  перетину кривих повної вартості за відсутності контролю та в разі стовідсоткового контролю:

$$P'_x = \frac{C_T}{C_R \cdot (1 - K_1)},$$

де  $C_T$  – вартість контролю одного вентиля;  $C_R$  – витрати на заміну одного вентиля;  $K_1$  – частка браку, допустима у разі стовідсоткового контролю;

$$P'_x = \frac{0,01}{0,02 \cdot (1 - 0,001)} = 0,5005.$$

Критична точка  $P'_y$  перетину кривих повної вартості за відсутності контролю та у разі вибіркового контролю визначається виразом

$$P'_y = \frac{n \cdot C_T}{C_R \cdot [N - P_A \cdot (N - n + n \cdot K_2)]}$$

де  $N$  – загальна кількість вентилів;  $P_A$  – ймовірність приймання партії;  $K_2$  – частка браку, допустима у разі вибіркового контролю;  $n$  – обсяг вибірки.

$$P'_y = \frac{20 \cdot 0,01}{0,02 \cdot [1000 - 0,99 \cdot (1000 - 20 + 20 \cdot 0,01)]} = 0,35.$$

Критична точка  $P'_z$  перетину кривих повної вартості у випадку стовідсоткового та вибіркового контролю визначається виразом:

$$P'_z = \frac{P_A \cdot C_T \cdot [N - P_A \cdot n + n] - n \cdot C_r}{P_A^2 \cdot C_R \cdot [(N - n) + K_2 \cdot n] - P_A \cdot C_R \cdot K_1 \cdot N},$$

де  $C_r$  – вартість бракованих вентилів.

$$P'_z = \frac{0,99 \cdot 0,01 \cdot [1000 - 0,99 \cdot 20 + 20] - 20 \cdot 0,1}{0,99^2 \cdot 0,02 \cdot [980 + 0,01 \cdot 20] - 0,99 \cdot 0,02 \cdot 0,001 \cdot 1000} = 0,412.$$

#### *Аналіз результатів*

Із розрахунків встановлено, що повна вартість контролю, тобто сума витрат на вхідний контроль і на усунення бракованих виробів в апаратурі, залежить від частки або ймовірності браку серед надійшовши виробів –  $P$ .

За ймовірності  $P > P_x = 0,5$  економічно доцільний стовідсотковий контроль; за ймовірності  $P'_z = 0,4 < P < P'_x = 0,5$  економічно доцільно не проводити вхідний контроль.

### **4.5 Задача для самостійного розв'язання**

Партія клапанів запірних обсягом 1000 шт. приймається у тому випадку, коли у вибірці обсягом  $n = 5$  немає жодного бракованого виробу. В іншому випадку вся партія клапанів бракується. Визначити ймовірність виконання завдання, якщо відомо, що ця величина знаходиться в межах  $0,956 \leq P \leq 1$ .

## 5. ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКІ СИСТЕМИ У ВИРОБНИЦТВІ ТА РЕМОНТІ ВИРОБІВ ГО і ТС

### 5.1 Основні розрахункові співвідношення

Розроблено новий, простий і надійний метод визначення розрахункового значення складських запасів із використанням теорії ймовірностей і математичної статистики, що забезпечує технічну оптимізацію складських запасів і місткість складу. Сутність його полягає в тому, що розрахункове значення складських запасів вантажів  $I_n$  визначають як  $n$ -ту випадкову подію, котра є деяким сполученням випадкових величин прибуття  $Q^n$  та видачі  $Q^e$  вантажів:

$$I_n = I_0 + Q_i^n - Q_j^e,$$

де  $I_0$  – деякий страховий запас.

Ймовірність того, що на складі утримуватиметься  $n$ -та величина вантажів  $I_n$ , визначається за формулою

$$P(I = I_n) = P(Q_i^n) \cdot P(Q_j^e), \quad n = \overline{l, k_i},$$

де  $P(Q_i^n)$ ,  $P(Q_j^e)$  – відповідно ймовірності того, що на складі прибуде  $Q_i^n$  вантажів, зі складу буде видано  $Q_j^e$  вантажів.

Як вихідні дані для визначення розрахункової величини складських запасів вантажів задають розподіл величин прибуття та видачі вантажів (за добу, за зміну або за годину):

$$Q^n = \begin{bmatrix} Q_1^n & Q_2^n & \dots & Q_k^n \\ P(Q_1^n) & P(Q_2^n) & \dots & P(Q_k^n) \end{bmatrix}; \quad Q^e = \begin{bmatrix} Q_1^e & Q_2^e & \dots & Q_k^e \\ P(Q_1^e) & P(Q_2^e) & \dots & P(Q_k^e) \end{bmatrix}.$$

Величину страхового запасу вантажів  $I_0$  беруть такою, що дорівнює різниці максимальної величини видачі  $Q_{\max}^e$  і мінімальної величини приймання вантажів  $Q_{\max}^n$  із заданих розподілів цих величин:  $I_0 = Q_{\max}^e - Q_{\min}^n$  (для забезпечувальних складів),  $I_0 = Q_{\max}^n - Q_{\min}^e$  (для складів готової продукції) або задають у вигляді деякого запасу не зменшуваного (в особливих випадках):  $I_0 = I_n$ .

Надійну ймовірність (надійність оцінки) визначення розрахункової величини складських запасів вантажів рекомендують приймати  $[P] = 0,950$ . Це дорівнює умові, що місткість складу може бути недостатньою тільки у 5 % випадків (або 13-18 днів за рік).

Із використанням методології теорії масового обслуговування запаси вантажів і місткість складу можуть бути визначені без попереднього збирання статистичних даних за вантажопотоками прибуття та відправлення й обробки цих матеріалів за методом математичної статистики.

Розроблено метод визначення місткості складу з використанням математичної моделі «загибелі та розмноження», що розроблена в біології з використанням математичного апарату теорії масового обслуговування та застосовується для визначення чисельності організмів.

Склад розглядається як багатоканальна система масового обслуговування, причому каналом обслуговування вважають місце для розташування деякої



транспортної партії (вантаж з одного автомобіля, вагона, один піддон із заготовками тощо). «Відмова» – це подія, яка полягає в тому, що зона складування вантажів у складі повністю заповнена вантажами й наступну партію надійшовших вантажів прийняти неможливо.

За «заявку», що потребує «обслуговування», тобто розвантаження та приймання на склад, приймають транспортну партію вантажів.

Процес «обслуговування заявок» у розглядуваному випадку -це таке прибуття вантажів у складі протягом середнього часу  $\bar{\tau}_{зб}$ , за якого інтенсивність потоку обслуговування:

$$\mu = \frac{1}{\bar{\tau}_{зб}}. \quad (5.1)$$

Зона зберігання вантажів може перебувати в одному з таких станів  $W_i$ :  $W_0$  – у складі не зайняте жодне місце вантажу (немає жодної транспортної партії);  $W_1$  – у складі є одна транспортна партія вантажу;  $W_2$  – у складі є дві транспортні партії вантажу;  $W_3$  – у складі є три транспортні партії вантажу;  $W_k$  – у складі знаходиться  $k$  транспортних партій ( $k$  місць зайнято, інші,  $n-k$  місць вільні);  $W_n$  – у складі знаходиться  $n$  транспортних партій (усі  $n$  місць у зоні зберігання зайняті, вільних місць немає).

Розмічений граф станів і переходів складської системи з одних станів в інші для такої постановки задачі показано на рис. 5.1, а.

З кожного  $i$ -го стану в інший, що знаходиться праворуч від нього за графом станів, тобто в  $(i+1)$ -й стан, система переходить з інтенсивністю  $\lambda$  – у той момент, коли в зону зберігання приймають наступну транспортну партію. Перехід складської системи з кожного  $i$ -го стану ліворуч за графом станів, тобто в  $(i-1)$ -й стан, відбувається з інтенсивністю  $k\mu$ , де  $k$  – кількість зайнятих місць складування в  $i$ -му стані.

Відповідно до методики теорії масового обслуговування ймовірність того, що зона складування вантажів буде вся вільна (у складі не зайняте жодне місце зберігання), можна визначити за формулою

$$P(W_0) = \left( 1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda^2}{2\mu^2} + \frac{\lambda^3}{2 \cdot 3\mu^3} + \dots + \frac{\lambda^k}{k!\mu^k} + \dots + \frac{\lambda^n}{n!\mu^n} \right)^{-1},$$

або з урахуванням формули (5.1):

$$P(W_0) = \left( 1 + \lambda \bar{\tau}_{зб} + \frac{1}{2} \lambda^2 \bar{\tau}_{зб}^2 + \frac{1}{2 \cdot 3} \lambda^3 \bar{\tau}_{зб}^3 + \dots + \frac{1}{k!} \lambda^k \bar{\tau}_{зб}^k + \dots + \frac{1}{n!} \lambda^n \bar{\tau}_{зб}^n \right)^{-1}, \quad (5.2)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність вантажопотоку, що надходить.

Імовірність того, що у складі знаходитиметься лише одна транспортна партія ( $k=1$ ), становить:

$$P(W_1) = \frac{\lambda}{\mu} P(W_0) \Rightarrow P(W_1) = \lambda \bar{\tau}_{зб} P(W_0).$$

Імовірність того, що у складі знаходитимуться дві транспортні партії ( $k=2$ ):

$$P(W_2) = \frac{\lambda^2}{2\mu^2} P(W_0) \Rightarrow P(W_2) = \frac{\lambda^2 \bar{\tau}_{зб}^2}{2} P(W_0).$$

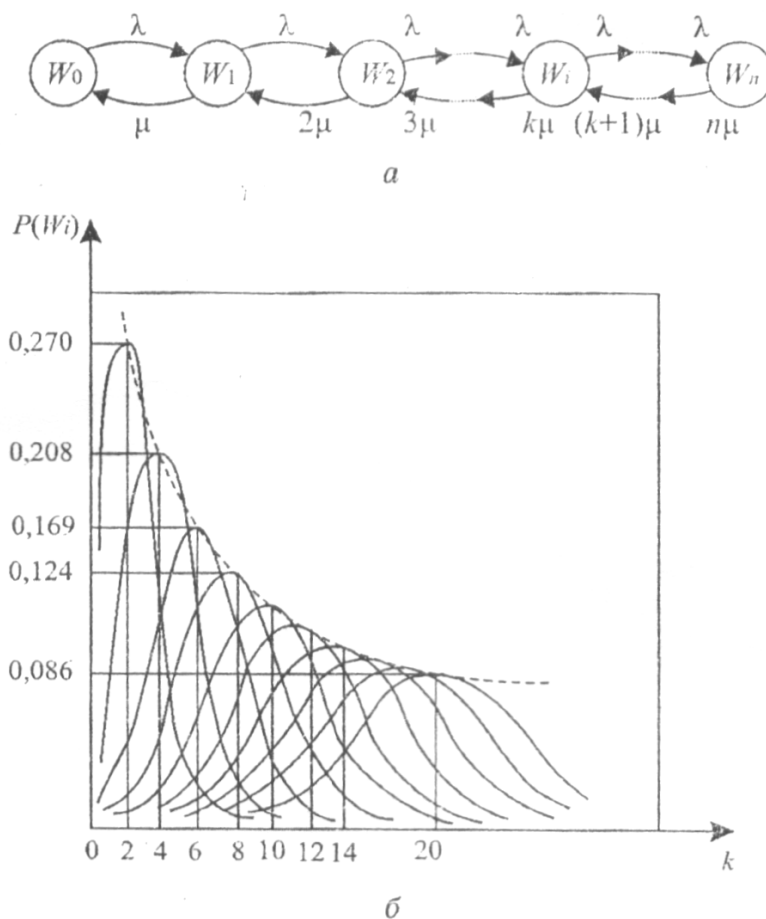


Рис. 5.1 – Стан складської системи за ступенем завантаженості зони зберігання транспортними партіями вантажів:  
*а – розмічений граф станів; б – графіки розподілу кількостей транспортних партій, що фактично зберігаються*

Імовірність того, що у складі знаходиться  $k$  транспортних партій ( $k < n$ ):

$$P(W_k) = \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} P(W_0) \Rightarrow P(W_k) = \frac{\lambda^k \tau_{зб}^{-k}}{k!} P(W_0). \quad (5.3)$$

Імовірність того, що зона зберігання вантажів буде заповнена повністю, тобто у ній знаходиться  $n$  транспортних партій:

$$P(W_n) = \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} P(W_0) \Rightarrow P(W_n) = \frac{\lambda^n \tau_{зб}^{-n}}{n!} P(W_0).$$

Далі можна визначити ймовірність того, що зона складування вантажів заповнена неповністю та знов надійшовши партія вантажів може бути прийнята на склад:

$$P(k < n) = 1 - \frac{\lambda^k \tau_{зб}^{-k}}{k!} P(W_0). \quad (5.4)$$

Визначаючи середній запас вантажів на складі  $I = \lambda \bar{\tau}_{зб}$ , вираз (5.2) для ймовірності того, що зона зберігання вантажів зовсім порожня, можна записати у такому спрощеному вигляді:

$$P(W_0) = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^n \frac{I^k}{k}},$$

а ймовірність (5.4) того, що у складі буде вільне місце для приймання вантажів:

$$P(k < n) = 1 - \frac{I^k}{k} \cdot \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^n \frac{I^k}{k}}.$$

Згідно з дослідженням Маклорана, ряд виду

$$1 + \frac{x}{1} + \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} + \dots + \frac{x^n}{n} + \dots$$

за досить великого значення  $n$  приблизно дорівнює (наближується до ...) функції  $e^x$ :

Заміняючи ряд Маклорана, що стоїть у знаменнику, функцією  $e^I$ , отримаємо:

$$P(W_0) = \frac{1}{e^I} \Rightarrow P(W_0) = e^{-I}.$$

Отже, формули (5.3) і (5.4) можна записати в такому виді:

$$P(W_k) = \frac{I^k}{k} e^{-I}; \quad (5.5)$$

$$P(k < n) = \frac{I^k}{k} e^{-I}.$$

Розподіли завантаження зони зберігання вантажів, що розраховані за формулою (5.5), наведено на рис. 5.1, б, з якого видно, що середній запас вантажів на складі  $I = \lambda, \tau_{зб}$  відповідає найімовірнішому запасу, однак він може бути перевищений, і в цьому випадку місткість складу буде недостатньою.

Для практичного використання методу визначення місткості складу побудовані графіки інтегральних функцій розподілу (рис. 5.2):

$$\Phi(W_k) = \sum_{k=1}^n e^{-I}. \quad (5.6)$$

Для складів з різними вантажопотоками ці графіки дозволяють визначити необхідну місткість із заданою надійною ймовірністю  $[P]$ .

Під час розрахунків, коли розміри певних вантажів невідомі, особливо дрібних вантажів, в яких розміри в 10-12 разів менші за розміри піддонів, місткість піддону (маса вантажу на піддоні у тоннах) визначають за формулою:

$$G = abcf_{\gamma} \gamma, \quad (5.7)$$

де  $a$ ,  $b$  і  $c$  – відповідно довжина (довжина уздовж проходу), ширина (ширина навпоперек проходу) та висота вантажної складової одиниці (висота укладання вантажу на піддоні), м;  $\gamma$  – об'ємна маса вантажу, т/м<sup>3</sup>.

Коли відомі розміри вантажів  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  й їхня маса  $g$ , місткість піддону (маса вантажу у піддоні в тоннах) визначаються за формулою:

$$G = abcf_{\gamma} g / (\alpha\beta\delta). \quad (5.8)$$

Висоту укладання вантажу на піддонах  $c$  приймають максимальною для даного типу піддону або визначають за формулою:

$$c = \frac{D - h_{n_i}}{z - 1} - y - \Delta, \quad (5.9)$$

де  $D$  – висота підйомного вантажозахоплювача штабелювальної машини, м;  $h_n$  – висота нижнього ярусу над підлогою складу, м (у разі встановлення нижніх піддонів на підлогу  $h_n = 0$ );  $z$  – кількість ярусів за висотою стелажів або штабелю;  $e$  – відстань між вантажами за висотою, м;  $\Delta$  – власна товщина піддону або висота ніжок піддону, м.

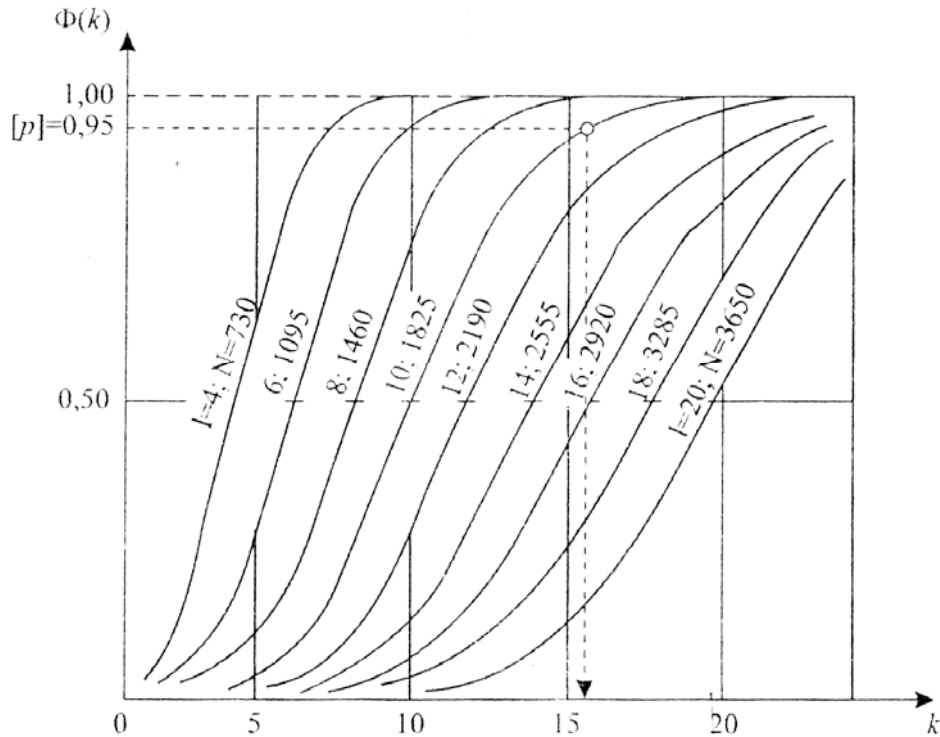


Рис. 5.2 – Залежність інтегральної функції розподілу  $\Phi(k)$  від кількості транспортних партій  $k$ , що зберігаються на складі, за різного ступеня завантаженості складу  $I = 2, 4, 6, \dots, 20$  транспортних партій і річних вантажопотоків  $N$  партій у рік

У разі точніших розрахунків кількість вантажів  $k$ , що вміщується на піддон, визначають методом теоретичного укладання вантажів, а навантаження на піддон обчислюють за формулою:

$$G_i = K_i g_i, \quad i = 1, 2, \dots, k, K \quad (5.10)$$

де  $g_i$  – маса одного місця вантажу  $i$ -ї групи, т;  $k$  – загальна кількість груп вантажів у номенклатурі.

Кількість вантажів, що вміщуються на піддон методом теоретичного укладання, визначають за ескізами й розрахунками, яке виконуються на підставі відомих розмірів вантажів  $\alpha, \beta, \delta$  і піддонів  $a, b, c$ .

Теоретичне розкладання вантажів на піддони найзручніше виконувати розрахунковим методом за допомогою простих моделей – формул, заснованих на взаємних співвідношеннях між розмірами вантажів і піддонів.

Наприклад, математична модель розкладання вантажів способом № 1 (вантажі розкладаються довгою стороною вздовж довжини піддонів, а короткою – вздовж ширини піддону) має вигляд

$$K_1 = \varepsilon\left(\frac{a}{\alpha}\right)\varepsilon\left(\frac{b}{\beta}\right)\varepsilon\left(\frac{c}{\delta}\right), \quad (5.11)$$

де  $K_1$  – кількість одиниць вантажів, що вміщуються в даному піддоні в разі укладання їх способом № 1.

Вираз  $\varepsilon(\dots)$  є елементарною функцією, яка означає цілу частину числа, що отримано в результаті виконання дій у лапках (позначення з алгоритмічної мови).

Математична модель розкладання вантажів способом № 2 (вантажі розташовуються довгою стороною вздовж ширини піддону, а короткою – вздовж довжини піддону) має вигляд:

$$K_2 = \varepsilon\left(\frac{a}{\beta}\right)\varepsilon\left(\frac{b}{\alpha}\right)\varepsilon\left(\frac{c}{\delta}\right), \quad (5.12)$$

де  $K_2$  – кількість одиниць вантажів, що вміщуються на піддоні при укладанні їх способом № 2.

### ***Запитання та завдання для самоперевірки***

1. Як визначається складський запас у випадку використання теорії ймовірностей?
2. Як розподіляється навантаження зони зберігання вантажів?
3. Описати стан складської системи для визначення системи диференціальних рівнянь.
4. Як визначається інтервал, в якому слід здобути значення складських запасів?

## **5.2 Приклади розв'язання задач**

### ***Задача 1***

Скласти систему диференціальних рівнянь для аналізу стану складської системи, можливі стани якої наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Характеристика складської системи

Номер стану	Опис стану	Позначення	Операція		Імовірності станів
			Розвантаження	Завантаження	
1	На складі немає ніякої роботи	$W_1$	0	0	$P(W_1)$
2	Виконується тільки розвантаження транспорту	$W_2$	1	0	$P(W_2)$
3	Виконується тільки завантаження транспорту	$W_3$	0	1	$P(W_3)$
4	Одночасно виконується завантаження та розвантаження транспорту	$W_4$	1	1	$P(W_4)$

### Розв'язання

Випадковий процес функціонування складської системи з дискретними станами можна подати у вигляді геометричної схеми – графу станів (рис. 5.3). Вершини графу представляють стани складської системи, а дуги - переходи її з одних станів до інших.

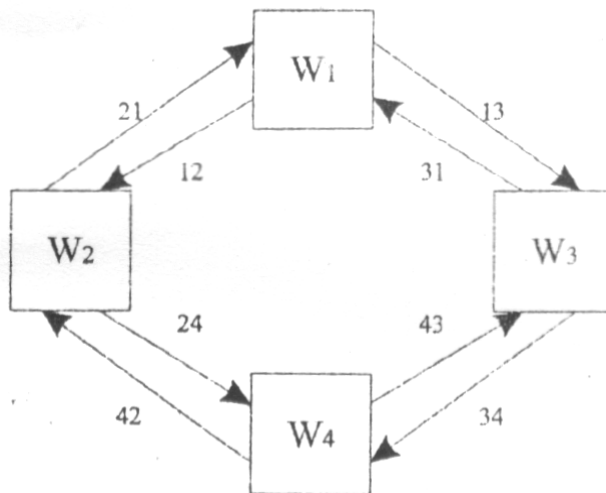


Рис. 5.3 – Граф стану складської системи

Визначимо інтегральну функцію розподілу (накопичену імовірність) (таблиці 5.2).

Таблиця 5.2 – Інтегральна функція розподілу

$I$	0	30	40	70	80	120
$\Phi(I)$	0,07	0,28	0,41	0,80	0,87	1,00

Звідси видно, що задана довірча імовірність складських запасів  $[P] = 0,95$  попадає в останній інтервал накопичених ймовірностей:

$$0,87 < [P] = 0,95 < 1,00.$$

Тому розрахункову величину складських запасів знаходимо в інтервалі  $I^* \in [80, 120]$ , визначаючи її за формулою лінійної інтерполяції:

$$I^* = \frac{0,95 - 0,87}{1,00 - 0,87} \cdot (120 - 80) + 80 = 105.$$

Отже, склад повинен бути розрахований на 105 одиниць транспортно-складської тари.

### Задача 2

Визначити розрахунковий запас збереження вантажів для складу з наступним розподілом прибуття  $Q^n$  та видання вантажів  $Q^b$ :

$$Q^n = \begin{pmatrix} 120 & 150 & 200 \\ 0,20 & 0,60 & 0,20 \end{pmatrix};$$

$$Q^b = \begin{pmatrix} 140 & 180 \\ 0,65 & 0,35 \end{pmatrix},$$

де 120, 150, 200, 140, 180 – кількість завантажених ящиків піддонів з деталями, що приймаються та видаються зі складу за зміну; 0,20, 0,60, 0,20, 0,65, 0,35 – відповідні імовірності прибуття та видання таких компонентів вантажу.

*Розв'язання*

Визначимо страховий запас

$$I_c = Q_{\max}^b - Q_{\min}^n ;$$

$$I_c = 180 - 120 = 60 \text{ завантажених піддонів.}$$

Приймаємо довірчу імовірність  $[P]=0,950$ .

Сполучення вантажопотоків:

– 1-й запас:

$$f_1 = 60 + 120 - 140 = 40,$$

імовірність запасу

$$P(I = 40) = 0,20 \cdot 0,65 = 0,13;$$

– 2-й запас:

$$f_2 = 60 + 120 - 180 = 0,$$

імовірність запасу

$$P(I = 0) = 0,20 \cdot 0,35 = 0,07;$$

– 3-й запас:

$$f_3 = 60 + 150 - 140 = 70,$$

імовірність запасу

$$P(I = 70) = 0,60 \cdot 0,65 = 0,39;$$

– 4-й запас:

$$f_4 = 60 + 150 - 180 = 30,$$

імовірність запасу

$$P(I = 30) = 0,60 \cdot 0,35 = 0,21;$$

– 5-й запас:

$$f_5 = 60 + 200 - 140 = 120,$$

імовірність запасу

$$P(I = 120) = 0,20 \cdot 0,65 = 0,13;$$

– 6-й запас:

$$f_6 = 60 + 200 - 180 = 80;$$

імовірність запасу

$$P(I = 80) = 0,20 \cdot 0,65 = 0,07.$$

Перевіряємо нормувальну умову, за якою сума ймовірностей усіх подій, що утворюють групу, повинна дорівнювати 1:

$$\sum^6 1P_j = 0,13 + 0,07 + 0,39 + 0,21 + 0,13 + 0,07 = 1,00.$$

Нормувальна умова зберігається. Таким чином, отримуємо розподіл запасів вантажів на складі:

$$I = \begin{pmatrix} 0 & 30 & 40 & 70 & 80 & 120 \\ 0,07 & 0,21 & 0,13 & 0,39 & 0,07 & 0,13 \end{pmatrix}.$$

Визначаємо інтегральну функцію розподілу (накопичувальну ймовірність) (таблиця 5.3).

Таблиця 5.3 – Інтегральна функція розподілу

$I$	0	30	40	70	80	120
$\Phi(I)$	0,07	0,28	0,41	0,80	0,87	1,00

Звідси видно, що задана довірна ймовірність складських запасів  $[P] = 0,950$  попадає в останній інтервал накопичуваних ймовірностей:

$$0,87 < [P] = 0,95 < 1,00.$$

Тому розрахункову кількість складських запасів шукаємо в інтервалі  $I^* \in [80, 120]$ , визначаючи її за формулою лінійної інтерполяції:

$$I^* = \frac{0,95 - 0,87}{1,00 - 0,87} \cdot (120 - 80) + 80 = 105.$$

Отже, склад повинен бути розрахований на 105 одиниць транспортно-складської тари.

### 5.3 Задачі для самостійного розв'язання

#### Задача 1

Визначити місткість складу гнучкої виробничої системи виготовлення вентилів з надійною ймовірністю  $[P] = 0,950$  за річного вантажопотоку  $N = 1825$  партій/рік і середньої кількості вантажів, що зберігаються в складі, 10 партій ( $I = 10$ ).

#### Задача 2

Необхідно розкласти вантажі з розмірами:  $\alpha = 0,35$  м,  $\beta = 0,28$  м,  $\delta = 0,25$  м у вантажні складські одиниці розмірами:  $a = 1,2$  м,  $b = 0,8$  м,  $c = 0,65$  м.



## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Андреев Г. С. Сварка и её контроль на магистральных трубопроводах / Андреев Г. С. [и др.] – Л.: Недра, 1973. – 176 с.
2. Бородавкин П. П. Подземные магистральные трубопроводы / Бородавкин П. П. – М.: Недра, 1982. – 384 с.
3. Гордюхин А. И. Газовые сети и установки / Гордюхин А. И. – М.: Стройиздат, 1978. – 383 с.
4. Иванов Б. И. Очистка металлических поверхностей пожаробезопасными составами / Иванов Б. И. – М.: Машиностроение, 1979. – 183 с.
5. Егоров М. Е. Технология машиностроения: ученик / Егоров М. Е. [и др.] М.: Высш. школа, 1976. – 534 с.
6. Капцов И. И. Сокращение потерь газа в машиностроении / Капцов И. И. – К.: Техника, 1982. – 264 с.
7. Козлов Ю. С. Очистка изделий в машиностроении / Козлов Ю. С. [и др.] – К.: Техника, 1982. – 264 с.
8. Малолетков Е. К. Организация и технология ремонта строительных машин / Малолетков Е. К., Гордеев Л. Ф. [и др.] – М.: Госстройиздат, 1962. – 276 с.
9. Масловский В. В. Оборудование ремонтно-механических предприятий газознергетики: учеб. пособие / Масловский В. В. – Х.: ХГАГХ, 2002. – 173 с. Т – 10.
10. Масловский В. В. Технология обработки на доводочно-притирочных станках: ученик / Масловский В. В. – М.: Высш. школа, 1979. – 151 с.
11. Масловский В. В. Справочник по доводочным работам: справочник / Масловский В. В. – Х.: Прарор, 1985. – 121 с.
12. Масловский В. В., Капцов И. И. Основы технологии ремонта систем газоснабжения / Масловский В. В., Капцов И. И. – Х.: ХГАГХ, 1999. – 327 с.
13. Молодык П. В. Восстановление деталей: справочник / Молодык П. В., Зенкин А. С. – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.
14. Новиков М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов / Новиков М. П. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
15. Одельский Э. Х. Газоснабжение: учеб. для вузов – Минск: Вышэйшая школа, 1966. / Одельский Э. Х. – 336 с.
16. Технология авторемонтного производства: учебник / под ред. К. Т. Кошкина. – М.: Транспорт, 1969. – 568 с.
17. Материаловедение и технология металлов / Фетисов Г. П., Карпман М. Г., Матюгин В. М. и др. – М.: Высш. школа, 2000. – 639 с.
18. Шмелева И. А. Дуговая сварка стальных трубных конструкций / Шмелева И. А. [и др.] – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
19. Фастов Л. М. Ремонтные работы на городских газопроводах / Фастов Л. М. и др. – Л.: Недра, 1989. – 151 с.
20. Ястребова Н. А. Технология компресостроения: ученик / Ястребова Н. А. [и др.] – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.

*Навчальне видання*

# **СПЕЦКУРС ЗА НАПРЯМОМ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ СПЕЦКУРС ЗА НАПРЯМОМ ПРОФІЛІЗАЦІЇ**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до практичної роботи**

*(для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної форм навчання спеціальності 7.06010107 «Теплогазопостачання і вентиляція», а також слухачів другої вищої освіти 2 року заочної форми навчання на базі диплома спеціаліста іншого напрямку спеціальності 7.06010107 «Теплогазопостачання і вентиляція»)*

Укладачі: **КАПЦОВ** Іван Іванович,  
**КОТУХ** Володимир Григорович,  
**ПАХОМОВ** Юрій Васильович.

Відповідний за випуск: *д.т.н., проф. І. І. Капцов*

Редактор: *К. В. Дюкар*

Комп'ютерне верстання: *І. В. Волосожарова*

План 2013, 114 М

---

Підп. до друку 10.09.2013  
Друк на різнографі  
Зам. №

Формат 60×84/16  
Ум. друк. арк. 5,8  
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 4705 від 28.03.2014