

Донбаська державна машинобудівна академія
Кафедра автоматизації виробничих процесів

ЦИФРОВІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ І ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Розділ 2

Проектування автоматизованих виконавчих систем виробництва

Конспект лекцій

(для студентів спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»)

Краматорськ 2018

Цифрові системи керування і обробки інформації. Розділ 2. Проектування автоматизованих виконавчих систем виробництва. Конспект лекцій (для студентів спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»). Уклад. О. О. Сердюк. - Краматорськ: ДДМА, 2018 – 134 с.

Викладені особливості сучасних виконавчих систем виробництва. Наведені основні наукові положення теорії логістики й теорії розкладів, на базі яких проектують автоматизовані виконавчі системи виробництва. Подані методики побудови алгоритмів при створенні прикладного програмного забезпечення для автоматизованих виконавчих систем. Викладені правила моделювання систем із застосуванням стандарту IDEF0.

Укладач

О. О. Сердюк, доц.

ЗМІСТ

1 СУЧАСНІ ІНСТРУМЕНТИ КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ	6
1.1 Еволюція сучасного конвеєрного виробництва	6
1.2 Сучасні методи керування неконвеєрним виробництвом	8
1.3 Об'єкт і суб'єкт цехового керування	11
2 ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЛОГІСТИКИ.....	16
2.1 Основні поняття логістики	16
2.2 Особливості виробничої логістики	18
2.3 Способи організації матеріальних потоків.....	21
2.4 Перспективи розвитку виробничо-логістичної системи	25
2.5 Використання логістичної системи на підприємстві.....	27
2.6 Організація транспортно-складської системи.....	29
3 КЕРУВАННЯ МАТЕРІАЛЬНИМИ ПОТОКАМИ У ВИРОБНИЦТВІ	32
3.1 Закони організації виробництва	32
3.2 Логістика запасів.....	37
3.3 Системи керування запасами	43
3.4 Логістика складування	52
4 ІНФОРМАЦІЙНА ЛОГІСТИКА	58
4.1 Інформаційні технології в керуванні підприємством	58
4.2 Технологія автоматизованої ідентифікації товарів.....	63
5 ВВЕДЕННЯ В ТЕОРІЮ РОЗКЛАДІВ	68
5.1 Питання «ідеального» упорядкування.....	68
5.2 Загальна характеристика математичної моделі	69
5.3 Класифікація завдань теорії розкладів	71
5.4 Критерії оцінки розкладів	72
5.5 Розклади й вартість.....	77
6 МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАВДАНЬ ТЕОРІЇ РОЗКЛАДІВ.....	78
6.1 Математичне програмування й теорія розкладів	78
6.2 Комбінаторний підхід з поліноміально розв'язними завданнями	81
6.3 Евристичні та імовірнісні методи	82
6.4 Умови впорядкування робіт для однієї машини	83
6.5 Перестановочні розклади	85
6.6 Упорядкування по мінімуму тривалостей робіт	86
6.7 Упорядкування відповідно до планового строку.....	91
6.8 Оптимізація по двом критеріям	96
6.9 Упорядкування з урахуванням ваги роботи	99
7 МЕТОДОЛОГІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ	109
7.1 Загальні відомості про методологію функціонального моделювання... ..	109
7.2 Концепція IDEF0	110

7.3 Основні визначення (поняття) методології й мови IDEF0.....	112
7.4 Синтаксис графічної мови IDEF0.....	114
7.5 Семантика мови IDEF0	116
7.6 Правила побудови діаграм.....	119
7.7 Методика розробки функціональних моделей у середовищі IDEF0	123
7.8 Класифікація функцій, моделюємих блоками IDEF0	125
7.9 Перспективи розвитку методології функціонального моделювання	130
ЛІТЕРАТУРА	132

Перелік умовних позначок і скорочень

r_i - момент готовності роботи (момент появи або момент вступу).

d_i - плановий (директивний) строк виконання роботи.

$a_i = d_i - r_i$ - припустима тривалість проходження роботи i .

g_i - кількість операцій, з яких полягає робота i .

m_{ij} - номер машини, на якій виконується операція j , $1 \leq m_{ij} \leq m$.

t_{ij} - тривалість виконання операції.

$t_i = \sum_{j=1}^{g_i} t_{ij}$ - тривалість виконання роботи i , тобто загальна тривалість

усіх операцій роботи i .

W_{ij} - інтервал часу між закінченням $(j-1)$ -ї і початком j -ї операції i -ї роботи.

$W_i = \sum_{j=1}^{g_i} W_{ij}$ - загальна тривалість очікування роботи i .

T_i - момент закінчення роботи i .

$F_i = \sum_{k=1}^k t_i$ - тривалість проходження роботи k у ланцюжку робіт i .

L_i - тимчасовий зсув (запізнювання й випередження).

Z_i - запізнювання роботи i .

E_i - випередження роботи i .

u_i - вага роботи i .

$\bar{F}_u = 1/n \sum_{i=1}^n u_i F_i$ - середньозважена тривалість проходження роботи i

з урахуванням ваги (важливості) робіт.

t_{ik} - тривалість виконання роботи i машиною k .

\underline{t}_{ik} - момент початку виконання роботи i машиною k .

1 СУЧАСНІ ІНСТРУМЕНТИ КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ

1.1 Еволюція сучасного конвеєрного виробництва

Якщо звернути увагу на еволюцію промислового виробництва за останні 100 років, то можна відзначити, що на цьому етапі промислове виробництво було орієнтовано на масового споживача, тобто виробництво було в основному масовим і крупносерійним.

Перехід на масове виробництво був названий «індустріальною революцією» і він породив таку всесвітньо відому форму організації виробництва як «конвеєр» (Г. Форд).

Однак світ увесь час змінюється. Свобода переміщення товарів і інформації привела до глобалізації конкуренції виробників товарів по всьому світу, що викликало непередбачуваність прогнозів збуту й, відповідно, звузило обрії планування діяльності промислового підприємства. Усе більше і більше підприємств ставало залежними від замовлень примхливого ринку.

Природно, такі зміни не могли не позначитися на організаційних формах керування промисловим підприємством і його виробництвом. І приблизно з початку 50-х років минулого століття стратегії й форми організації виробництва почали принципово змінюватися у бік дрібносерійних і індивідуальних типів виробничих систем. Однією з перших на цей шлях стала компанія Тойота.

Компанія Тойота близько 60 років тому впровадила спеціально розроблену для власних потреб систему **канбан** – систему організації виробництва й постачання, що дозволяє реалізувати принцип «точно в строк». Цей підхід відомий також, як Just-in-time.

Сам принцип «канбан» простий. Виробництво не має загального твердого оперативного графіка, а оптимізує свою роботу в обсязі замовлення, що впливає по виробничо-технологічному циклу (1-2 місяця) через систему «витягування» об'єктів виробництва (деталей, складальних одиниць і т.п.). Основою системи «витягування» є спеціальна картка (канбан), яка супроводжує тару (тарний канбан) з деталями або складаннями. Синхронізуючим за часом елементом системи є складальний конвеєр. На складальному конвеєрі з тари виймаються потрібні деталі, а використаний тарний канбан відразу відправляється назад для поповнення, як сигнал зворотного зв'язку для постачальників деталей. Таким чином, складальний конвеєр задає план і обсяг виробництва попередній ділянці виробництва, а той, у свою чергу, своєму попередньому і т.д.

Так утворюється чітко формалізований потік робіт, збалансований за часом углиб процесу виробництва.

Технологічні ланцюжки за рахунок застосування цілого ряду заходів (карт потоку створення цінності, кайдзен, дзидока й т.п.) строго нівельовані за часом, що дозволяє поставляти деталі на складальний конвеєр точно в строк, тобто в такт роботи конвеєра. У результаті міжопераційні запаси заготовок і витрати часу на виготовлення деталей зведені до мінімуму. Однак, така схема організації виробництва не допускає жодного дефекту в деталях, тому що на виправлення дефекту час не передбачений.

Відсутність дефектів або їх мала ймовірність підтримується прозорістю виробничих процесів, причому прозорість забезпечується простими, візуальними зворотними зв'язками системи «андон».

Особливістю системи андон є те, що будь-який працівник може зупинити конвеєр за допомогою шнура, який протягнуто уздовж конвеєра спеціально для цієї мети. При цьому на табло, установлених уздовж конвеєра, виводиться інформація про поточну подію. Інші працівники на конвеєрі читають табло й спокійно очікують продовження роботи конвеєра. Зупинка конвеєра може відбутися, наприклад, тому, що працівник не встигнув затягти гайку в процесі складання. За це працівника не карають, а навіть дякують за сумлінність (принцип кайдзен – відкрите визнання проблем; там, де немає проблем, неможливе вдосконалювання). Випадки, які приводять до зупинки конвеєра, зазнають аналізу з метою вдосконалювання організації робочого місця. Усуненню дефектів і вдосконалюванню якості продукції служить також проект дзидока (перенос контролю з готової продукції на процес), це й бака-екэ (baka-yoke – захист від дурня, інакше «дурнестійкість»), це й аналіз першопричин виникнення дефектів і ін.

Таким чином, Тойота показує приклад процесного керування підприємством, коли все підлягає заздалегідь змодельованому алгоритму процесу, який активізується тільки ринковим запитом. При цьому система «канбан» указує на те, як це зробити без зайвої роботи й без зайвих ресурсів.

Виробництво без «жирку» або як його охрестили на Заході – «Lean production» (лін – «ощадливе виробництво») не вимагає глобальної комп'ютеризації й засноване на знаннях закономірностей циклів виробництва й візуальних підходах у керуванні потоками робіт. Однак він не так простий, як видається на перший погляд. Слід зважити на те, що самі автори цього методу впроваджували його більш 10 років, але саме він дозволяє головці циліндра двигуна, відлитої ранком, після обіду працювати в зібраному двигуні Тойоти, і це при тому, що зі складального конвеєра сходять два різні автомобілі у хвилину!

Коментуючи ці очевидні досягнення, відомий фахівець в області керування якістю М. М. Шустер відзначає, що Тойота просто переклала проблеми Just-in-time на плечі постачальників. Її не цікавить, як постачальник доб'ється того, щоб потрібна деталь прийшла до її прохідної у встановлений контрактним час. Вона просто згодна платити ціну цієї деталі, у якій постачальник передбачить і витрати на створення такої можливості,

зокрема, закладе зайві запаси. Ці «дельта гроші» і є «буфером» Тойоти. Фізично ж буфер перебуває у постачальника».

Однак ефективність виробництва Тойоти вражає. Зрівняйте співвідношення обсягу випуску й чисельності персоналу: Toyota — 36,3 автомобіля на одного працівника, Honda — 22,5, Nissan — 19,5, PSA Peugeot Citroen — 14,6, Ford — 11,1..., а GM — усього 7,1. Розкид по ефективності — більш ніж п'ятикратний!

1.2 Сучасні методи керування неконвеєрним виробництвом

Виробниче підприємство відрізняється від будь-якого іншого тим, що основним процесом, на якому тримається бізнес, є створення й випуск продукції. Це — джерело доданої вартості для підприємства, і від ефективності організації виробничих процесів залежить, в остаточному підсумку, собівартість продукції, а виходить, її ринкова конкурентоспроможність. Усі інші процеси на виробничому підприємстві — закупівлі, маркетинг, фінансово-облікові операції, керування персоналом і складами існують тільки тому, що є під що закуповувати комплектуючі, є що продавати, що враховувати, що складувати.

На підприємствах, які не мають конвеєрної форми виробництва, основні зусилля направляються на підтримку планової й організаційної складових самого виробничого процесу. Ці завдання вирішуються в рамках автоматизованих виконавчих систем типу MES (Manufacturing Execution Systems).

Ключовими процесами для цих систем є наступні:

1. На базі зовнішньої потреби у виробництві продукції, а також з урахуванням різноманітних нюансів і специфіки виробництва на конкретному підприємстві, автоматично формується детальний оптимізований виробничий розклад робіт, операцій для верстатів, устаткування й персоналу. Цей розклад підтримується всією необхідною для здійснення робіт документацією — виробничих програм, нарядів на роботи, лімітно-забірних карт, таблиць і діаграм завантаження встаткування й ін.

2. У ході безпосередньої реалізації виробничих програм здійснюється повна диспетчеризація всіх операцій і їх результатів (як позитивних, так і негативних — браку деталей, затримок і ін.), потоку деталей, що виготовляються, по операціях, замовленнях, партіях, серіям, працездатності встаткування й ін.

3. При виявленні відхилень від запланованих програм у силу об'єктивно складеної ситуації на виробництві, з появою нової зовнішньої потреби (замовлень і ін.) проводиться оперативне перепланування з корекцією всіх складових.

Слід зазначити, що сьогодні в країнах Заходу в MES вкладаються чималі гроші: за даними аналітичної компанії Frost & Sullivan світовий ринок MES досяг до 2010 року \$2,5 мільярдів. Західний хазяїн добре знає, де саме створюється прибуткова вартість і утворюються основні витрати на його підприємстві.

MES-системи мають регламентований склад функцій:

1. Контроль стану й розподіл ресурсів (RAS).
2. Оперативне/Детальне планування (ODS).
3. Диспетчеризація виробництва (DPU).
4. Керування документами (DOC).
5. Збір і зберігання даних (DCA).
6. Керування персоналом (LM).
7. Керування якістю продукції (QM).
8. Керування виробничими процесами (PM).
9. Керування техобслуговуванням і ремонтом (MM).
10. Відстеження історії продукту (PTG).
11. Аналіз продуктивності (PA).

Для одержання більш докладних відомостей можна відвідати сайти www.mesa.org, www.mesa.ru, www.mesforum.ru.

Незважаючи на різноманіття функцій MES, треба розуміти, що всі ці функції мають оперативний характер і регламентують відповідні вимоги не до підприємства в цілому, а до тієї його одиниці (цеху, ділянки, підрозділу), для якої ведеться планування робіт. При цьому треба також розуміти, що такі функції, як керування документами, персоналом – це керування цеховими документами (наряд-замовленнями, звітними відомостями та ін.) і персоналом цеху.

Основними функціями MES-систем з перерахованих вище є – оперативно-календарне планування (детальне планування) і диспетчеризація виробничих процесів у цеху. Саме ці дві функції визначають MES-систему як систему оперативного характеру, націлену на формування розкладів роботи встаткування й оперативне керування виробничими процесами в цеху.

MES-система одержує обсяг робіт, який або представлений ERP/MRP на етапі об'ємно-календарного планування, або видається системою APS (Advanced Planning & Scheduling – удосконалене планування), що входить в систему ERP.

APS – це концепція виробничого планування, головною особливістю якої є можливість побудови розкладу роботи встаткування в рамках усього підприємства.

Однак ціль MES-системи – не тільки виконати заданий обсяг із зазначеними строками виконання тих або інших замовлень, але виконати

якнайкраще з погляду економічних показників цеху. MES система вже на етапі виконання, одержуючи такий попередній план, оптимізує його по ряду критеріїв.

При цьому, після оптимізації й побудови нового план-графіка роботи цеху, дуже часто за рахунок ущільнення роботи встаткування, відшукуються додаткові резерви, з'являється можливість у рамках планованого періоду виконати додаткові замовлення. Тим самим досягається ефект збільшення пропускної здатності виробничих структур.

На відміну від ERP-систем і APS-системи, MES-системи оперують меншими розмірностями призначення – до 200 верстатів і 10000 операцій на обрії планування, який зазвичай становить не більш трьох-десяти змін. Зменшення розмірності пов'язане з тим, що в MES ураховується набагато більша кількість обмежень технологічного характеру.

Ще однією відмінністю є те, що MES-системи зазвичай оперують не одним або двома критеріями побудови розкладу, а, найчастіше, декількома десятками, що дає можливість диспетчерові цеху будувати розклад з обліком різних виробничих ситуацій. І тільки MES-системи оперують так званими векторними, інтегральними критеріями побудови розкладів, коли в один критерій збираються кілька приватних критеріїв.

При цьому диспетчер, становлячи розклад, може вказати, що він прагне бачити в конкретному розкладі: зменшення календарної тривалості виконання всього завдання, зменшення тривалості операцій переналагоджень, вивільнення верстатів, що мають невелике завантаження й т.п.

Оперативність складання й перерахування розкладу є прерогативою MES, оскільки перерахування може вестися з інтервалом в одну хвилину. Це не означає, звичайно ж, що щохвилини робітникам будуть видаватися нові завдання, але це означає, що всі процеси в цеху контролюються в режимі real time і це дозволяє заздалегідь передбачити всі можливі порушення розкладів і вчасно вживати відповідних заходів.

Алгоритми MES-систем, хоча й базуються, у більшості випадків, на евристиці, але, як правило, значно складніше й «розумніше» алгоритмів APS. Спочатку алгоритм MES знаходить припустимий розв'язок з урахуванням усіх обмежень і обраного критерію (приватного або інтегрального). Надалі на етапі оптимізації відбувається пошук кращого розкладу.

Звичайно, отриманий розклад також не є оптимальним у повному розумінні слова, оскільки пошук оптимуму в таких завданнях завжди супроводжується значними тимчасовими витратами (MES-системи будують розклади за 0.1 – 5 хвилин на сучасній техніці), але отримані при цьому розклади, як правило, уже набагато ближче до оптимуму, ніж розклади, побудовані APS-системами, що входять в ERP.

У ряді випадків MES-системи можуть встановлювати розклади не тільки для верстатів, але також для транспортних засобів, бригад наладчиків і інших обслуговуючих пристроїв. Яким-небудь іншим системам будуть не під силу такі особливості планування, як формування технологічних зборок, або планування виготовлення необхідного комплексу оснащення (притосувань, унікального інструмента).

Важливою властивістю MES-систем є здійсненність розкладів. Вбудовані в планувальний контур ERP, APS-системи становлять виробничі розклади тільки у випадку внесення в портфель замовлень нових виробів або робіт; коректувати їх у режимі реального часу вкрай складно, що приводить до серйозних проблем використання APS-систем у дрібносерійнім виробництві. MES-системи в таких випадках працюють більш гнучко й оперативно, перераховуючи й коректуючи розклади при будь-яких відхиленнях виробничих процесів, що підвищує гнучкість і динамічність виробництва. Якщо розклади APS-системи більше підходять для виробництв із крупносерійним характером випуску продукції, де різких відхилень від виробничої програми, як правило, не буває (сталий характер виробництва), то MES-системи є незамінними в дрібносерійному й позаказному виробництві.

При цьому якщо для APS-систем цех з більшим обсягом технологічної й оперативної інформації є якоюсь мірою «чорним ящиком», то MES-системи при виконанні завдань опираються на принцип розрахунків і корекції виробничих розкладів по фактичному стану виробництва. Ці системи досить чуйно реагують на відхилення в часі виконання технологічних операцій, на непередбачений вихід з ладу встаткування, на появу браку в процесі обробки виробів і інші збурювання внутрішнього характеру.

На ринку існують рішення, як для систем з дискретним характером випуску продукції, так і для виробництв із безперервним характером. Найбільш складними системами, з погляду точності планування й здійсненності планів, слід зазначити системи першого виду, особливо з «позаказним» типом виробництва.

1.3 Об'єкт і суб'єкт цехового керування

Для того щоб ефективно управляти процесом виробництва або потоком робіт у виробництві, потрібне чітке визначення самого об'єкта керування. Таким об'єктом можна вважати деталь, з її різними, але в якійсь мірі формалізованими властивостями (креслення, технологічні маршрути, матеріали й т.п.). Суб'єктом же керування у виробництві очевидно можна вважати людину з його різними властивостями. Об'єкти й суб'єкти завжди створюють у виробництві системні взаємодії.

І якщо уважно придивитися до будь-якого заводу, то можна виявити якусь сформовану не випадковим чином «правильну систему керування цехом», сутність якої визначає суб'єктивність. Як правило, суб'єкт сміло й наївно вважає, що управляє процесом виробництва деталей (об'єктів) і робить це ефективно, однак, можна ще сміливіше припустити, що не люди управляють виробництвом, а деталі, що перебувають у виробництві, управляють діями людей.

Слід прийняти до уваги, що всі дії керуючого процесом суб'єкта при виготовленні виробів можна досить просто підрозділити на: дії, що додають цінність кінцевому продукту, дії, що не створюють цінності, але неминучі за якимись причинами, і дії, що не додають цінності взагалі (повністю даремні дії). Виникає питання: як побачити пошуки дії або бездіяльності? Що насправді може бачити керівник підприємства, вдивляючись в «звітні цифри», що надходять із виробництва? Як можна забезпечити належну прозорість виробництва, оцінити його ефективність?

Основним критерієм ефективності організації виробничої системи цехового керування з дискретним, позаказним типом виробництва, є відношення часу дії, протягом якого створюється цінність при обробці деталі на верстаті ($T_{обр.}$), до часу втрат, тобто бездіям, коли цінність не створюється. До втрат часу слід віднести очікування деталлю наступної обробки, час переміщення від одного робочого місця до іншого, часу для здійснення контролю, втрат часу, викликаних несинхронністю потоків робіт, часу на виправлення браку деталей й т.п. ($T_{сум. втрат.}$). Це відношення можна визначити відповідним коефіцієнтом ефективності:

$$Кеф = T_{обр.} / T_{сум. втрат.} * 100 \%$$

Наприклад, якщо сумарний час обробки однієї деталі на всьому технологічному маршруті становить 19,2 хвилин, а сумарний час знаходження деталі у виробництві від запуску в роботу до передачі на склад становить 4 робочих зміни по 8 годин (1920 хв), то:

$$Кеф = 19,2 \text{ хв} / 1920 \text{ хв} * 100 \% = 1\%$$

Цей простий показник насправді говорить багато про що. І про те, як організована міжопераційна взаємодія в організації виробничого потоку, і про те, яка фондовіддача технологічного встаткування, він також пов'язаний з обсягом незавершеного виробництва й т.п. Ну й найголовніше – як ефективно й наскільки корисно використовується час у виробництві.

Метод тривіальний і простий. Його ще називають: «картування потоку створення цінності».

Якщо Кеф буде рівний 50%, то можна вважати, що ефективність організації виробничого потоку перебуває на світовому рівні. Але, якщо Кеф=1%, те це означає, що для досягнення світового рівня організованості, цикл виробництва однієї деталі потрібно скоротити за часом в 50 раз.

Якщо вироблений виріб складається з 10 деталей, а цикл виробництва цих деталей удалося скоротити в загальному потоці робіт в 50 раз, то сам виріб буде проводитися в 5 раз швидше, а нова виробнича система буде в 5 раз продуктивніше колишньої при тому ж устаткуванні й тих же його властивостях. І відбудеться це тільки за рахунок більш ефективної організації виробничого процесу.

Таким чином, аналіз співвідношення часу обробки деталі відносно часу втрат дозволяє виявити величезні резерви для росту продуктивності верстатної системи.

Повернемося до об'єкта керування – деталі. Деталь – це результат перетворення властивостей вихідного матеріалу, яке відбувається з ним у ході проходження по певному технологічному маршруту через робочі місця (РМ), їх ще називають робочими центрами.

Суть маршрутизації руху деталі така: добитися того, щоб технологічний процес (маршрут) був би поновлюваним, і повторювався б з тими самими тимчасовими параметрами обробки на кожному РМ маршруту. І тут виникають три непрості проблеми: варіабельність тимчасових параметрів обробок в умовах позаказного виробництва, точна поновлюваність процесу й те, що деталь попадає у виробництво, у яким уже обробляються інші деталі.

Нехай кожна деталь (або ж її партія), потрапляючи на різні РМ, обробляється з однаковим нормованим часом. Потік робіт на РМ можна представити у вигляді послідовності тимчасових відрізків (рис 1.1), величини яких будуть визначатися нормою часу обробки деталей.

Кольорові прямокутники, на рисунку 1.1 відповідають послідовно оброблюваним деталям 1, 2, 3 і т.д. і лежать на осі часу (абсцисі). Покроковий технологічний маршрут розташовується по осі ординат. Таким чином, ми одержуємо найпростішу графічну виставу про потік виробництва деталей в одному й тому ж технологічному ланцюжку подій. Така вистава називається діаграмою Гантта.

Деталі 1, 2, 3, 4, 5 і 6 мають рівні відрізки часу обробки на всіх РМ того самого технологічного маршруту. Деталь 1, пройшовши обробку на РМ 1 - відразу переходить на РМ 2 і так далі. Наступна за нею деталь 2 без тимчасових втрат так само переходить від одного РМ до іншого й коли деталь 5 зайде в процес обробки, завантаження всіх верстатів стане повним.



Рисунок 1.1 – Идеальный вариант розподілу деталей

Представлена на рисунку 1.1 діаграма є моделлю організації виробництва деяких абстрактних деталей. Дану модель можна легко перетворити в конкретні завдання (виробничі розклади), які можна видати на кожне РМ ще до того, як процес виробництва настав. А вже потім, після старту завдань організувати різними способами зворотний зв'язок із РМ і вже в реальному часі відслідковувати хід виконання виробничих розкладів. Саме по такому принципу й улаштована MES-система.

З викладеного стає ясно, що в ідеальному варіанті виробничий розклад створюється дуже просто. Однак у реальності процес розподілу по робочих місцях викликає значні складності. Реальний варіант ілюструється рисунком 1.2.



Рисунок 1.2 – Реальный розподіл деталей

Отут деталі мають уже різну трудомісткість і, відповідно, різні відрізки часу, відведені на їхню обробку, що викликає в технологічному ланцюжку тимчасові втрати (порожнечі на діаграмі рис. 1.2) і множинні дисбаланси в завантаженні робочих місць. Так утворюються «блукаючі вузькі місця» (пробки в потоках), викликані очікуванням обробки, а також інші труднощі, що викликає втрати часу. Ці ситуації візуально проявляються по скупченню заготовок біля деяких верстатів.

Із виникаючими у різних місцях і в різний час виробництва труднощами й борються майстри, які управляють виробництвом в основному візуально. І ніхто з них не скаже точно, коли ж деталі пройдуть

усі стадії обробки. Але ж деталі постійно надходять у виробництво й при позаказному виробництві міняються не тільки самі деталі, але й розмірність партій однакових деталей. Їх може бути тисячі, технологічних маршрутів – десятки, і багато з маршрутів у силу універсальності робочих місць перетинаються один з одним.

Таким чином, виробничий процес завжди представляє собою хаос, з яким намагаються управлятися в рамках суб'єктивних і візуальних уявлень.

Як же діють у такій ситуації виробничники? Дуже просто: вони працюють зі збільшеним міжопераційним запасом (заділом). Цей організаційний розв'язок застосовується повсюдно. Така організація виробництва зручна в умовах масового виробництва, але зовсім не ефективна в позаказному (дрібносерійному). Вона погіршує економічні показники підприємства в цілому, тому що приводить до значного зв'язування обігового капіталу. До того ж робота про запас може взагалі бути марною в умовах ринкових капризів.

Ще одним важливим організаційним недоліком виробництва є значне збільшення виробничого циклу, яким намагаються нівелювати диспропорції потоків робіт. А все це в комплексі збільшує строки виконання замовлення. І якщо конкурент робить ту ж продукцію й поставляє її на ринок швидше – ринок, природно, прийде до нього. На сучасному ринку клієнт віддає перевагу коротким строкам виконання своїх замовлень і вимогливий до ціни.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що в умовах агресивного ринкового середовища саме способи ефективної організації виробництва стають одним з основних конкурентних переваг промислових підприємств. Організація масового й крупносерійного виробництва ефективна лише в дуже окремих випадках. Основна ж маса виробництв повинна вміти підтримувати дрібносерійну або одиничну організаційні форми керування. Виходячи із цього, цілком логічного твердження розглянемо можливості систем керування виробництвом на базі логістичної теорії й теорії розкладів, які використовуються при створенні MES-систем.

2 ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЛОГІСТИКИ

2.1 Основні поняття логістики

Логістика походить від грецького слова *logistike* – мистецтво обчислювати, міркувати.

Історія виникнення й розвитку логістики йде з давніх давен. Перші посади логістів з'явилися в Афінах. У період Римської імперії існували служителі логісти або логістики, які займалися розподілом продуктів, формуванням запасів, обміном між провінціями. У Візантії в 1 тисячоріччі н.е. завданнями логістики було озброєння армії, постачання її військовим майном.

Але перші наукові праці по логістиці з'явилися у Франції на початку XIX століття, їх автор А. Жоміні – військовий фахівець.

Особливо бурхливий розвиток логістика одержала в період 2-ї світової війни при розв'язку стратегічних завдань і чіткої взаємодії оборонної промисловості, постачальницьких баз і транспорту з метою своєчасного забезпечення армії озброєнням і продовольством.

В 60-і роки XX століття логістика поступово переходить із військової області в цивільну, а потім у виробництво. Логістична наука починає містити в собі закупівельну, транспортну, виробничу, інформаційну, збутову логістику. На сучасному етапі логістика прагне максимально задовольнити запити споживача з мінімальними витратами для виробника.

Логістика – це наука про планування, контроль і керування виробництвом готової продукції, її транспортуванням і складуванням, а також доставкою до споживача відповідно до вимог останнього. Інакше кажучи, логістика – це наука про керування рухом товарів.

Концепції й основні поняття логістики

Концепція – це система поглядів, те або інше розуміння явищ, процесів. Концепцію логістики характеризує система поглядів на вдосконалювання господарської діяльності шляхом раціоналізації керування матеріальними потоками.

Основними складовими даної концепції є:

- реалізація принципу системного підходу при розв'язку логістичних завдань (забезпечення керування на основі інформації із зовнішнього середовища);
- прийняття розв'язків на основі економічних компромісів (врахування інтересів різних підрозділів підприємства);

- облік витрат протягом усього логістичного ланцюга (інформаційна підтримка матеріальних і фінансових потоків);
- орієнтація на підвищення конкурентоспроможності підприємства (з погляду підвищення доходів від реалізації товарів).

Матеріальний потік (МП) – це сукупність ресурсів одного найменування, до яких застосовуються логістичні операції (наприклад, складування – це елементарний МП). Безліч елементарних МП, що формуються на підприємстві, становлять загальний матеріальний потік, що забезпечує функціонування підприємства. Матеріальний потік має розмірність (обсяг, час, кількість, маса) і форму існування в оберті (кількість вантажів, перевезених окремими видами транспорту від пункту відправлення до пункту призначення за певний проміжок часу).

Інформаційний потік (ІП) не завжди відповідає матеріальному потоку.

Слід урахувати, що матеріальні потоки й інформаційні потоки можуть бути синхронні й асинхронні.

Основними термінами логістики є логістична операція, логістичний канал, логістичний цикл і логістична система.

Логістична операція – це відособлена сукупність дій, спрямованих на перетворення МП або ІП. Відповідно до цього логістична операція може бути матеріальною (транспортування, складування, навантаження) і інформаційною (збір даних про МП, зберігання й передача даних).

Логістичний канал – це частково впорядкована множина, що складається з постачальника, споживача, перевізників, посередників, страховиків і т.д. Споживач або постачальник в умовах ринкової економіки можуть бути обрані за різними критеріями шляхом обчислення рейтингів.

Логістичний цикл містить у собі сферу виробництва й сферу обігу. Частина цього циклу від запуску на операцію до повного виготовлення називається виробничим циклом..

Логістична система – це адаптивна система зі зворотним зв'язком, що виконує ті або інші логістичні функції або операції, що складається з підсистем, які мають розвинені зв'язки із зовнішнім середовищем.

Існують сім правил логістики:

- 1) продукт необхідний споживачеві;
- 2) продукт повинен бути відповідного якості;
- 3) продукт повинен бути в необхідній кількості;
- 4) продукт повинен бути доставлений у потрібний час;
- 5) продукт повинен бути доставлений у потрібне місце;
- 6) продукт повинен бути доставлений з мінімальними витратами;
- 7) продукт повинен бути доставлений конкретному споживачеві.

2.2 Особливості виробничої логістики

Матеріальний потік на своєму шляху від первинного джерела сировини до кінцевого споживача проходить ряд виробничих ланок. Керування матеріальним потоком на цьому етапі має свою специфіку й називається *виробничою логістикою*.

Виробнича логістика – це забезпечення якісного, своєчасного й комплектного виробництва продукції відповідно до господарських договорів, скорочення виробничого циклу й оптимізація витрат на виробництво.

Завдання виробничої логістики стосуються керування матеріальними потоками усередині підприємств. Учасників логістичного процесу в рамках виробничої логістики зв'язують *внутривиробничі відносини* (на відміну від учасників закупівельного й розподільного логістичних процесів, зв'язаних товарно-грошовими відносинами).

Сучасне промислове виробництво — це найскладніший механізм, що включає в себе як власно виробничо-технологічні підрозділи, що здійснюють виробництво напівфабрикатів, деталей складальних одиниць із вихідної сировини й матеріалів, а потім складання готової продукції, так і велику кількість допоміжних підрозділів, які часто поєднують єдиною назвою «інфраструктура» виробництва. При цьому основні й допоміжні підрозділи об'єднані централізованою системою менеджменту фірми.

Іноді структура фірми складається з окремих виробничих підрозділів і дочірніх фірм, що розташовуються в різних містах і регіонах. Усе це значно ускладнює проблему формування ефективних логістичних систем і логістичного менеджменту, тому що виникають додаткові завдання транспортування готової продукції на значні відстані, питання створення проміжних запасів і т.п.

Через інфраструктурні підрозділи кожне підприємство формує зовнішні господарські зв'язки й здійснює внутрішні взаємодії своїх структурних елементів. Безпосереднє керування фінансовими й трудовими ресурсами підприємства проводиться тільки за допомогою інфраструктурних підрозділів. Застосування концепції логістики, зберігаючи технологічну спеціалізацію елементів підприємства, допомагає в такий спосіб ***інтегрувати*** підрозділи основного й інфраструктурного комплексів, що вони становлять єдине ціле, ***кожна частина якого окремо не може функціонувати самостійно***. Особливо наочно це проявляється у виробничій логістиці.

Як в основних, так і в допоміжних підрозділах будь-якої промислової фірми реалізується певний набір елементарних і комплексних управлінських розв'язків, що становлять предмет внутривиробничого логістичного

менеджменту. Не можна штучно розділяти логістичне керування основними підрозділами й інфраструктурою виробництва фірми, тому що вони працюють на виконання однієї мети випуску готової продукції відповідно до заданого виробничого розкладу при дотриманні стандартів якості й максимальної економії всіх видів ресурсів. При створенні єдиної структури внутрівиробничої логістичної системи повинна бути забезпечена максимальна координація й інтеграція всіх видів ланок виробничої структури фірми, що беруть участь у керуванні основними допоміжними матеріальними й пов'язаними з ними потоками.

При організації на виробництві логістичної системи, необхідно в кожному конкретному випадку максимально повніше проаналізувати особливості підприємства, характер *виробничого циклу*, його тип виробництва, систему постачання основного виробництва й подачі матеріальних ресурсів на робочі місця, систему норм, параметри ефективності використання ресурсів і т.д.

Виробничий цикл — це період часу між моментами початку й моментом закінчення виробничого процесу стосовно до конкретної продукції в рамках логістичної системи.

Тривалість виробничого циклу багато в чому залежить від характеристики руху матеріального потоку, які діляться на послідовні, паралельні й паралельно-послідовні схеми. Крім того, на тривалість виробничого циклу впливають також форми технологічної спеціалізації виробничих підрозділів, система організації самих виробничих процесів, прогресивність застосовуваної технології й рівень уніфікації продукції, що випускається.

Існує п'ять типів виробництва залежно від числа видів кінцевої продукції й обсягу випуску в натуральних показниках.

Перший тип — підприємства, що випускають складні вироби на замовлення. Це тип *одиначного позаказного виробництва*. Його відрізняє потенційно велика різноманітність продукції, що випускається, і штучний випуск. Він характеризується універсальним устаткуванням (верстати із числовим програмним керуванням, обробляючі центри, роботи й гнучкі автоматизовані виробництва) і висококваліфікованим персоналом (наладчики й верстатники широкого профілю).

Другий, третій і четвертий типи: різні варіанти серійного виробництва — *дрібносерійне, серійне й крупносерійне*. Чим вище серійність, тим нижче універсальність устаткування та вужче спеціалізація робітників, нижче число видів готової продукції й вище обсяги випуску.

П'ятий тип — підприємства *масового виробництва*. Тут використовується спеціалізоване встаткування, конвеєри, потокові лінії, технологічні комплекси. При цьому число видів продукції, що випускається, мінімально, а обсяги випуску максимальні.

У розвитку сучасного промислового виробництва відзначені тенденції звуження сфери масового й крупносерійного виробництва, що приводить до збільшення кількості малих і середніх підприємств. Відбувається технічне переоснащення виробництва на універсальне встаткування, гнучкі переналагоджувані виробничі системи. Виробники одержують усе більше замовлень на виробництво невеликих партій і навіть одиничних виробів. При цьому з боку покупця все частіше висувається вимога задовольнити потребу за мінімально коротким строком (доба, година) з високим ступенем гарантій.

Коли попит перевищує пропозиції, можна з достатньою впевненістю вважати, що виготовлена з урахуванням кон'юнктури ринку партія виробів буде реалізована. Тому пріоритет одержує мета **максимального завантаження встаткування**. Причому, чим крупніше буде виготовлена партія, тим нижче виявиться собівартість одиниці виробу. Завдання реалізації на першому плані не стоїть.

Ситуація міняється зі збільшенням пропозиції над попитом. Тоді завдання **реалізації зробленого продукту** в умовах конкуренції виходить на перше місце. Мінливість і непередбачуваність ринкового попиту роблять недоцільним створення великих запасів. У той же час виробничник уже не має права упустити жодного замовлення. Звідси необхідність у гнучких виробничих потужностях, здатних швидко відреагувати на виниклий попит.

Іншим аспектом актуальності виробничої логістики є організація виробництва в рамках кооперації по випуску складних виробів. У цьому випадку транспортні операції можуть бути об'єктом як виробничої логістики, так і транспортної логістики.

В організаційнім відношенні частина логістичної системи, до якої ставиться керування внутрівиробничими потоковими процесами, утворює виробничу логістичну систему, яка є інтегрованою сукупністю елементів у загальній структурі діючої логістичної системи.

Виробничі логістичні системи поєднують матеріальні потоки й задають ритм роботи всім іншим підсистемам. Вони визначають потенційні можливості адаптації мікрологістичних систем до змін навколишнього середовища. Крім того, виробничі логістичні системи обумовлюють здатність суміжних підсистем самонастроюватися відповідно до поточних цільових настанов. Гнучкість виробничих логістичних систем забезпечується за рахунок гнучкості виробництва й професіоналізму обслуговуючого персоналу.

Велику роль у побудові виробничих логістичних систем відіграє **катомізація виробництва**, яка полягає в додаванні продукції, що випускається, властивостей і параметрів, відповідних до замовлень конкретних споживачів.

Розвиток сучасного виробництва може вижити лише в тому випадку, якщо воно здатне швидко міняти асортименти й кількість продукції, що випускається. Відбувається переосмислення промислової політики підприємствами, яка раніше була спрямована на розв'язок завдання по розширенню виробництва за рахунок наявності на складах запасів готової продукції. Сьогодні логістика пропонує адаптуватися до змін попиту за рахунок створення запасу виробничої потужності й універсальності встаткування.

Запас виробничої потужності виникає при наявності якісної й кількісної гнучкості виробничих систем. Якісна гнучкість забезпечується за рахунок наявності універсального обслуговуючого персоналу й гнучкого виробництва.

У *традиційній концепції* організації виробництва застосовуються такі принципи:

- ніколи не зупиняти основне встаткування й підтримувати неодмінно високий коефіцієнт його використання;
- виготовляти продукцію як можна більшими партіями;
- мати максимально великий запас матеріальних ресурсів «про всякий випадок».

Ціль виробничої логістики полягає в точній синхронізації процесу виробництва й логістичних операцій у взаємозалежних підрозділах.

На відміну від традиційної концепції *логістична концепція організації виробництва* містить у собі наступні основні принципи:

- відмова від надлишкових запасів;
- відмова від завищеного часу на виконання основних і транспортно-складських операцій;
- відмова від виготовлення серій деталей, на які немає замовлення покупців;
- усунення простоїв устаткування;
- виключення браку;
- усунення нераціональних внутрівиробничих перевезень;
- залучення постачальників як доброзичливих партнерів.

2.3 Способи організації матеріальних потоків

При керуванні матеріальними потоками в рамках внутрівиробничих логістичних систем використовують два основні способи: *штовхаючий й тягнучий*.

Штовхаюча система являє собою систему організації виробництва, у якій предмети праці, що надходять на виробничу ділянку, не замовляються

цією ділянкою безпосередньо у попередньої технологічної ланки. Матеріальний потік «виштовхується» одержувачеві по команді, що надходить на передавальну ланку із центральної системи керування виробництвом.

Штовхаючі моделі керування потоками характерні для традиційних методів організації виробництва. Можливість їх застосування для логістичної організації виробництва з'явилася у зв'язку з масовим застосуванням комп'ютерної техніки. Впровадження програмних продуктів дозволило компаніям погоджувати й оперативно коректувати плани й дії всіх підрозділів підприємства: постачальницьких, виробничих і збутових, з урахуванням постійних змін у реальному масштабі часу. Використання програмного забезпечення дозволило суттєво скоротити робочий час на прийняття й виконання управлінських розв'язків.

Штовхаючі системи здатні за допомогою інформаційних систем погодити складний виробничий механізм у єдине ціле, проте вони мають природні межі своїх можливостей. Параметри предметів праці, що виштовхуються» на ділянку матеріального потоку оптимальні настільки, наскільки система управління спроможна врахувати й оцінити всі фактори, що впливають на виробничу ситуацію на цій ділянці. Однак чим більше факторів по кожній із численних ділянок підприємства повинна враховувати керуюча система, тим досконаліше й дорожче повинно бути її програмне, інформаційне й технологічне забезпечення.

Основним недоліком штовхаючих систем організації виробництва є необхідність створення буферних запасів між етапами виробничих циклів.

Тягнуча система являє собою систему організації виробництва, у якій деталі й напівфабрикати подаються на наступну технологічну операцію з попередньої *в міру необхідності*.

Тут центральна система керування не втручається в обмін матеріальними потоками між різними ділянками підприємства, не встановлює для них поточних виробничих завдань. Виробнича програма окремої технологічної ланки визначається розміром замовлення наступної ланки. Центральна система керування ставить завдання *лише перед кінцевою ланкою* виробничого технологічного ланцюга.

Переваги тягнучої системи:

- відмова від надлишкових запасів;
- швидке реагування на зміну попиту;
- заміна політики продажу зроблених товарів політикою виробництва продаваних товарів;
- завдання повного завантаження потужностей замінюється мінімізацією строків проходження продукції по технологічному процесу;

- зниження оптимальної партії деталей для обробки;
- виконання замовлень із високою якістю;
- скорочення всіх видів простоїв і нерациональних внутрішньозаводських перевезень.

Для того, щоб зрозуміти механізм функціонування тягнучої системи, розглянемо приклад.

Допустимо, підприємство одержало замовлення на виготовлення 10 одиниць продукції. Це замовлення система керування передає в цех складання. Цех складання для виконання замовлення запитує 10 деталей із цеху №1. Передавши зі свого запасу 10 деталей, цех №1 з метою поповнення запасу замовляє в цеху №2 10 заготовок. У свою чергу, цех №2, передавши 10 заготовок, замовляє на складі сировини матеріали для виготовлення переданої кількості деталей також з метою відновлення запасу. Таким чином, матеріальний потік "витається" кожною наступною ланкою. Причому персонал окремого цеху в стані врахувати набагато більше специфічних факторів, що визначають розмір оптимального замовлення, чим це змогла б зробити центральна система керування.

Свій внесок у розвиток світової логістичної системи внесла Японія, яка розробила й застосувала вперше у світі прогресивну логістичну концепцію "just in time" – JIT (точно в строк).

На практиці до тягнучих внутрівиробничих логістичних систем відносять систему "KANBAN" (у перекладі з японського «канбан» – картка), розроблену й реалізовану фірмою Тойота.

Система «канбан» не вимагає тотальної комп'ютеризації виробництва, однак вона припускає високу дисципліну поставок, а також високу відповідальність персоналу, тому що центральне регулювання внутрівиробничого логістичного процесу обмежене. Система «канбан» дозволяє суттєво знизити виробничі запаси. Наприклад, запаси деталей розраховуючи на один автомобіль у фірми «Тойота» становить 77 доларів, у той час як на автомобільних фірмах США цей показник рівний приблизно 500 дол. Система «канбан» дозволяє також прискорити оборотність обігових коштів, поліпшити якість продукції, що випускається.

Однак тягучі системи типу JIT і «канбан», усуваючи зайві запаси, можуть ефективно працювати лише при відносно коротких виробничих циклах, точнім прогнозуванні попиту й деяких інших виробничо-технологічних умовах.

Для виправлення недоліків, властивих і системам MRP і системам «канбан», були початі спроби їх об'єднання в єдиному планово-виробничому й диспетчерському комп'ютерному комплексі.

Одним з найбільш удалих прикладів синтезу у виробництві продукції ключових елементів MRP і «канбан» на основі сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій з'явилася розроблена на початку 1980-х років мікрологістична система «Optimized Production Tehnology» – OPT (оптимізована виробнича технологія).

Система OPT ставиться до класу «тягнучих» мікрологістичних систем, що інтегрують процеси постачання й виробництва. Основним принципом роботи цієї системи є виявлення у виробничому процесі так званих «вузьких» місць (в оригіналі – критичних ресурсів). Багато фахівців вважають OPT комп'ютеризованою версією «канбан» з тою різницею, що система OPT перешкоджає виникненню вузьких місць у логістичній мережі «постачання-виробництво», а система «канбан» дозволяє ефективно усувати вже виниклі вузькі місця.

У системі OPT здійснюється автоматизоване оперативно-виробниче планування й диспетчеризація. Комп'ютерні розрахунки виробничих розкладів виконуються на зміну, день, тиждень і т.д. Вирішуються також завдання контролю відвантаження запасів готової продукції споживачам, пошуку альтернативних ресурсів, видачі рекомендацій з повноцінних заміन у випадку відсутності необхідних матеріальних ресурсів. При формуванні графіка виробництва використовуються критерії:

- ступінь задоволення потреби виробництва в ресурсах;
- ефективність використання ресурсів;
- засоби, іммобілізовані (відвернені) у незавершеному виробництві;
- гнучкість у виборі ресурсів.

Реалізація оперативного планування й регулювання виробництва в системі OPT здійснюється з використанням програмно-математичного забезпечення, побудованого на модульній основі.

Для формування виробничого розкладу з бази даних OPT використовуються файли замовлень, технологічних карт, ресурсів, прогнозів збуту й ін. Дані файли матеріалів і комплектуючих виробів обробляються паралельно з даними файлів технологічних карт, у результаті чого формується технологічний маршрут, який обробляється за допомогою програмного модуля, що ідентифікує критичні ресурси. У результаті з'являється можливість оцінити інтенсивність використання ресурсів і ступінь їх завантаження й відповідним чином упорядкувати їх. На цьому етапі технологічний маршрут розгалужується. Галузі критичних ресурсів включають всі «вузькі» місця й наступні пов'язані з ними логістичні активності.

Після пошуку й виправлення помилок процес повторюється.

У процесі керування матеріальними потоками користувач може одержувати наступні вихідні параметри:

- Графік виробництва.
- Потреба в матеріальних ресурсах.
- Щоденний звіт майстра цеху (відділу).
- Графік доставки матеріальних ресурсів до робочих місць.
- Звіт про виробництво замовленої продукції.
- Стан складського запасу й ряд ін.

Ефект системи ОРТ із логістичних позицій полягає в зниженні виробничих і транспортних витрат, зменшенні запасів незавершеного виробництва, скороченні часу виробничого циклу, зниженні потреби в складських і виробничих площах, підвищенні ритмічності відвантаження готової продукції споживачам.

2.4 Перспективи розвитку виробничо-логістичної системи

У процесі розвитку науково-технічного прогресу, формування ринку покупця, зміни пріоритетів у мотиваціях споживачів і загострення всіх форм конкуренції зростає динамічність ринкового середовища. У той же час, прагнучи зберегти переваги масового виробництва, але підкоряючись тенденції індивідуалізації, підприємці усе більш переконуються в необхідності організації виробництва по типу гнучких виробничо-логістичних систем.

Гнучка виробничо-логістична система являє собою сукупність у різних комбінаціях устаткування із числовим програмним керуванням, роботизованих технологічних комплексів, гнучких виробничих модулів, окремих одиниць технологічного встаткування, систем забезпечення функціонування гнучких переналагоджуваних систем в автоматичному режимі протягом заданого інтервалу часу.

Гнучкі логістичні виробничо-логістичні системи мають властивість автоматизованого переналагодження в процесі виробництва продукції довільної номенклатури або надання послуг виробничого характеру. Вони дозволяють майже повністю виключити ручну працю при вантажно-розвантажувальних і транспортно-складських роботах, здійснити перехід до малолюдної технології.

Організація виробництва по типу гнучких виробничих систем практично неможлива без застосування логістичних підходів у керуванні матеріальними й інформаційними потоками. Тенденція створення гнучких виробничих (переналагоджуваних) систем прогресує дуже швидко, тому широке поширення концепції логістики в сфері основного виробництва є перспективним і однозначним. Модульний принцип функціонування

виробничих і логістичних систем інтегрує дві провідні форми організації виробничо-господарської діяльності.

Гнучкість являє собою здатність виробничо-логістичної системи оперативно адаптуватися до зміни умов функціонування з мінімальними витратами й без втрат. Гнучкість є одним з ефективних засобів забезпечення стійкості виробничого процесу.

Гнучкість верстатної системи відбиває тривалість і вартість переходу на виготовлення інших деталей (напівфабрикатів) у межах закріпленого за гнучкою виробничо-логістичною системою асортиментів. Показником даної гнучкості прийнято вважати кількість найменувань деталей, що виготовляються в проміжках між налагодженнями.

Асортиментна гнучкість. Вона відбиває здатність виробничо-логістичної системи до відновлення продукції. Її основними характеристиками є строки й вартість підготовки виробництва нового найменування деталей (напівфабрикатів) або нового комплексу логістичних операцій. Показником асортиментної гнучкості є максимальний коефіцієнт відновлення продукції або комплекс логістичних операцій, при яким функціонування виробничо-логістичної системи залишається економічно ефективним.

Технологічна гнучкість. Це структурна й організаційна гнучкість, яка відбиває здатність виробничо-логістичної системи використовувати різні варіанти технологічного процесу для згладжування можливих відхилень від попередньо розробленого графіка виробництва.

Гнучкість обсягів виробництва. Вона проявляється в здатності виробничо-логістичної системи раціонально виготовляти деталі (напівфабрикати) в умовах динамічності розмірів партій запуску. Основним показником гнучкості обсягів виробництва є мінімальний розмір партії (матеріальних потоків), при якому функціонування даної системи залишається економічно ефективним.

Гнучкість розширення системи. Інакше її називають конструктивною гнучкістю виробничо-логістичної системи. Вона відбиває можливість модулювання даної системи, її наступного розвитку (розширення). За допомогою конструктивної гнучкості реалізуються можливості об'єднання декількох підсистем у єдиний комплекс. Показником конструктивної гнучкості є максимальне число одиниць устаткування, яке може бути задіяне в гнучкій виробничо-логістичній системі при збереженні основних проектних розв'язків по логістичній системі й системі керування.

Універсальність системи. Даний вид гнучкості характеризується множиною деталей (напівфабрикатів), які потенційно можуть бути оброблені в гнучких виробничо-логістичних системах. Оцінкою універсальності системи є прогнозна кількість модифікацій деталей

(напівфабрикатів), які будуть оброблені в гнучкій виробничо-логістичній системі за весь період її функціонування.

Кожна виробничо-логістична система розробляється для задоволення потреб і стратегії конкретного підприємства. Тому вона є спеціалізованою не тільки по своєму технологічному призначенню, але й по всім спектру виробничо-господарських завдань.

Найважливішою інтегруючою системою логістики в сфері основного виробництва є автоматизована транспортно-складська система. По суті, завдяки їй забезпечується функціонування гнучких виробничо-логістичних систем.

2.5 Використання логістичної системи на підприємстві

Швидкий розвиток інформаційних технологій дозволив автоматизувати управлінський процес логістичного менеджменту на підприємстві за рахунок використання сучасного програмного забезпечення, яке дозволяє контролювати процес, починаючи від закупівель матеріалів через виробництво до розподілу й закінчуючи продажем готової продукції.

Безпосередньо у виробничому процесі використовуються логістичні системи керування, які застосовують для кожного типу виробництва свої методи керування.

Для підприємств першого типу (одиничне виробництво виробів на замовлення), це різного роду мережні моделі: PERT і «критичного шляху», а також стандарти керування MRP, які фактично містять у собі ці методи мережних розрахунків.

Для підприємств другого, третього й четвертого типів (серійне виробництво) – це методи MRP.

Для підприємств п'ятого типу (масове виробництво) – це методи Just-In-Time, «канбан». Можуть працювати також методи MRP. У тій ситуації, коли темпи збуту продукції, а значить і темпи виробництва, нестійкі (цілком типова ситуація для України) то комплексні методи й JIT перестають працювати, а MRP – це єдина оптимальна альтернатива.

Для виробництв безперервного типу немає загально визнаних методів керування, але в частині планування й обліку методи MRP цілком придатні.

У логістичній системі класу MRP повинні бути чітко виділено три базові блоки:

1. **Формування основного плану** на основі замовлень клієнтів і прогнозу попиту. Цей організаційно-алгоритмічний процес включає процедуру швидкої перевірки здійсненності плану по ресурсах, так зване «приблизне планування потужності – Rough Cut Capacity Planning».

2. **Планування потреб**, тобто складання плану-графіка виготовлення партій виробів власного виробництва й плану-графіка закупівлі матеріалів і комплектуючих. При цьому працюють цілком певні алгоритми розрахунків розмірів замовлень і дат запуску замовлень на основі мережних моделей. На цьому етапі виконується також розрахунки завантаження ресурсів або балансування плану-графіка по ресурсах – процедура «планування потужності — Capacity Planning».

3. **Оперативне керування**, що передбачає процедури перевірки укомплектованості й запуску замовлень, керування ходом виробництва через механізми створення виробничих циклів, обліку їх пріоритетів і розмірів замовлень, а також складського обліку.

Системи класу MRP спрямовані на планування діяльності служб постачання, збуту й виробництва як наскрізного графіка взаємозалежних замовлень. Вони повинні включати засоби фінансування й розвинену систему бухгалтерського обліку. Крім того, вони повинні включати засоби, що дозволяють змоделювати весь хід виробництва при даному варіанті основного плану, щоб побачити можливі майбутні проблеми й вузькі місця. Нарешті, системи класу MRP повинні підтримувати методи Just-In-Time.

Логістичну систему Just-In-Time необхідно розрізняти як метод керування і як своєрідну філософію керування. Дану систему не можна сприймати як комп'ютерну систему, тому що система використовує картки з однією-двома керуючими діями. Для того щоб вона працювала, необхідне розуміння філософії керування. Для цього потрібна найвища організація й точна синхронізація всіх виробничих процесів, включаючи операції з постачальниками й субпідрядниками. JIT як філософія керування орієнтована на організацію бездефектного виробництва при мінімумі витрат.

Використанню логістики як практичного інструмента бізнесу сприяла розробка логістичної системи DRP (Distribution Requirements Planning) – системи керування розподілом продукції з урахуванням споживчого попиту.

Наступний крок у розвитку логістичної системи був зроблений японською фірмою Тойота, що сформулювала нову філософію керування якістю продукції – TQM (Total Quality Management) – загального керування якістю, яка стала застосовуватися різними фірмами світу, що використовують стратегію поступового нарощування обсягів виробництва.

Основа системи TQM – це управлінський підхід, що ставить у центрі уваги завдання підвищення якості. Цей підхід заснований на участі в розв'язку завдання всього колективу фірми (організації) на всіх стадіях виробництва й просування продукції (послуг), що дозволяє досягтися довгочасного успіху за рахунок задоволення потреб споживачів і завдяки взаємній вигоді як кожного члена фірми, так і суспільства в цілому. Використовувана філософія керування в системі TQM, визнає, що потреби

споживача й мета бізнесу нероздільні. Цей підхід застосовується рівною мірою до всіх елементів логістичних систем.

Для успішного функціонування системи логістичного менеджменту використовується **виробничий розклад**, сформований із завдання задоволення споживчого попиту, що й відповідає на запитання: хто, що, де, коли й у якій кількості буде випускати (робити). Виробничий розклад, складений на основі об'ємно-календарного планування, дозволяє встановити диференційовані по всій фірмі й по кожному структурному виробничому підрозділу об'ємні й тимчасові характеристики матеріальних потоків.

Методи, застосовувані для складання виробничого розкладу, залежать від типу виробництва (масове, серійне, одиничне), а також характеристик попиту й параметрів замовлення.

Класичним методом об'ємно-календарного планування й складання виробничого розкладу є **стрічкова діаграма**, у якій співвідносяться час і види виконуваних робіт при виробництві готової продукції. Більш складні методи, наприклад, метод сіткового планування, застосовуються зазвичай на етапах дослідно-конструкторських робіт, а також в авіа- і суднобудуванні. Ці методи припускають послідовне або послідовно-паралельне виконання певних робіт і їх етапів, яке забезпечує скорочення тривалості загального виробничого циклу. Гідністю зазначених методів є простота, а також наочність у визначенні потреби в матеріальних ресурсах або виконавцях.

Замовлення на потрібні матеріальні ресурси можуть бути розміщені заздалегідь, що забезпечує більш високу надійність поставок. Потреби в певних матеріальних ресурсах при цьому визначаються з комплектувальних відомостей. До недоліків методів ставиться надзвичайно висока трудомісткість при багатомініклатурних матеріальних потоках.

2.6 Організація транспортно-складської системи

Логістична транспортно-складська система являє собою комплекс взаємозалежних автоматизованих транспортних і складських пристроїв для навантаження, розвантаження, укладання, зберігання, транспортування, тимчасового нагромадження предметів праці, інструментів і технологічного оснащення.

Система керування автоматизованою транспортно-складською системою складається із двох рівнів:

Нижній рівень виконує функції безпосереднього керування виконавчими механізмами автоматизованою транспортно-складською системою.

Верхній рівень координує роботу виконавчих механізмів, підтримує інформаційну модель функціонуючої автоматизованої транспортно-

складської системи й забезпечує взаємодію системи керування автоматизованої транспортно-складської системи з іншими підсистемами гнучкої виробничо-логістичної системи.

Координація роботи виконавчих механізмів включає:

- синхронізацію алгоритму виконуваних дій;
- узгодження роботи паралельно функціонуючих механізмів з метою недопущення збоїв і аварійних ситуацій;
- визначення черговості обслуговування заявок відповідно до програми виробництва.

Структура й функціональні можливості автоматизованої транспортно-складської системи, як правило, визначають конкретний варіант (або набір варіантів) організації виробництва в гнучкій виробничо-логістичній системі. У процесі свого функціонування виробничо-логістична система одержує інформацію з об'єктів, що обслуговуються, і одночасно самостійно формує необхідний обсяг взаємодоповнюючої оперативної інформації, обмін якої, як правило, ведеться в режимі активного двостороннього діалогу.

Одним з найпоширеніших організаційно-технологічних методів забезпечення стійкості виробничих і логістичних процесів є підвищення оперативності керуючих впливів. У деяких гнучких виробничо-логістичних системах організація виробничого процесу здійснюється за схемою «склад – верстат – склад». Особливо ефективна дана схема в дрібносерійнім виробництві. Вона дозволяє забезпечувати можливість асинхронної обробки деталей (напівфабрикатів), їхню оперативну доставку, а також своєчасний вступ технологічного оснащення до будь-якого робочого місця. Це дозволяє в реальному масштабі часу перейти до безперервного організаційного керування процесом виробництва.

Гнучкі виробничо-логістичні системи середньо- і дрібносерійного виробництва будуються по секційному принципу.

По призначенню секції підрозділяються на верстатні, неверстатні й допоміжні. Усі секції, що обслуговуються, є гніздами гнучкої виробничо-логістичні системи.

Склад устаткування в комплекснім гнізді вибирається по технологічних (у дрібносерійнім виробництві) або по виробничих (у середньосерійному виробництві) ознакам. Таким чином, комплексні гнізда бувають:

- технологічними;
- виробничими..

Гнізда технологічного профілю створюються виходячи з компоновальних міркувань і прагнення полегшити багатостатне

обслуговування. Тому вони зазвичай складаються з устаткування одного типу або устаткування близького технологічного призначення.

Для індивідуальних і комплексних технологічних гнізд виробничо-логістичний процес будується за схемою, яку можна представити в наступному виді: «склад – верстат – склад». Перевагою даної схеми є послідовність обробки різних найменувань деталей, тобто відсутність жорсткого зв'язку між алгоритмом просування матеріальних потоків через різні одиниці встаткування. Завдяки цьому проявляється можливість оперативно перерозподіляти ресурси гнучкої виробничо-логістичної системи при зміні виробничої ситуації, а також використовувати різноманітні транспортно-технологічні маршрути, при поломці встаткування переводити термінові деталі (напівфабрикати) на інше встаткування.

Зміст загальної схеми «склад – верстат – склад» залежить від технології обробки деталей, транспортувальних робіт і організації виробництва. Наприклад, технологічний процес може включати додаткові операції, які включають рух деталі зі складу на верстат, проходячи через секцію монтажу-демонтажу (де проводиться її установка в кріпильне пристосування), а потім, якщо верстат зайнятий, поміщати в накопичувач біля верстата. Згодом у процесі переміщення з верстата на склад крім демонтажу можуть проводитися технічний контроль, мийка, сушіння і т.д.

Транспортувальні роботи для виробничих гнізд можуть здійснюватися також по схемі «склад – верстат – – верстат – склад» Рух за цією схемою деталей (напівфабрикатів) від одного встаткування до іншого зазвичай проводиться без залучення транспортної підсистеми (вручну, робочими або внутрішніми транспортерами).

Щоб зберігати деталі (напівфабрикати) між операціями, виконуваними у виробничім гнізді, застосовуються проміжні пристаночні накопичувачі. Таким чином, схема транспортних потоків у виробничім гнізді аналогічна тій, яка використовується в гнучких автоматичних лініях, але при цьому якщо буде потреба виробничі гнізда можна використовувати як технологічні, тобто за схемою «склад – верстат – склад».

3 КЕРУВАННЯ МАТЕРІАЛЬНИМИ ПОТОКАМИ У ВИРОБНИЦТВІ

3.1 Закони організації виробництва

В організації керування виробничими процесами домінують наступні вимоги.

1. Забезпечення ритмічної роботи, тобто оптимальна організація робочих процесів у часі й просторі, що створює умови для своєчасного випуску кожної конкретної продукції у встановлених обсягах з мінімальними витратами матеріальних ресурсів. Слід зазначити, що ритмічну роботу не можна ототожнювати з рівномірним випуском продукції.

2. Забезпечення максимальної безперервності процесів виробництва. Безперервність виробничого процесу має дві протилежні сторони: безперервність руху предметів праці й безперервність завантаження робочих місць. Для розв'язку проблеми, якій із цих безперервностей віддати перевагу, служить критерій оптимізації *мінімуму витрат виробничих ресурсів*.

В умовах непотокового виробництва, у першу чергу, забезпечують безперервність робочих місць. Тоді як у потоковому – безперервність руху деталей (предметів праці).

3. Забезпечення максимальної надійності планових розрахунків і мінімальної трудомісткості планових робіт.

4. Забезпечення достатньої гнучкості й маневреності в реалізації мети при виникненні різних відхилень від плану.

5. Забезпечення відповідності системи оперативного керування виробництвом типу й характеру конкретного виробництва.

У виробництві, як і у всіх сферах життя людини, існують певні закони.

Знання дії законів, а головне використання їх на практиці дозволяє усунути традиційні втрати робочого часу робітників і встаткування по організаційно-технічних причинах, які становлять не менш 40% усього робочого часу. Це дозволяє підвищити конкурентоспроможність підприємства за рахунок мінімізації витрат на виробництво, гарантійний час доставки замовлень, гнучке регулювання обсягів виробництва.

Закон упорядкованості руху предметів праці у виробництві. Традиційна відсутність стандартизації й типізації індивідуальних технологічних маршрутів виготовлення різних найменувань предметів праці (деталей) викликає неупорядкований, майже хаотичний їхній рух у виробництві. Отже, без попередньої організації руху предметів праці

по типових міжцехових і внутрішньоцехових технологічних маршрутах взагалі неможливе планування ходу виробництва.

Упорядкований рух деталей у виробництві досягається двома способами:

- стандартизацією й типізацією міжцехових і внутрішньоцехових технологічних маршрутів;

- проектуванням типової схеми руху предметів праці у виробництві, що дозволяє до 10 і більш раз скоротити кількість різних міжцехових технологічних маршрутів.

Закон безперервності ходу виробничого процесу. Час протікання виробничого процесу характеризується тривалістю виробничого циклу, часом простою робочих місць і пролежування предметів праці у виробництві.

Зіставлення втрат виробництва від години простою робочого місця й від години пролежування партії предметів праці дозволяє сформулювати основні правила вибору раціональних методів календарної організації виробничого процесу:

- у всіх типах виробництва година простою робочого місця й година пролежування партії предметів праці протиставляються один одному не тільки як різні компенсатори, що вирівнюють тривалості операцій, але і як різні по величині втрати виробництва;

- у непотоковім виробництві виробничий процес повинен організовуватися за принципом безперервного завантаження робочих місць на противагу принципу безперервного руху предметів праці в потоковім виробництві;

- організація виробничого процесу на принципах безперервного завантаження робочих місць або безперервності руху предметів праці в конкретних умовах визначається співвідношенням втрат виробництва від простою робочих місць і від пролежування предметів праці.

Закон ритму виробничого циклу виготовлення виробу.

Закон ритму виробничого циклу виготовлення виробу – це об'єктивно існуюча сукупність істотних причинно-наслідкових зв'язків між параметрами виробничої програми підприємства (складом, строками, пріоритетами, пропорціями об'єктів виробництва і їх структурною трудомісткістю), з одного боку, і структурою елементів виробництва (наприклад, структурою ресурсів робочого часу різних робочих місць основного виробництва), споживаних у виробництві,- з іншого боку.

Дослідженнями встановлено, що навіть при ретельнім проробленні календарних графіків виготовлення виробу неможливо одержати рівномірну по величині «виробничу потужність процесу»,

наприклад, однаковій кількості деталей комплекту протягом усього циклу механічної обробки.

Ритм виробничого циклу виготовлення виробу являє собою закономірну комбінацію процесів розгортання й згортання виготовлення комплектів заготовок, деталей, складальних одиниць виробу по стадіях виробництва й виробничим ділянкам. На різних стадіях виробництва задіяна відповідно як різна кількість об'єктів виробництва, так і різна кількість робочих місць. При цьому, якщо досягнута найкраща організованість виробничого процесу в часі й просторі, то діє правило «золотого перетину»: у момент, відповідний до точки «золотого перетину», виробничий цикл виготовлення розглянутого комплекту деталей ділиться на дві частини; причому виробничий цикл виготовлення комплекту так ставиться до своєї більшої частини, як ця більша частина циклу ставиться до меншої (рисунок 3.1).

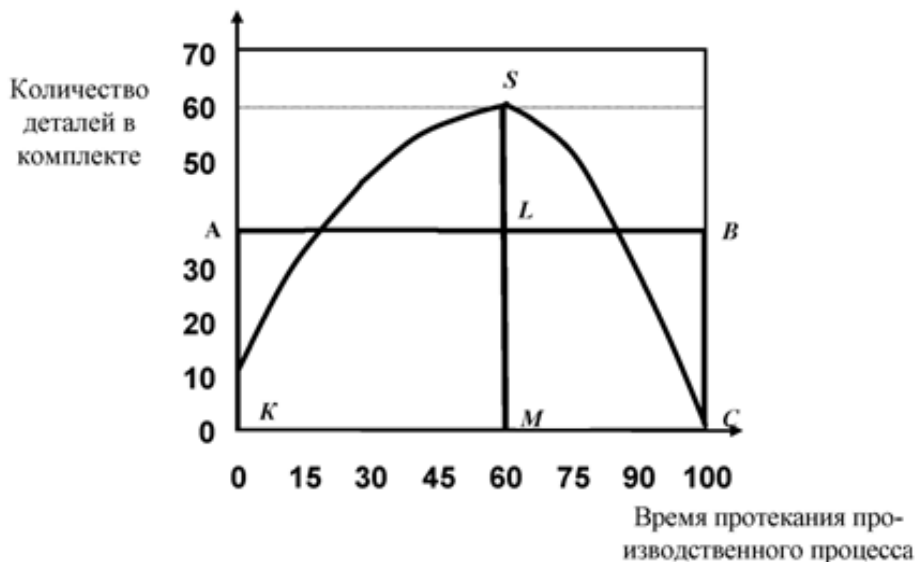


Рисунок 3.1 – Графік розгортання й згортання виробництва виробу по стадіях (точка M відповідає «золотому перетину»)

Крива на рисунку 3.1 показує, як оптимально повинен розвиватися виробничий процес, якщо необхідно виконати обсяг робіт, рівний площі прямокутника $OABC$, за 100 од. часу. Планована робота обсягом $OABC$ може бути виконана в строк, якщо в точці «золотого перетину» (M) при часі, рівному 60 одиницям буде готове 60% робіт.

Властивості «золотого перетину».

1. Точка (M) ділить відрізок OC у пропорції $OC:OM = OM:MC$.
2. Точка (L) ділить відрізок MB у пропорції $SM:LM = LM:SL$.
3. Площа під кривою «золотого перетину» KSC повинна рівнятися площі прямокутника $OABC$.

Закон календарної синхронізації циклів процесів виготовлення виробів і їх частин. При відмові від керування процесами синхронізації циклів виготовлення виробів і їх частин тривалість циклів збільшується до 3-х і більш разів, тому що при цьому календарне вирівнювання кожної частини процесу перевищить величину найбільшого циклу відповідної частини процесу.

Формулювання закону. При будь-якій формі організації виробництва нерівні тривалості технологічних операцій вирівнюються до деякої календарної межі або за рахунок пролежування деталей, або за рахунок простоїв робочих місць, або за рахунок того й іншого одночасно.

Приклад 1. Безперервно-потокове виробництво.

Для даного типу виробництва як ніде характерна мінімізація часу виготовлення виробу. Для цього необхідна попередня примусова організаційно-технологічна синхронізація тривалостей взаємозалежних технологічних операцій деталі, що дозволяє організувати безперервно-потокową лінію по її виготовленню. При цьому забезпечується безперервність руху (виготовлення) кожної деталі й завантаження кожного робочого місця. Подібна організація найдорожча й економічно прийнятна лише для крупносерійного й масового виробництва.

Приклад 2. Переривчато-потокowe виробництво.

Дана форма допускає незначні перерви руху деталей. Однак сумарні перерви мінімізують, використовуючи паралельно-последовний рух деталей, що приводить до концентрації мікропростоїв робочих місць. Концентрація мікропауз простоїв кожного робочого місця дозволяє визволити робітника й на цей час перевести на іншу операцію. Таким чином, синхронізація забезпечується як за рахунок простоїв устаткування робочих місць, так і за рахунок міжопераційного пролежування деталей.

Приклад 3. Непотокове виробництво.

При даному типі організації виробництва мінімальна тривалість виробничого циклу досягається за рахунок забезпечення найбільшої безперервності використання засобів виробництва (робочих місць), тому що година простою встаткування для даного типу виробництва обумовлює значно більші витрати, чим година пролежування деталей.

Основними календарно-плановими показниками організації виробничого процесу в часі є тривалість виробничого циклу обробки (виготовлення) деталі, нормативний розмір партії деталей і тривалість виробничого циклу виготовлення виробу.

Розрахунки тривалості виробничого циклу партії деталей

Розглянемо визначення тривалості виробничого циклу механічної обробки партії деталей. Відзначимо, що ці розрахунки є типовими і прийнятні для застосування в інших технологічних процесах.

Тривалість сукупного технологічного циклу механічної обробки партії деталей при різних видах їх руху або різних способах календарної організації процесу визначається по наступних формулах:

$$T_n = n \sum_{j=1}^m t_j, \quad (3.1)$$

$$T_{np} = (n-1)t_{zl} + \sum_{j=1}^m t_j \quad (3.2)$$

$$T_{nn} = T_n - (n-1) \sum_{j=1}^m t_{mj} = n \sum_{j=1}^m t_j - (n-1) \sum_{j=1}^m t_{mj} \quad (3.3)$$

де T_n – тривалість циклу обробки партії деталей при *послідовному* виді руху деталей; T_{np} – тривалість циклу обробки партії деталей при *паралельному* виді руху деталей; T_{nn} – тривалість циклу обробки партії деталей при *паралельно-послідовному* виді руху деталей; n – розмір партії однакових деталей, у штуках; t_j – тривалість j -ої технологічної операції деталі; $t_{zl} = \max t_j$ – найбільша тривалість технологічної операції деталі; t_{mj} – тривалість меншої з кожної пари суміжних технологічних операцій деталі.

По вищенаведених формулах, наприклад, для $n = 8$, $j = 4$, $t_1 = 3$, $t_2 = 1$, $t_3 = 4$, $t_4 = 2$, одержимо $\sum t_{mj} = 1+1+2 = 4$ і $\sum t_j = 3+1+4+2 = 10$.

Тоді тривалості циклів виготовлення розглянутої партії деталей приймуть наступні значення:

$$T_n = 8 \cdot 10 = 80, \quad T_{np} = 7 \cdot 4 + 10 = 38, \quad T_{nn} = 80 - 7 \cdot 4 = 52.$$

Розрахунки оптимального розміру партії деталей

Економічний (оптимальний) розмір партії дає можливість досягти зменшення загальних виробничих витрат на виконання річного завдання по виготовленню всіх найменувань деталей, передбачених програмою. Критерієм оптимального розміру партії, як правило, є мінімум сукупних витрат на переналагодження встаткування й на зв'язування засобів у незавершеному виробництві.

Оптимальний розмір партії деталей (n_{opt}) визначається по наступній залежності:

$$n_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{2 \cdot C_{\text{зап}} \cdot N}{C_{\text{изг}}}}, \quad (3.4)$$

де $C_{\text{зап}}$ – витрати по запускові партії деталей в обробку (налагодження встаткування, оформлення документації); N – кількість деталей, які необхідно виготовити за плановий період; $C_{\text{изг}}$ – витрати на виготовлення однієї деталі.

Розрахунки тривалості виробничого циклу виробу

Виробничий цикл виготовлення виробу ($T_{\text{изд}}$) включає тривалість циклу виготовлення заготовок ($T_{\text{заг}}$), тривалість циклу механічної обробки ($T_{\text{мех}}$), тривалість циклу складання ($T_{\text{сб}}$), а також час міжцехових перерв:

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{заг}} + T_{\text{мех}} + T_{\text{сб}} + (p - 1)t_{\text{мп}} \quad (3.5)$$

де p – кількість стадій (цехів) у виробництві; $t_{\text{мп}}$ – час міжцехових перерв (3-5 доби).

3.2 Логістика запасів

Матеріальні запаси або продукція, що очікує споживання, становлять значну частину обігових коштів підприємства. Тому нераціональне керування запасами, наприклад, на виробничім підприємстві приводить або до «заморожування» грошового капіталу, вкладеного в створення запасів, або може зірвати виконання виробничої програми, а також привести до її зміни. У цьому зв'язку в сучасних умовах розвитку народногосподарського комплексу країни, коли має місце гострий дефіцит «живих» грошей на рахунках окремих організацій, важливе значення набуває проблема оптимізації керування матеріальними запасами на складах, тобто створення на складі мінімально необхідної кількості запасів.

В чому полягає раціональне керування запасами?

1. Визначення по окремих найменуваннях товарів (предметів праці):

- максимально бажаного рівня запасів;
- рівня запасів, коли слід робити чергове замовлення;
- мінімального рівня запасів на складі, необхідного для запобігання дефіциту при непередбачених обставинах, наприклад, при затримках поставки.

2. Визначення кількості замовлень, які необхідно здійснювати за встановлений період часу.

3. Визначення розміру замовлення.

Очевидно, не можна знайти єдину (універсальну) систему керування для всієї номенклатури запасів, тому що на складі є товари або предмети праці, що користуються як більшим, або меншим попитом. У той же час є товари, що мають практично постійний попит, а інші, навпаки, змінний.

Матеріальні запаси є ключовим поняттям логістики.

Матеріальні запаси – це запаси, що перебувають на різних стадіях виробництва й обігу продукції виробничо-технічного призначення, вироби народного споживання й інші товари, що очікують вступу в процес особистого або виробничого споживання. Тобто запаси – це форма існування матеріального потоку, який позбавлений рухливості.

Однак фіксація місця знаходження запасів не обмежує другого параметра – часу. Особливістю логістики запасів є вивчення запасу як постійно мінливого в часі об'єкта, який у процесі трансформації з одного виду в іншій змінює просторове положення.

Таким чином, класифікаційними ознаками запасів є простір і час, а також розрізняють запаси залежно від функції, що виконується.

Класифікація за місцем перебування.

Усі запаси, наявні в економіці, визначені як ***сукупні***. Вони містять у собі сировини, основні й допоміжні матеріали, напівфабрикати, деталі, готові вироби, а також запасні частини для ремонту засобів виробництва.

Сукупні запаси підрозділяються на два види: виробничі й товарні.

Виробничі запаси – це запаси, які формуються в організаціях-споживачах (сировина, деталі і т.д.).

Товарні запаси перебувають в організації-виготовлювачі на складах готової продукції, а також у каналах сфери обігу.

Класифікація по функції, що виконується.

Виробничі запаси – це запаси, призначені для виробничого споживання. Вони забезпечують безперебійність виробничого процесу. До них ставляться предмети праці, що вироблені споживачу різного рівня, але ще не використані й не піддані переробці.

Товарні запаси – це запаси, які необхідні для безперебійного забезпечення споживачів матеріальними ресурсами.

Виробничі й товарні запаси підрозділяються на поточні, гарантійні (страхові), підготовчі, сезонні й перехідні.

Поточні запаси – це запаси на складі між двома поставками. Вони становлять основну частину виробничих і товарних запасів, а їх величина постійно міняється.

Гарантійні або страхові запаси – це запаси, які призначені для безперервного постачання споживача у випадку непередбачених обставин: відхилення в періодичності й величині партій поставок від запланованих, зміни інтенсивності споживання, затримки поставок у шляху.

Гарантійні запаси на відміну від поточних мають умовно постійну величину й при нормальних умовах роботи ці запаси недоторканні.

Підготовчі або буферні запаси виділяються з виробничих запасів при необхідності додаткової їхньої підготовки перед використанням у виробництві (сушіння пиломатеріалів, відпустка станин). Ці запаси формуються якщо буде потреба підготувати матеріальні ресурси до відпустки споживачам.

Перехідні запаси – це залишки матеріальних ресурсів на кінець звітного періоду. Вони призначають для забезпечення безперервності виробництва й споживання у звітному періоді й наступному за ним до чергової поставки.

Класифікація запасів за часом

Запаси змінюються в часі з певною інтенсивністю (рис. 3.2).

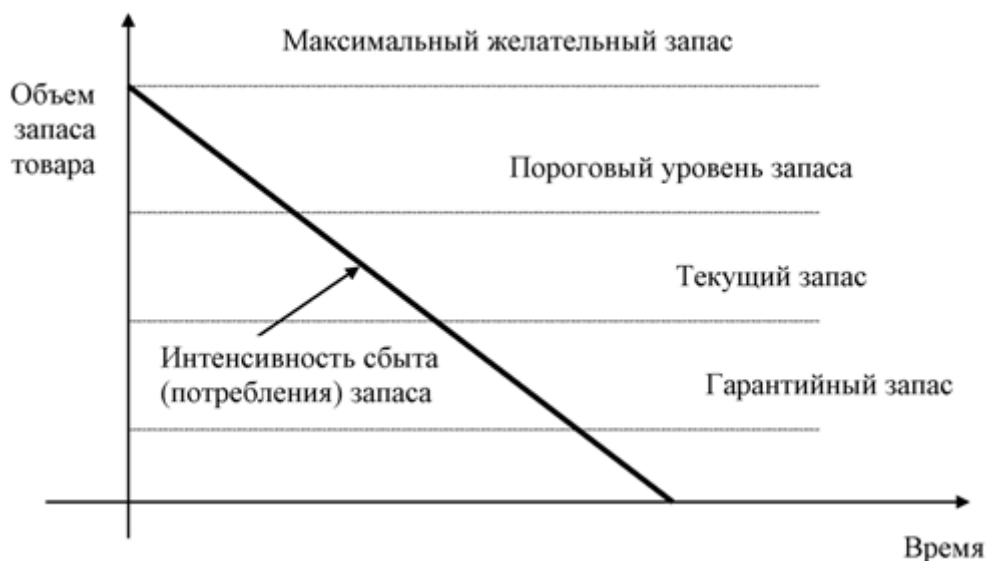


Рисунок 3.2 – Графік зміни рівня запасу в часі

Максимальний бажаний запас визначає рівень запасу, економічно доцільний у даній системі керування запасами. Цей рівень використовується як орієнтир при розрахунках обсягу замовлення й тому на практиці може перевищуватися.

Граничний рівень запасу використовується для визначення моменту часу видачі (необхідності) чергового замовлення.

Поточний запас відповідає рівню запасу в будь-який момент обліку. Він може збігатися з будь-яким рівнем запасу.

Гарантійний або страховий запас – це запас, який призначений для забезпечення безперервності інтенсивності збуту (споживання) у випадку непередбачених обставин. Крім усіх вищезгаданих видів запасів, розрізняють також *неліквідні запаси* – довгостроково невикористовувані запаси (зіпсований й морально застарілий товар).

Запаси – це обіговий капітал, тому їх кількість повинна бути оптимальною (мінімально необхідною). Це дозволить підвищити ефективність виробництва й направляти більше фінансових коштів на його розвиток.

Оптимальний розмір запасів, як і оптимальний розмір партії товарів, що поставляються, і відповідно, оптимальна частота завезення, залежить від наступних основних факторів:

- обсягу оборту (споживання або збуту сировини, напівфабрикатів або готової продукції) за певний проміжок часу;
- витрат на транспортно-заготівельні операції;
- витрат на зберігання запасів протягом певного проміжку часу.

Слід зазначити, що оптимальний розмір партії товарів, що поставляються, або оптимальний розмір замовлення може бути визначений аналітичним і графічним способами.

Аналітичний спосіб

Щоб визначити оптимальний розмір замовлення, необхідно розрахувати його розмір, при якому сума витрат на закупівлю товару, транспортно-заготівельні операції й зберігання запасів має мінімально необхідну величину.

Припустимо, що за певний період часу обсяг оборту (споживання або збуту) певного найменування товару становить (S). Розмір однієї партії, що замовляється (q). Допустимо, що нова партія завозиться після того, як попередня повністю закінчилася. Тоді середня величина запасу товару

становить $q/2$. Також уведемо розмір тарифу C_{xp}^e за зберігання одиниці запасів протягом періоду часу, за який споживається величина (S).

Тепер можна записати залежність по визначенню витрат на зберігання певного найменування товару за даний період часу:

$$C_{xp} = C_{xp}^e \cdot \frac{q}{2}, \quad (3.6)$$

де C_{xp} – витрати на зберігання запасів певного найменування товару за період часу споживання величини (S), грн.

Крім витрат на зберігання, організація має транспортно-заготівельні витрати, а також витрати, пов'язані із закупівлею товару:

$$C_o = C_o^e \cdot \frac{S}{q} + P \cdot S, \quad (3.7)$$

де C_o – витрати, пов'язані із закупівлею товару й транспортно-заготівельними витратами, за період оборту величини (S), грн.; C_o^e – транспортні й пов'язані з ними витрати на виконання одного замовлення, грн.; P – ціна одиниці товару, грн.

Тоді основне рівняння по визначенню сукупних витрат при формуванні запасів прийме наступний вид:

$$C_c = C_{xp} + C_o = C_{xp}^e \cdot \frac{q}{2} + C_o^e \cdot \frac{S}{q} + P \cdot S. \quad (3.8)$$

Очевидно, оптимальний розмір замовлення буде досягнутий, коли сукупні витрати ухвалюють мінімальне значення або коли перша похідна рівняння по розміру замовлення буде дорівнювати нулю.

$$C_c' = \frac{1}{2} C_{xp}^e - \frac{S}{q^2} \times C_o^e = 0 \quad (3.9)$$

Звідки оптимальний розмір замовлення

$$q_o = \sqrt{2 \cdot \frac{C_o^e \cdot S}{C_{xp}^e}}. \quad (3.10)$$

Дана залежність дозволяє визначати оптимальний розмір замовлення й у теорії керування запасами відома як **формула Уілсона**.

Як відзначалося вище, запаси є частиною обігових коштів підприємства. Тому, щоб скоротити вплив негативного ефекту (заморожування фінансових коштів, вкладених у створення запасів), сукупні витрати при формуванні запасів повинні додатково включати витрати, обумовлені втратами від *недоодержання доходу* (C_n).

Величину цих втрат за період часу споживання величини (S) рекомендується визначати по наступній залежності:

$$C_n = E \cdot \frac{q}{2} \cdot P, \quad (3.11)$$

де E – коефіцієнт ефективності фінансових вкладень за період часу споживання величини (S).

Коефіцієнт (E) може варіюватися в наступних межах.

1. Мінімальний розмір повинен становити величину, відповідну до депозитного відсотка за період часу споживання величини (S). Якщо, наприклад, аналізований період становить один місяць, то депозитний відсоток за місяць при 12%-ому річному складі 1%. У цьому випадку коефіцієнт (E) рівний 0,01.

2. Максимальний розмір повинен визначатися досягнутим рівнем рентабельності на підприємстві. Його величину відповідно до обраного аналізованого періоду необхідно визначати по наступній формулі:

$$E = \frac{R}{n \cdot 100\%} \cdot N_{об}, \quad (3.12)$$

де R – досягнутий середньорічний рівень рентабельності на підприємстві, %; n – кількість аналізованих періодів протягом року; $N_{об}$ – кількість обертів готової продукції протягом року.

Нехай, наприклад, досягнутий середньорічний рівень рентабельності на підприємстві становить 24%; аналізований період – один місяць; кількість обертів готової продукції протягом року – один оберт. Отже, у цьому випадку коефіцієнт (E), на відміну від першого пункту, буде рівний 0,02.

Таким чином, формула по визначенню оптимального розміру замовлення з урахуванням втрат від недоодержання доходу ($C_{п}$) буде мати такий вигляд:

$$q_0 = \sqrt{2 \cdot \frac{C_0^e \cdot S}{C_{xp}^e + E \cdot P}}. \quad (3.13)$$

Графічний спосіб

Графічний спосіб визначення оптимального розміру замовлення заснований на знаходженні точки мінімуму графічної залежності сукупних витрат (рис. 3.3) при формуванні запасів.

Для цього необхідно скласти:

- графік № 1 витрат на зберігання (C_{xp}), які змінюються прямо пропорційно розміру замовлення;
- графік № 2 транспортно-заготівельних витрат (C_0 і S/q), який має гіперболічну форму;
- графік № 3 витрат, пов'язаних із закупівлею товару ($P \cdot SX$ являє собою горизонтальну пряму, тому що дані витрати не залежать від розміру замовлення;

- графік № 4 витрат, обумовлених втратами від недоодержання доходу (C_n), що мають, як і в першому випадку, лінійний характер залежності.

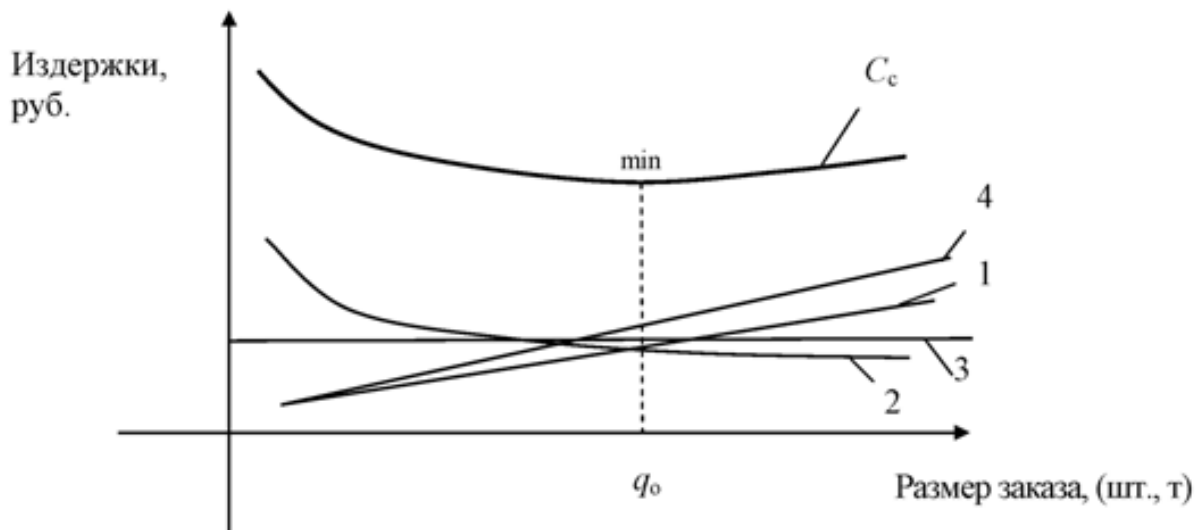


Рисунок 3.3 – Графічні залежності для визначення сукупних витрат

Далі всі графіки підсумуються геометрично й на сумарній графічній залежності – крива (C_c) – перебуває точка мінімуму, яка й визначить оптимальний розмір замовлення.

3.3 Системи керування запасами

Існують дві **основні системи** керування запасами, на яких базуються всі інші:

- система з фіксованим розміром замовлення;
- система з фіксованим інтервалом часу між замовленнями.

Система з фіксованим розміром замовлення

Розмір замовлення тут строго зафіксований і не міняється ні при яких умовах роботи системи. Тому визначення величини замовлення є основним завданням, яке вирішується при роботі з даною системою. Обсяг закупівлі (замовлення) повинен бути оптимальним, тобто найкращим для певних умов. У більшості випадків для його розрахунків використовуються відповідні формули по визначенню оптимального обсягу замовлення (q_0).

Після встановлення оптимального розміру замовлення (закупівлі) необхідно визначити момент часу, коли потрібно здійснювати замовлення, яке, у свою чергу, залежить від часу виконання замовлення.

Так, наприклад, в ідеальному випадку суцільно теоретичної ситуації, коли величина інтенсивності збуту постійна протягом тривалого часу, а час

виконання замовлення дорівнює нулю, графік руху запасів виглядає в такий спосіб (рисунок 3.4).

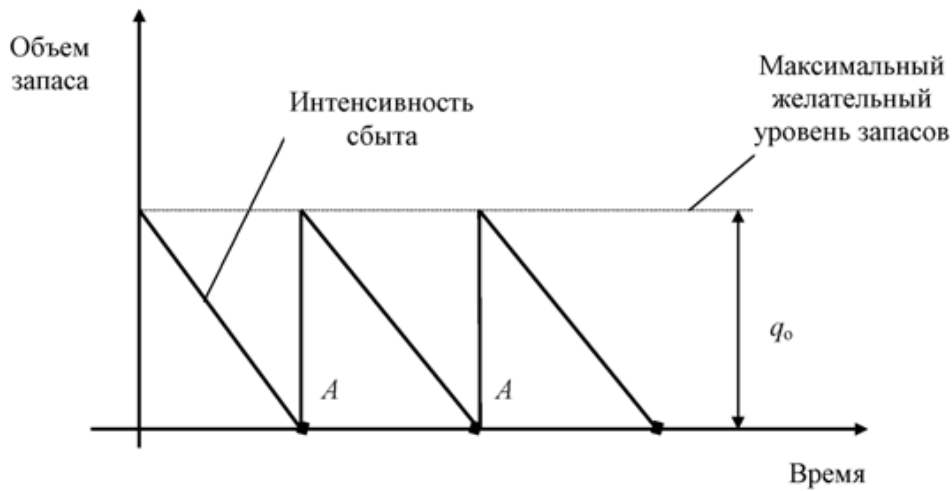


Рисунок 3.4 – Графік руху запасів в ідеальних умовах

Однак у реальних умовах змінюється не тільки інтенсивність збуту, але й час виконання замовлення. У такій ситуації повинен бути передбачений, по-перше, граничний рівень запасів, який забезпечує бездефіцитну роботу складу на час виконання замовлення, тим самим визначаючи рівень запасів і момент часу, коли необхідно робити чергове замовлення. По-друге, гарантійний (страховий) запас, який дозволяє забезпечити необхідну потребу в товарі в період часу передбачуваної затримки поставки. У цьому випадку графік руху запасів прийме наступний вид (рисунок 3.5).

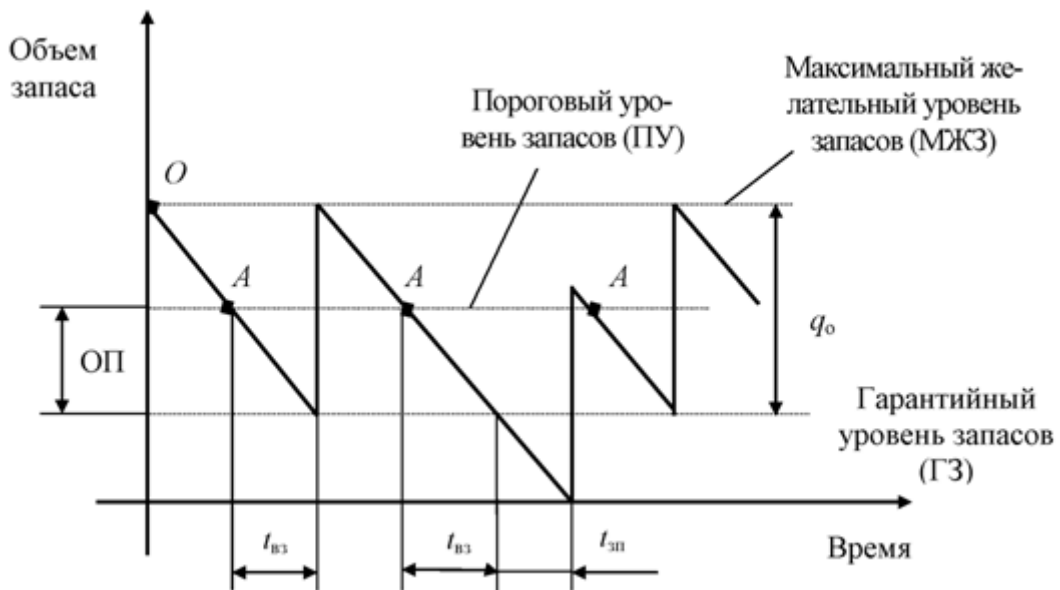


Рисунок 3.5 – Графік руху запасів у реальних умовах

Дана система керування запасами працює в такий спосіб. Після виконання замовлення розмір запасів на складі по певному найменуванню товару рівний максимальному бажаному рівню запасів (точка O). Із часом рівень запасу товару на складі зменшується відповідно до інтенсивності споживання (у нашій випадку її величина постійна). Та обставина, що в даній системі передбачений граничний рівень запасів, обумовлює необхідність постійного контролю рівня запасів. Так, службовець складу щодня відслідковує розмір запасу товару й порівнює його з величиною граничного рівня (розрахунковою).

У випадку, якщо поточний рівень запасу виявився рівним або менше граничного рівня (точка A), необхідно робити замовлення. А якщо ні, то замовлення не робиться. За час виконання замовлення розмір запасу товару на складі зменшується на величину очікуваного споживання (ОП). У випадку затримки поставки споживається гарантійний запас товару. Після виконання замовлення рівень запасу товару на складі поповнюється на величину оптимального розміру замовлення (q_o).

Для розрахунків параметрів системи необхідні наступні вихідні дані:

- обсяг оборту (споживання або збуту сировини, напівфабрикатів або готової продукції) за певний період (S);
- оптимальний розмір замовлення (q_o);
- час виконання замовлення ($t_{вз}$);
- час затримки поставки ($t_{зп}$).

Порядок розрахунків основних параметрів розглянутої системи.

1. Денне споживання товару на складі визначається як відношення обсягу оборту (споживання або збуту сировини, напівфабрикатів або готової продукції) за певний період (S) до кількості робочих днів у даному періоді.

2. *Гарантійний запас* на складі розраховується як добуток денного споживання товару на складі й часу затримки поставки.

3. *Очікуване споживання товару* на складі за час виконання замовлення (ОП) визначається як добуток денного споживання товару на складі й часу виконання замовлення.

4. Граничний рівень запасів на складі розраховується як сума гарантійного запасу на складі й очікуваного споживання товару на складі за час виконання замовлення.

5. Максимальний бажаний рівень запасів на складі визначається як сума гарантійного запасу на складі й оптимального розміру замовлення.

Система з фіксованим інтервалом часу між замовленнями

У даній системі замовлення здійснюються в строго певні моменти часу, які відстоять друг від друга на рівні інтервали. Причому в даній системі розмір замовлення – величина змінна.

Визначити інтервал часу між замовленнями (I) можна з урахуванням оптимального розміру замовлення (q_o) по наступній залежності:

$$I = N : \frac{S}{q_0}, \quad (3.14)$$

де N - кількість робочих днів у періоді, за який споживається величина (S). Інтервал часу між замовленнями (I) повинен округлятися до цілого числа днів, а також може незначно коректуватися.

Графік руху запасів для даної системи представлено на рисунку 3.6.

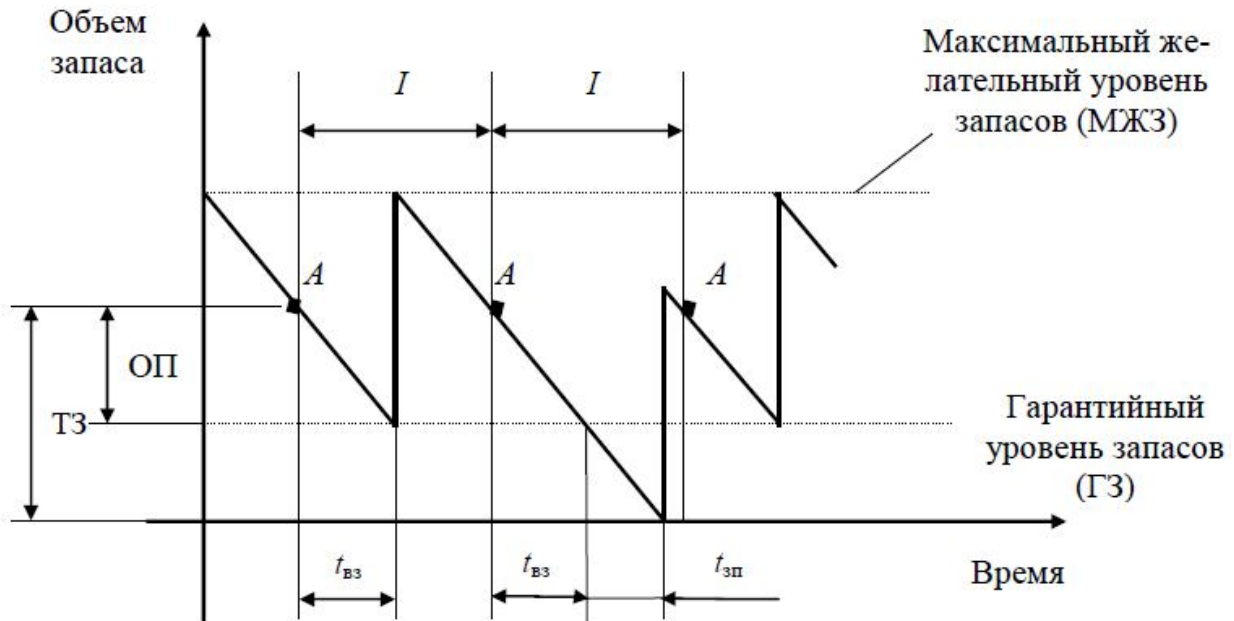


Рисунок 3.6 – Графік руху запасів у системі з фіксованим інтервалом часу

Для розрахунків параметрів системи з фіксованим інтервалом часу між замовленнями необхідні наступні вихідні дані:

- обсяг обороту (споживання або збуту сировини, напівфабрикатів або готової продукції) за певний період (S);
- інтервал часу між замовленнями (I);
- час виконання замовлення ($t_{вз}$);
- час затримки поставки ($t_{зп}$).

Порядок розрахунків основних параметрів розглянутої системи.

1. Денне споживання товару на складі визначається як відношення обсягу обороту (споживання або збуту сировини, напівфабрикатів або готової продукції) за певний період (S) до кількості робочих днів у даному періоді.
2. Гарантійний запас на складі розраховується як добуток денного споживання товару на складі й часу затримки поставки.

3. Очікуване споживання товару на складі за час виконання замовлення (ОП) визначається як добуток денного споживання товару на складі й часу виконання замовлення.
4. Максимальний бажаний рівень запасів на складі визначається як сума гарантійного запасу на складі й добутку інтервалу часу між замовленнями й очікуваного денного споживання товару на складі.
5. Розмір замовлення (РЗ) у даній системі – величина змінна й розраховується по наступній залежності:

$$PЗ = MЖЗ - TЗ + ОП, \quad (3.15)$$

де МЖЗ – максимально бажаний рівень запасів на складі, шт., т; ТЗ – поточний розмір запасів на складі на момент здійснення замовлення, шт., т; ОП – очікуване споживання товару на складі за час виконання замовлення, шт., т.

Кожна з *основних систем* керування запасами має свої гідності й недоліки. Так, позитивним моментом для системи з фіксованим розміром замовлення є менший максимально бажаний рівень запасів на складі, що забезпечує менші витрати на зберігання запасів. Однак у даній системі необхідний постійний контроль наявності запасів на складі. У той же час для системи з фіксованим інтервалом часу між замовленнями позитивним є відсутність постійного контролю наявності запасів на складі. При цьому у даної системи більш високий рівень максимально бажаного запасу, що обумовлює підвищення витрат на зміст запасів.

Система із установленою періодичністю поповнення запасів до встановленого рівня

На відміну від *основних систем* ця система орієнтована на роботу з товарами, які мають значну величину й коливання споживання. Тому, щоб запобігти завищенню обсягів запасів, що втримуються на складі, або їх дефіциту, дана система включає елементи двох основних систем – установлену періодичність оформлення замовлення й відстеження граничного рівня запасів. Однак при цьому базовою для роботи даної системи є система з фіксованим інтервалом часу між замовленнями. Це виражається в наступному (рисунок 3.7).

1. Якщо із часом потреба в товарі не міняється (інтенсивність споживання № 1) або навіть короткочасно скоротилася (інтенсивність споживання № 2), то дана система працює як система з фіксованим інтервалом часу між замовленнями.

2. Якщо потреба короткочасно **збільшилася** (інтенсивність споживання № 3), у дію вступає система з фіксованим розміром замовлення, усуваючи при цьому дефіцит і поповнюючи запаси до максимального бажаного рівня. Перше замовлення в даній ситуації робиться в точці Д1, коли запаси досягають *граничного рівня*. Це замовлення називається *додатковим*, а його розмір визначають по наступній залежності:

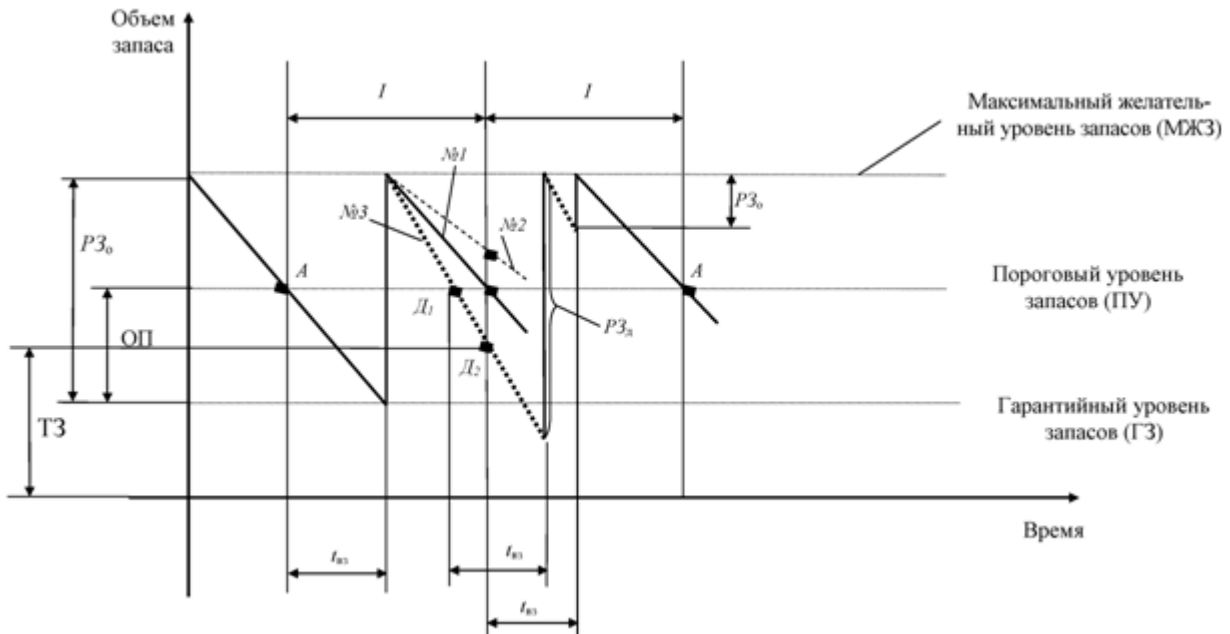


Рисунок 3.7 – Графік руху запасів у системі з періодичним поповненням запасів

$$PЗ_d = MЖЗ - ПУ + ОП. \quad (3.16)$$

Друге замовлення (основне) робиться, як у перших двох випадках, у фіксований момент часу (точка Д2). Його розмір необхідно визначати по формулі:

$$PЗ_o = MЖЗ - ТЗ + ОП - PЗ_d \quad (3.17)$$

або по формулі:

$$PЗ_o = ОДП \times t, \quad (3.18)$$

де ОДП – очікуване денне споживання після моменту часу початку додаткового замовлення; t – період між додатковим і основним замовленнями, робочих днів.

Для розрахунків параметрів системи із установленою періодичністю поповнення запасів до встановленого рівня необхідні наступні вихідні дані:

- обсяг оборту (споживання або збуту сировини, напівфабрикатів або готової продукції) за певний період (S);
- оптимальний розмір замовлення (q_0);
- інтервал часу між замовленнями (I);
- час виконання замовлення ($t_{вз}$);
- час затримки поставки ($t_{зп}$).

Порядок розрахунків основних параметрів розглянутої системи.

1. Денне споживання товару на складі визначається як відношення обсягу оборту (споживання або збуту сировини, напівфабрикатів або готової продукції) за певний період (S) до кількості робочих днів у даному певному періоді.

2. Гарантійний запас на складі розраховується як добуток денного споживання товару на складі й часу затримки поставки.

3. Граничний рівень запасів на складі розраховується як сума гарантійного запасу на складі й очікуваного споживання товару на складі за час виконання замовлення.

4. Очікуване споживання товару на складі за час виконання замовлення (ОП) визначається як добуток денного споживання товару на складі й часу виконання замовлення.

5. Максимальний бажаний рівень запасів на складі визначається як сума гарантійного запасу на складі й добутку інтервалу часу між замовленнями (I) і очікуваного денного споживання товару на складі.

Система «мінімум-максимум»

Дана система орієнтована на ситуацію, коли витрати на облік запасів і витрати на оформлення й доставку замовлення настільки значні, що стають порівняні із втратами від дефіциту запасів товару. У цьому зв'язку її доцільно застосовувати для товарів, що мають незначну величину попиту. Тому в розглянутій системі замовлення проводяться не через кожний фіксований інтервал часу між ними, а тільки за умови, що запаси на складі в цей момент часу виявилися рівними або менше встановленого мінімального рівня. У випадку видачі замовлення його розмір розраховується так, щоб поставка поповнила запаси до максимально бажаного рівня, тому дана система працює лише із двома рівнями запасів – мінімальним і максимальним.

Роль мінімального рівня в даній системі виконує граничний рівень (рисунок 3.8).

Для розрахунків параметрів системи «мінімум-максимум» необхідні наступні вихідні дані:

- обсяг оборту (споживання або збуту сировини, напівфабрикатів або готової продукції) за певний період (S);
- інтервал часу між замовленнями (I);
- час виконання замовлення ($t_{вз}$);
- час затримки поставки (t_{zn}).

Порядок розрахунків основних параметрів розглянутої системи.

- 1 Денне споживання товару на складі визначається як відношення обсягу оборту (споживання або збуту сировини, напівфабрикатів або готової продукції) за певний період (S) до кількості робочих днів у даному періоді.

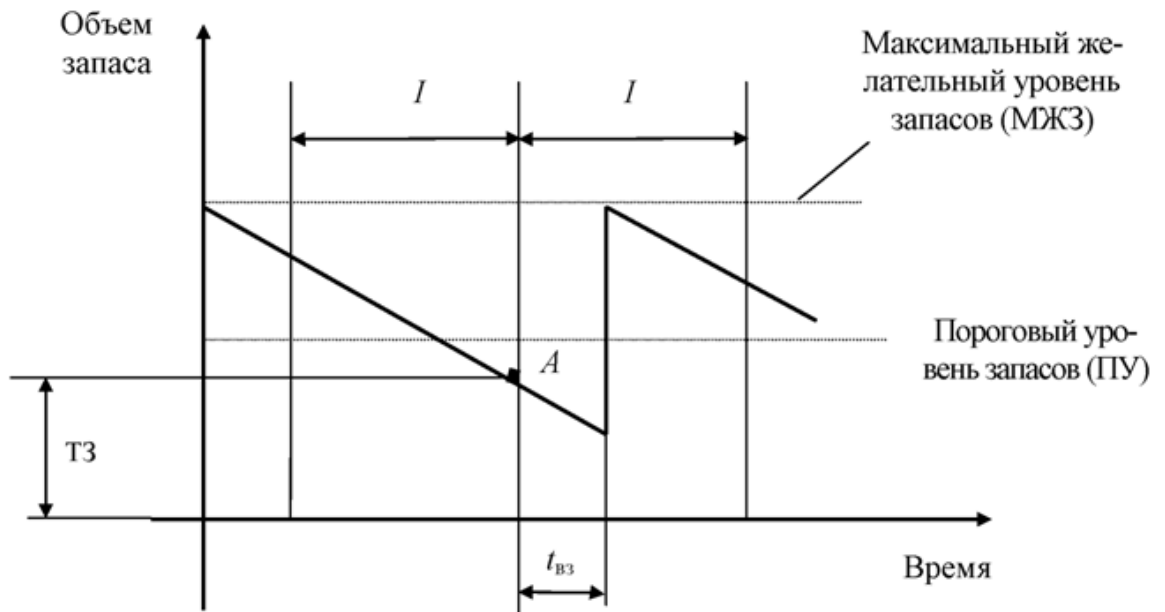


Рисунок 3.8 – Графік руху запасів у системі «мінімум-максимум»

- 2 Граничний рівень запасів на складі розраховується як добуток суми часу виконання замовлення й затримки поставки й денного споживання товару на складі.
- 3 Максимальний бажаний рівень запасів на складі визначається як добуток суми часу затримки поставки, інтервалу часу між замовленнями (I) і очікуваного денного споживання товару на складі.
- 4 Розмір замовлення ($PЗ$) визначається по наступній залежності:

$$PЗ = MЖЗ - TЗ + ОП. \quad (3.19)$$

Методика вибору системи керування запасами

У логістиці запасів проблема вибору оптимальної системи керування для відповідних найменувань запасів є дуже важливою.

Установлено, що на вибір системи керування запасами основний вплив виявляють наступні фактори:

- інтенсивність споживання товарів (предметів праці);
- прогностичність споживання (попиту) товарів (предметів праці).

Методика обліку даних факторів при виборі системи керування запасами на коротко- і середньострокову перспективу з використанням виробничого досвіду полягає в наступному.

1. Уся **номенклатура товарів** (предметів праці) складу розбивається на три групи А, В і С по величині попиту за встановлений проміжок часу (наприклад, рік). Причому в групу А входить 20% від кількості усієї номенклатури запасів, що мають найбільшу інтенсивність споживання (що

приносять найбільший прибуток або валовий дохід), у групу В – наступні 30% номенклатури товарів, а в групу С – інші 50% номенклатури запасів. Слід зазначити, що відсоток кількості від усієї номенклатури запасів може бути іншим (наприклад, у групі А – 10%, В – 20%, С – 70%) залежно від значимості запасів тієї або іншої групи або стратегії й тактики розвитку фірми.

2. Уся **номенклатура запасів** розбивається на три групи Х, Y і Z з урахуванням прогностичності споживання товарів, яка визначається за допомогою коефіцієнта V варіації попиту на товар. Даний коефіцієнт розраховується по наступній залежності:

$$v = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}}{\bar{x}}, \quad (3.20)$$

де i – номер інтервалу; n – число інтервалів, на яке розбивається встановлений період (наприклад, рік розбивається на 12 місяців); x_i – значення попиту на певний вид товару за i -й період (місяць), шт. (тонн, грн.); \bar{x} – середнє значення попиту на певний вид товару за встановлений

період аналізу, наприклад, рік $\left(\frac{\sum x_i}{n} \right)$.

3. Після розрахунків коефіцієнта варіації для всієї номенклатури товарів необхідно впорядкувати їх по відповідних групах. Пропонований алгоритм поділу номенклатури представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Група	Інтервал	Характеристика групи запасов
X	$0 < \eta < 10\%$	Хорошая прогнозируемость спроса (потребления) на товары
Y	$10,1 < \eta < 25\%$	Удовлетворительная прогнозируемость спроса (потребления) на товары
Z	$25,1 < \eta < 100\%$	Неудовлетворительная прогнозируемость спроса (потребления) на товары

Слід зазначити, що інтервали можуть ухвалювати інші значення.

4. Після проведення розрахунків по пунктах 1 і 2 заповнюється матриця за такою формою (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 - Матриця аналізу ABC-XYZ

<i>AX</i>	<i>AY</i>	<i>AZ</i>
<i>BX</i>	<i>BY</i>	<i>BZ</i>
<i>CX</i>	<i>CY</i>	<i>CZ</i>

У відповідну клітку матриці вносяться номери (найменування) товарів, що одночасно ставляться до двох груп, наприклад, А і Х.

Знаючи особливості чотирьох розглянутих систем керування запасами, а також ті обставини, у яких доцільно їх застосування, установлюємо:

- для товарів, які ставляться до груп CX, CY і CZ, слід застосовувати систему керування запасами «мінімум-максимум», тому що реалізація цих товарів приносить мінімум доходу (мають низьке або незначне споживання). Тому витрати на їхній зміст як запаси й доставку замовлення настільки значні, що стають порівняні із втратами від дефіциту запасів;

- для товарів, що ставляться до груп AZ і BZ, раціональною буде система із установленою періодичністю поповнення запасів до встановленого рівня, тому що вона орієнтована на роботу з товарами, для яких характерні більша величина й значні коливання споживання (попиту), тобто товари, які мають низьку прогностичність попиту. У нашій випадку товари саме цих груп мають значні коливання споживання (коефіцієнт варіації попиту для них перевищує 25%);

- для інших товарів, що мають задовільну й гарну прогностичність попиту а також приносять найбільший дохід (що мають найбільшу інтенсивність споживання) AX, BX, AY і BY, доцільним буде застосування однієї з основних систем керування запасами. Зокрема, для товарів AY і BY, що відрізняються задовільною прогностичністю споживання (попиту), більш прийнятною є система з фіксованим розміром замовлення, тому що для неї характерний щоденний контроль наявності запасів на складі, а отже, при цьому усуваються потенційні ситуації дефіциту запасів або перевищення максимального бажаного рівня запасів.

3.4 Логістика складування

Організація поточкових процесів від постачальника сировини до кінцевого споживача товарної продукції неможлива без концентрації у встановлених місцях необхідної кількості запасів. Це обумовлює створення складських площ у тій або іншій ланці логістичного ланцюга, призначених для нагромадження на певний час сировини, напівфабрикатів або готових виробів, для забезпечення безперебійного й ритмічного виконання замовлень споживачів.

Однак рух через склад матеріальних потоків пов'язаний з витратами, що в підсумку збільшують вартість товару. Тому проблеми, пов'язані з функціонуванням складів: формуванням і переформуванням вантажних одиниць, зберіганням і переупаковкою товарів, а також проведенням інших логістичних операцій, значно впливають на раціоналізацію руху матеріальних потоків, використання транспортних засобів і величину витрат обігу.

У зв'язку із цим організація роботи складу повинна розглядатися не ізольовано, а як інтегрована складова частина логістичного ланцюга. Тільки системний підхід дозволить забезпечити успішне виконання основних функцій складу й досягнення високого рівня рентабельності базового підприємства.

Класифікація складів

Склади – це побудови, спорудження й різноманітні пристрої, призначені для приймання, розміщення й зберігання на них товарів, підготовки їх до споживання й відпустці споживачеві.

Розрізняють наступні види складів.

1. По характеру діяльності або по призначенню: матеріальні (постачальницькі) склади, внутрішньовиробничі (міжцехові й внутрішньоцехові), збутові.

2. По виду й характеру збережених матеріалів: універсальні й спеціалізовані.

3. По типу конструкції: відкриті й закриті, напівзакриті, спеціальні (наприклад, бункерні спорудження, резервуари).

4. По місці розташування й масштабу дії: центральні, дільничні, цехові.

5. По ступеню вогнестійкості: неспаленні, трудноспаленні.

6. По висоті укладання вантажів: з укладанням від 2 до 24 м і вище.

7. По ступеню механізації: немеханізовані, комплексно-механізовані, автоматизовані й автоматичні.

8. По можливості доставки й вивозу вантажу за допомогою залізничного або водного транспорту: *пристанційні* або *портові* (розташовані на території залізничної станції або порту), *прирейкові* (мають підведену залізничну вітку подачі вагонів) і *глибинні*. Для доставки вантажу в останні додатково необхідно застосовувати автомобільний транспорт.

9. Інші.

Принципова схема складу показана на рисунку 3.9.

Розміщення товарів на складі

Розміщення товарів на складі може бути випадковим і оптимізованим. Причому головний принцип оптимізації розміщення товарів на складі полягає в мінімізації кількості пересувань за допомогою поділу всього асортиментів на групи, що вимагають великої кількості переміщень, і групи, до яких звертаються досить рідко.



Рисунок 3.9 – Принципова схема складу

При цьому до першої групи ставляться товари, що мають значну інтенсивність споживання протягом певного періоду часу. До другої групи ставляться товари, що мають відносно невелику інтенсивність споживання.

Для поділу всього асортименту товарів, що надходять на склад, на ці дві групи використовують правило Парето (20/80), яке стосовно до логістики складування полягає в наступному.

Товари, що часто відпускаються, становлять лише невелику частину номенклатури – зазвичай близько 20% найменувань. Розташовувати їх необхідно в зручних, максимально наближених до зон відпустки місцях, уздовж так званих «гарячих» ліній (зон). Інші 80% найменувань номенклатури відсувають на «другий план» до так званих «холодних» зон. Уздовж «гарячих» ліній повинні розташовуватися також великогабаритні товари й товари, що зберігаються без тари.

Визначення оптимальної кількості складів

Обслуговування деякого числа споживачів товарами, що виготовляються на підприємстві, можна здійснювати за допомогою одного, двох, трьох і т.д. розподільних складів. Однак, щоб визначити оптимальну модель розподілу матеріального потоку, необхідно проаналізувати повну вартість такого обслуговування, тобто врахувати всі економічні аспекти, що виникають при зміні кількості складів у логістичній системі.

Графічний метод розв'язку завдання

Позначимо величиною N кількість складів, через які здійснюється постачання споживачів.

У якості залежних змінних ухвалюються наступні види витрат:

- транспортні витрати;
- витрати на утримання запасів;
- витрати, пов'язані з експлуатацією складського господарства;
- витрати, пов'язані з керуванням складською системою;
- втрати продажів, викликані видаленням постачального складу від споживача.

Транспортні витрати діляться на дві групи:

- транспортні витрати, пов'язані з доставкою товарів на склади. (очевидно, що вони будуть тим більші, чим більше складів);
- транспортні витрати по доставці товарів зі складів їх споживачам (вони будуть тим менше, чим більше кількість складів).

Витрати на утримання запасів залежать від кількості складів. Зі зменшенням зони обслуговування окремого складу зменшується і його розмір запасів, однак не настільки швидко, як зона обслуговування. У результаті сумарний запас тим більше, чим більше складів, тому що на кожному складі необхідно створювати окремий *страховий запас*.

Витрати, пов'язані з експлуатацією одного складського господарства знижуються зі збільшенням кількості складів. Однак сумарні витрати стають тим більше, чим більше кількість складів.

Витрати, пов'язані з керуванням одним складом у розподільній системі складів знижуються зі збільшенням кількості складів. Однак сумарні витрати стають тим більше, чим більше кількість складів.

Втрати продажів при скороченні числа складів зростають, тому що середня відстань до пунктів, що обслуговуються, збільшується й споживачеві складніше самому приїхати на склад і вибрати асортименти товару. Тому, зі збільшенням числа складів поліпшуються зручності для споживачів і дані втрати скорочуються.

Мінімум витрат визначається по кривій, що підсумує всі приватні витрати для різної кількості складів (рисунок 3.10).

Визначення місця розташування розподільного складу

Визначення оптимального місця розташування розподільного складу в зоні обслуговування його споживачів засноване на мінімізації транспортних витрат по доставці товарів. Причому визначення оптимального місця розташування складу, засноване на мінімізації транспортних витрат, здійснюється лише за умови наявності в зоні споживачів, що обслуговуються, розвинутій мережі доріг, тому що в протилежному випадку розв'язок, швидше за все, буде очевидним. Так, якщо в зоні, що обслуговується, є тільки дві пересічні дороги (магістралі), уздовж яких розташовані споживачі, то розподільний склад слід розмістити на їхньому перетинанні.

Існують наступні методи визначення оптимального місця розташування розподільного складу:

1. Метод повного перебору, алгоритм якого зводиться до наступного:
 - визначають усі можливі варіанти розміщення складу;
 - визначають транспортні витрати по доставці товарів їх споживачам для кожного варіанта розміщення складу;
 - вибирають варіант розміщення складу, який забезпечує мінімальні транспортні витрати.

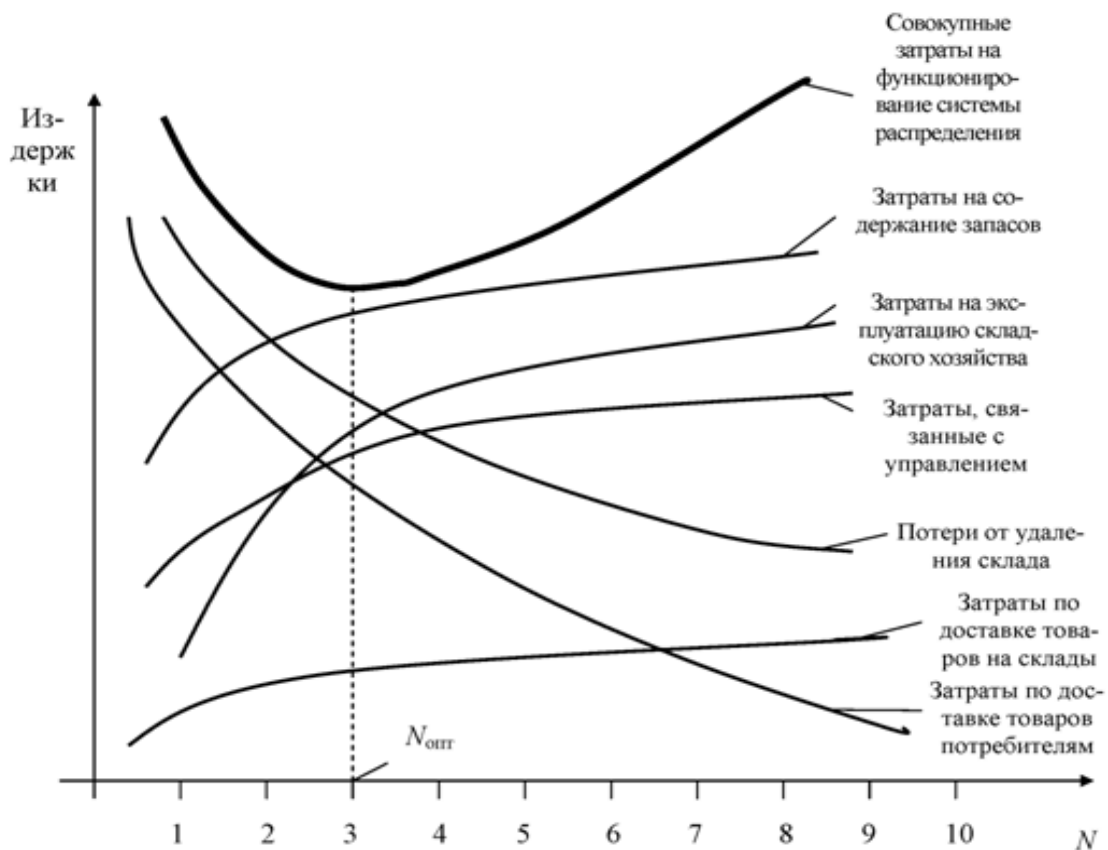


Рисунок 3.10 – Графіки для визначення оптимальної кількості складів

2. Евристичний метод. Схожий на перший метод, однак на підставі досвіду фахівця або інтуїції на попередньому етапі розрахунків здійснюється відмова від більшої кількості очевидно неприйнятних варіантів.

3. Метод визначення центру ваги фізичної моделі системи розподілу.

Існує аналітичний метод визначення центру ваги фізичної моделі системи розподілу, який полягає в наступному. Знаючи координати $(X_i; Y_i)$ складів і потреби (Γ_i) відповідних споживачів зони обслуговування, визначають абсцису ($X_{склад}$) і ординату ($Y_{склад}$) розподільного складу по наступних залежностях:

$$Y_{склад} = \frac{\sum_{i=1}^n \Gamma_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n \Gamma_i}; \quad X_{склад} = \frac{\sum_{i=1}^n \Gamma_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n \Gamma_i}, \quad (3.21)$$

де n – кількість споживачів у зоні обслуговування.

Слід зазначити, що дані формули можуть використовуватися у випадку, коли транспортні тарифи по доставці відповідних товарів до споживачів рівні між собою. А якщо ні, то в залежностях по визначенню координат розподільного складу слід помножити потреби на відповідні тарифи.

Визначення радіуса обслуговування споживачів складу

Після визначення мінімально необхідної кількості складів, а також їх місця розташування в зоні споживання важливо встановити радіуси обслуговування відповідних розподільних складів.

Обчислення цих радіусів пояснюється на простому прикладі.

Нехай у зоні споживання діє два розподільні склади, відстань між якими становить 120 км (рисунок 3.11). При цьому для кожного зі складів характерні відповідні витрати на зберігання одиниці запасів (C_{xp1} , C_{xp2}), а також транспортні тарифи по доставці одиниці запасів споживачам (C_{tp1} , C_{tp2}). Необхідно визначити оптимальний радіус обслуговування кожного складу ($R1$, $R2$).

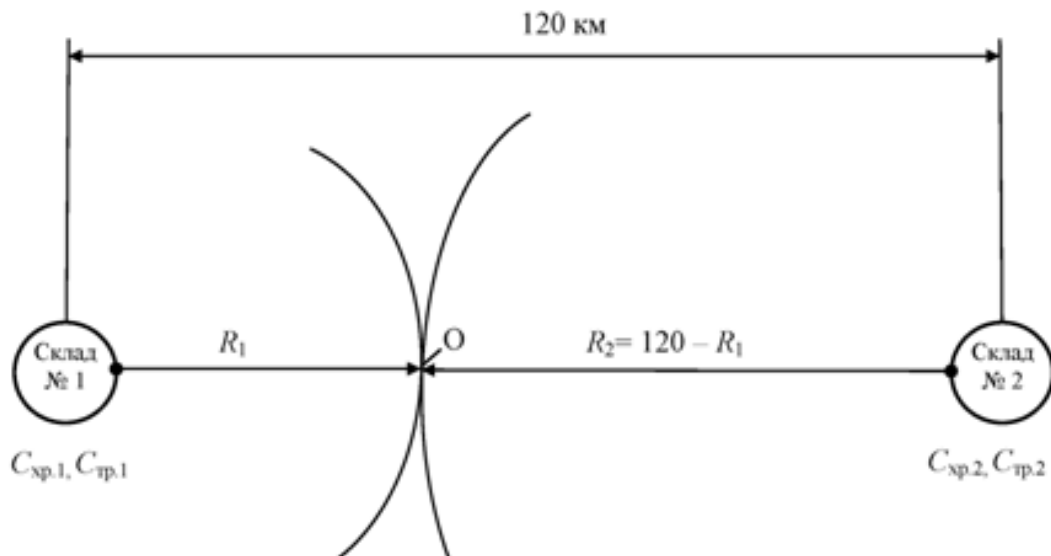


Рисунок 3.11 – Схема розміщення складів для розрахунків радіусів обслуговування споживачів

Аналіз рисунка 3.11 показує, що оптимальні радіуси обслуговування будуть досягнуті в деякій точці O, де забезпечується рівність сукупних витрат на зберігання товарів і на їхню доставку споживачам. Запишемо цю умову:

$$C_{xp1} + C_{tp1} \cdot R_1 = C_{xp2} + C_{tp2} \cdot (120 - R_1) \quad (3.22)$$

Після розв'язку рівняння відносно $R1$ визначається радіус $R2$.

4 ІНФОРМАЦІЙНА ЛОГІСТИКА

4.1 Інформаційні технології в керуванні підприємством

Інформаційні технології виявляють усе більший вплив на різні сторони нашого життя, у тому числі на економіку. У розвинених країнах проходять одночасно дві революції: в інформаційних технологіях і в бізнесі, взаємно допомагаючи одне одному. У результаті з'явилися такі методи керування, як Total Quality Management – загальне керування якістю, перетворення підприємств Business Process Reengineering – реінжиніринг бізнес-процесів і багато чого іншого.

У нашій країні в 90-і роки почали з'являтися комп'ютерні програми, призначені для керівництва організаціями. У першу чергу, це пакети фірми Audit Expert – аналіз фінансового стану підприємства, Marketing Expert – стратегічне планування маркетингу, Project Expert – фінансове планування й контроль, тобто складання бізнес-планів, Forecast Expert – система побудови прогнозів. Ці пакети є носіями найсучасніших методів і в сукупності становлять «Фінансовий офіс» – інструмент для аналітичних досліджень підприємств.

Завдяки розвитку системи Internet з'явилися додатки Internet, які забезпечують маркетинг, електронну торгівлю, підтримку роботи команд у будь-якій місці в будь-який час і інші.

Таким чином, інформаційні технології є тим важелем, який може перетворити діяльність підприємства.

Інформація (економічна) – це сукупність функціонуючих в економічних об'єктах різних відомостей про процеси виробництва, розподілу, збуту, обміну й споживання матеріальних благ і послуг, які можна фіксувати, передавати, перетворювати й використовувати для здійснення таких функцій керування, як планування, облік, економічний аналіз, регулювання й ін.

Інформаційний потік – це сукупність циркулюючих у логістичній системі, а також між логістичною системою й зовнішнім середовищем повідомлень, необхідних для керування й контролю логістичних операцій.

Інформаційні потоки класифікуються по наступних ознаках:

а) залежно від виду систем, що зв'язуються: горизонтальний і вертикальний потоки;

б) залежно від місця проходження щодо логістичної системи: внутрішній і зовнішній потоки;

в) залежно від напрямку стосовно логістичної системи: вхідний і вихідний потоки;

г) залежно від місця, часу й напрямку руху щодо матеріального потоку: випереджальний інформаційний потік у зустрічному напрямку

(відомості про замовлення), випереджальний інформаційний потік у прямому напрямку (відомості про вантаж, що прибуває), одночасний з матеріальним потоком у прямому і зустрічному напрямку (інформація про результати приймання, претензії, підтвердження).

Інформаційна система – це певним чином організована сукупність взаємозалежних засобів ЕОМ, різних нормативних даних і засобів програмного забезпечення, що дозволяє вирішувати конкретні завдання по керуванню матеріальними потоками й пов'язаними з ними фінансовими й інформаційними потоками.

Інформаційні системи на рівні окремого підприємства підрозділяються на: планові, диспетчерські (диспозитивні), виконавчі (оперативні).

Основні завдання інформаційних систем на рівні підприємства:

- *планові* – створення й оптимізація ланок логістичному ланцюга; керування умовно-постійними даними, планування виробництва, керування запасами;

- *диспетчерські* – служать для керування окремими підрозділами підприємства: детальне керування запасами, відбір вантажів на замовлення і їх комплектування, облік вантажів, що відправляються;

- *виконавчі* – служать для обробки інформації в реальному масштабі часу, тобто, наприклад, дозволяють одержувати необхідну інформацію про рух вантажів у теперішній момент часу, отже, дозволяють ефективно контролювати й управляти матеріальними потоками.

До основних принципів побудови інформаційних систем ставляться:

- ієрархія (підпорядкованість завдань і використання джерел даних);
- агрегованість даних (облік запитів на різних рівнях виробництва й розподілу);
- надмірність (побудова систем з обліком не тільки поточних, але й майбутніх завдань);
- конфіденційність;
- адаптивність до мінливих запитів;
- погодженість і інформаційна єдність (визначається розробкою системи показників, у якій виключалася б можливість неузгоджених дій і вивід неправильної інформації);
- відкритість системи (для поповнення даних).

Основним типом інформаційного продукту служать статистичні дані, а також факти, знання, уміння, що представляються як у первинній, так і в обробленій формі.

Інформаційна система повинна діяти з обліком технічних і правових обмежень. При цьому вона може працювати в декількох режимах:

- інформаційно-довідковому;
- сортування й угруповання;

- аналітичному (видача аналітичних відомостей і документів за результатами обробки 2-х і більш характеристик різної приналежності);
- розрахунковому (виконуються розрахунки по заздалегідь формалізованих моделях і залежностям);
- порадному (видається кілька розв'язків на основі формалізованих і інтуїтивних методів);
- навчальному.

Інформаційні системи дозволяють вирішувати наступний комплекс завдань:

1. Збір фактичних даних, первинний аналіз виробництва й споживання, аналіз динаміки виробництва.
2. Аналіз попиту на даний вид продукції по певній групі споживачів.
3. Аналіз можливостей реалізації існуючим замовникам інших видів товарної продукції.
4. Аналіз нових ринків збуту.
5. Прогноз збуту відповідних найменувань продукції, а також розвитку підприємства в цілому.

У теперішній час у практиці господарської діяльності усе більш широке поширення одержують, так звані, «*ERP-системи*» (*Enterprise Resource Planning* – керування ресурсами підприємства), які являють собою інформаційні системи ефективного планування й керування всіма ресурсами підприємства, які необхідні для здійснення продажів, виробництва, закупівель і обліку при виконанні замовлень клієнтів у сферах виробництва, розподілу й надання послуг. Основні причини, які обумовлюють впровадження *ERP* систем у комерційних організація, полягають у необхідності:

- інтегрувати фінансову інформацію;
- інтегрувати інформацію про замовлення;
- стандартизувати й прискорити процес виробництва;
- оптимізувати розмір запасів;
- стандартизувати інформацію з персоналу.

В основі *ERP* систем лежить принцип створення єдиного сховища даних, що містить усю корпоративну бізнес-інформацію, одночасний доступ до якої забезпечується будь-якого необхідного числа співробітників підприємства, наділених відповідними повноваженнями. Декларується, що це повинне не тільки підвищити ефективність виробничої діяльності підприємства, але й скоротити внутрішні інформаційні потоки, зменшивши тим самим витрати на їхнє забезпечення.

У теперішній час на підприємствах застосовуються наступні інформаційні системи: «*1С:Підприємство*», *Ваан*, *Галактика*, *SAP R/3*, *Oracle*, і ін.

Так, наприклад, система «ІС:Підприємство» містить у собі платформу й прикладні розв'язки, розроблені на її основі, для автоматизації діяльності організацій і приватних осіб.

Сама платформа не є програмним продуктом для використання кінцевими користувачами, які зазвичай працюють із одним з багатьох прикладних розв'язків (конфігурацій), розроблених на даній платформі. Такий підхід дозволяє автоматизувати різні види діяльності підприємств, використовуючи єдину технологічну платформу.

Склад прикладних конфігурацій «ІС:Підприємства» орієнтований на автоматизацію обліку й керування підприємством і дозволяє вирішувати широке коло завдань складського, бухгалтерського, управлінського обліку, розрахунків зарплати, аналізу даних і керування на рівні бізнес-процесів. При цьому забезпечується висока ефективність використання системи для широкого кола підприємств за рахунок розширення функціональності, підвищення продуктивності й масштабованості.

Гнучкість платформи дозволяє застосовувати «ІС:Підприємство» у найрізноманітніших областях:

- автоматизація виробничих і торгівельних підприємств, бюджетних і фінансових організацій, підприємств сфери обслуговування і т.д.;
- підтримка оперативного керування підприємством;
- автоматизація організаційної й господарської діяльності;
- ведення бухгалтерського обліку з декількома планами рахунків і довільними вимірами обліку, регламентована звітність;
- широкі можливості для управлінського обліку й побудови аналітичної звітності, підтримка багатовалютного обліку;
- розв'язок завдань планування, бюджетування й фінансового аналізу;
- розрахунки зарплати й керування персоналом; інші області застосування.

Інформаційна система *Business Suite* компанії *Галактика (Росія)* являє собою повнофункціональний комплекс бізнес-розв'язків, що дозволяє в єдиному інформаційному просторі виконувати типові й спеціалізовані завдання керування підприємством, холдингом, групою компаній:

- побудова системи обліку й формування різних видів звітності;
- керування матеріальними й фінансовими потоками;
- фінансове планування й оперативний фінансовий менеджмент;
- виробниче планування й керування;
- керування якістю продукції;
- керування персоналом і реалізація кадрової політики;
- керування взаєминами із клієнтами.

Система «Галактика-Старт» представляє інформаційний продукт для дрібних і середніх підприємств. Вона включає базові можливості бухгалтерського й оперативного контурів. При цьому питання господарського й фінансового планування, технічної підготовки виробництва, керування персоналом не входять у коло її завдань.

Інформаційна система *SAP R/3* німецької фірми *SAP AG* складається з набору прикладних модулів, які підтримують різні бізнес-процеси компанії й інтегровані між собою в масштабі реального часу:

1. *Фінанси (FI)*. Модуль призначений для організації основної бухгалтерської звітності, звітності по дебіторах, кредиторам і допоміжної бухгалтерії.

2. *Контролінг (CO)*. Модуль забезпечує облік витрат і прибутки підприємства.

3. *Керування основними засобами (AM)*. Модуль призначений для обліку основних засобів і керування ними.

4. *Керування проектами (PS)*. Прикладний модуль *PS* підтримує планування, керування й моніторинг довгострокових проектів з високим рівнем складності.

5. *Виробниче планування (PP)*. Модуль використовується для організації планування й контролю виробничої діяльності підприємства. Ключові елементи прикладного модуля: специфікації (*BOM*), технологічні карти, робочі центри (місця), планування збуту (*SOP*), виробниче планування (*MPS*), планування потреби в матеріалах (*MRP*), керування виробництвом (*SFC*), виробничі замовлення, калькуляція витрат на виріб, облік витрат по процесах, серійне виробництво, канбан (*Just in time*), планування безперервного виробництва.

6. *Керування матеріальними потоками (MM)*. Модуль підтримує функції постачання й керування запасами, використовувані в різних господарських операціях. Ключові елементи: закупівля матеріалів, керування запасами, керування складами, контроль рахунків, оцінка запасів матеріалу, атестація постачальника, обробка робіт і послуг, інформаційна система закупівель і інформаційна система керування запасами.

7. *Збут (SD)*. Модуль вирішує завдання розподілу, продажів, поставок і виставлення рахунків.

8. *Керування якістю (QM)*. Цей модуль забезпечує підтримку планування якості, перевірку й контроль якості при виробництві й закупівлях.

9. *Техобслуговування й ремонт устаткування (PM)*. Модуль допомагає враховувати витрати й планувати ресурси на техобслуговування й ремонт.

10. *Керування персоналом (HR)*. Повністю інтегрована система для планування й керування роботою персоналу.

11. *Керування інформаційними потоками (WF)*. Ця частина системи зв'язує інтегровані прикладні модулі із загальними для всіх додатків технологіями, сервісними засобами й інструментами.

12. *Галузеві розв'язки (IS)*. Поєднує прикладні модулі *SAP R/3* з відповідними галузевими розв'язками для промисловості:

13. *Базисна система*. Є основою системи *SAP R/3* і гарантує інтеграцію всіх прикладних модулів і незалежність від апаратної платформи. Базисна система забезпечує можливість роботи в багаторівневій розподіленій архітектурі клієнт-сервер. Система *SAP R/3* функціонує на серверах *UNIX, AS/400, Windows NT, S/390* і з різними СУБД (*Informix, Oracle, Microsoft SQL Server, DB2*). Користувачі можуть працювати в середовищі *Windows, OSF/Motif, OS/2* або *Macintosh*.

Слід підкреслити, що система *SAP R/3* дозволяє забезпечити високу ефективність організації виробництва, однак відрізняється високою вартістю й вимагає висококваліфікованого персоналу.

Інформаційна система *E-Business Suite* корпорації *Oracle* – це перший в історії і єдиний за станом на сьогоднішній час повний інтегрований комплекс додатків для електронного бізнесу, що працює в рамках локальної мережі Інтранет і глобальної мережі Інтернет. Комплекс включає в собі повний набір розв'язків, необхідних для автоматизації керування сучасним підприємством.

На Україні *Oracle E-Business Suite R11i* використовують ОКБ «Сухий», Харцизький трубний завод, «Сармат», ВАТ «Фарлеп-Інвест» найбільший в Україні недержавний оператор фіксованому зв'язку (група Ахметова СКМ) і деякі інші.

4.2 Технологія автоматизованої ідентифікації товарів

Через основні підрозділи будь-якого підприємства проходить велика кількість одиниць товарів. При цьому товари неодноразово переміщуються по місцях зберігання й обробки. Для того, щоб ефективно управляти цією динамічною системою, необхідно в будь-який момент часу мати інформацію про вхідні й вихідні матеріальні потоки, а також про матеріальні потоки, що циркулюють усередині неї.

Як свідчить закордонний і вітчизняний досвід, дана проблема вирішується шляхом використання мікропроцесорної техніки, здатної ідентифікувати (пізнавати) окрему вантажну одиницю, а також одержувати інформацію про момент і місце здійснення операції – на складах промислових підприємств, оптових базах, магазинах, на транспорті. Мова

йде про встаткування, здатне сканувати (зчитувати) різноманітні штрихові коди.

Автоматизований збір інформації заснований на використанні штрихових кодів різних видів, кожний з яких має свої технологічні переваги.

Якщо товари зберігаються в одиничних і групових упаковках, то для складських і транспортних цілей виробу містяться в так званому транспортному впакуванні (картонна коробка, ящик, піддон і т.д.).

На транспортне впакування наноситься 14-розрядний номер у вигляді штрихового коду ITF-14. При цьому використовується графічна символіка "2 із 5, що чергуються" (англ. Interleaved Two of Five - ITF).

Символіка ITF характеризується відносно великими розмірами зображення штрихового коду (ширина – 152,4 мм, висота – 41,4 мм) і менш строгими технічними вимогами до поверхні. Так штриховий код ITF-14 можна друкувати не тільки на етикетках, але й безпосередньо на стінці картонної коробки (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Штрихової код ITF-14 на 14 розрядів

Інший стандарт штрихкода Code 128 (рисунок 4.2) допускає можливість кодування не тільки цифр, але й букв латинського алфавіту, а також спеціальних символів.



Рисунок 4.2 – Штрихової код 128

Символи штрихового коду Code 128 складаються із трьох штрихів і трьох проміжків. Штрихи й проміжки мають модульну побудову і їх ширина становить від 1 до 4 модулів (1 модуль = 0,33 мм). Ширина знака рівна 11 модулям.

Зупинний (стоп) знак складається із тринадцяти модулів і має чотири штрихи й три проміжки.

У сфері обігу широке застосування одержав код *EAN-13* (рисунок 4.3), який часто можна зустріти на товарах масового споживання. Зупинимося докладніше на технології використання коду *EAN* у логістичних процесах.

European Article Number, EAN (європейський номер товару) — це європейський стандарт штрихкода, призначений для кодування ідентифікатора товару й виробника.



Рисунок 4.3 – Штрихової код *EAN-13*

Є алфавіт коду EAN, у якому кожній цифрі відповідає певний набір штрихів і пробілів. На етапі запуску товару у виробництво йому привласнюється тринадцятизначний цифровий код, який згодом у вигляді штрихів і пробілів буде нанесений на цей товар. Перші дві або три цифри позначають код країни, який привласнений їй асоціацією EAN у встановленому порядку. Наступні чотири цифри – це індекс виготовлювача товару. Сукупність коду країни й коду виготовлювача є унікальною комбінацією цифр, яка однозначно ідентифікує підприємство, що робить товар.

Ті цифри, які залишилися у штриховому коді, надаються виготовлювачеві для кодування своєї продукції по власному розсуду. При цьому кодування можна просто почати з нуля й продовжувати до 99999. Таким чином, перші дванадцять цифр коду *EAN* однозначно ідентифікують будь-який товар у загальній сукупності товарної маси.

Остання, тринадцята цифра коду є контрольною.

Вона розраховується по спеціальному алгоритму на основі дванадцяти попередніх цифр. Неправильне розшифрування однієї або декількох цифр штрихового коду приведе до того, що ЕОМ, розрахувавши по дванадцятьом цифрам контрольну, виявить її невідповідність контрольній цифрі, нанесеної на товар. Приймання сканування не підтвердиться й зчитування коду прийдеться повторити.

Таким чином, контрольна цифра забезпечує надійну дію штрихового коду, є гарантією надійності всієї системи.

Проведені в США дослідження показують, що введені із клавіатури комп'ютера вручну дані про товар містять у середньому одну помилку на кожні 300 уведених знаків. При використанні штрихових кодів цей показник знижується до однієї помилки на 3 мільйони знаків. Середню вартість робіт з виявлення й усуненню наслідків однієї такої помилки американська асоціація менеджменту визначила в 25 дол. США. Згідно з іншими дослідженнями ціна однієї помилки перевищує 100 дол. США.

В основі технології штрихового кодування й автоматизованого збору даних лежать прості фізичні закони. Штриховий код являє собою чергування темних і світлих смуг різної ширини, побудованих відповідно до певних правил. Зображення штрихового коду наноситься на предмет, який є об'єктом керування в системі. Для реєстрації цього предмета проводять операцію сканування. При цьому невелика світна пляма або промінь лазера від скануючого пристрою рухається по штриховому коду, перетинаючи поперемінно темні й світлі смуги. Відбитий від світлих смуг світловий промінь уловлюється світлочутливим пристроєм і перетворюється в дискретний електричний сигнал. Варіації отриманого сигналу залежать від варіацій відбитого світла. ЕОМ, розшифрувавши електричний сигнал, перетворить його в цифровий код.

Сам по собі цифровий код товару інформацію про його властивості, як правило, не несе. Унікальне дванадцятизначне число є лише адресою комірки пам'яті в ЕОМ, яка містить усі відомості про цей товар, необхідні для формування документів. Сукупність цих відомостей утворює так звану базу даних про товар. Надалі база даних повинна передаватися по ланцюгу руху товарів за допомогою мережі електронному зв'язку або на електронних носіях.

Відкриті системи автоматизованого керування рухом товарів із застосуванням штрихового кодування одержали широке застосування в багатьох країнах Європи, у США, Японії, а в цей час впроваджуються в різних сферах економіки України, Росії й Білорусі.

Як відзначалось вище, база даних про товар формується на підприємстві-виготовлювачі в період запуску виробу у виробництво й присвоєння йому коду EAN. На готовий виріб різними способами наноситься відповідний штриховий код.

Існують різні технології печатки штрихового коду, у тому числі мастерфільми (фотоплівкові шаблони), офсетна літографія, точечно-матрична печатка й ін.

Якщо між ЕОМ постачальника й ЕОМ одержувача товару є електронний зв'язок, то інформація про коди товарів, що становлять партію, про їхні кількості, а також база даних про самі товари передається автоматично. Якщо такого зв'язку немає, то інформація передається на електронних носіях. Якщо буде потреба електронну технологію передачі

інформації можна доповнити роздруківкою супровідних документів на паперовій основі.

У складі одержувача під час приймання товарів проводиться сканування штрихового коду за допомогою спеціального пристрою. Це може бути контактний сканер-олівець, портативний лазерний сканер або стаціонарний скануючий пристрій. Кількість товарів у розрізі товарних кодів запам'ятовується переносним пристроєм збору даних. Потім ця інформація перевантажується в складську ЕОМ, де звіряється з даними про партію, що були передані по мережі електронного зв'язку.

При продажі товару в магазині касир зчитує штрихової код з обраного покупцем виробу. Близько двох секунд іде на сканування товару й ідентифікацію його товарного коду. Після цього касовий комп'ютер, відшукавши в пам'яті ціну й інші необхідні реквізити виробу, видає їх на екран і друкує чек.

У момент видачі чека касовим комп'ютером головний комп'ютер секції заносить у свою пам'ять інформацію про те, що даний товар проданий. Одержання товарів зі складу і їх реалізацію цей комп'ютер супроводжує арифметичним ув'язуванням масивів у картотеці наявності. Таким чином, система перманентно забезпечує не тільки грошовий, але й кількісний облік товарів, що неможливо організувати без кодування товарів.

Кількісний облік реалізації товару використовується для своєчасного поповнення торговельного асортиментів. Автоматично складений і переданий по мережі електронного зв'язку замовлення на завезення товарів у магазин або подачу їх у торговельний зал ураховує попит по кожній товарній позиції.

Використання в логістиці технології автоматизованої ідентифікації штрихових кодів дозволяє суттєво поліпшити керування матеріальними потоками на всіх етапах логістичного процесу.

Основні переваги технології автоматизованої ідентифікації штрихових кодів:

на виробництві:

- створення єдиної системи обліку й контролю над рухом виробів і комплектуючих частин на кожній ділянці, а також за станом логістичного процесу на підприємстві в цілому;

- скорочення чисельності допоміжного персоналу й звітної документації, виключення помилок;

у складським господарстві:

- автоматизація обліку й контролю над рухом матеріального потоку;

- автоматизація процесу інвентаризації матеріальних запасів;

- скорочення часу на логістичні операції з матеріальним і інформаційним потоком;

5 ВВЕДЕННЯ В ТЕОРІЮ РОЗКЛАДІВ

Теорія розкладів є частиною дослідження операцій. Теорія розкладів досліджує завдання, у яких необхідно *впорядкувати* або, інакше кажучи, визначити послідовність виконання сукупності робіт, використання яких-небудь засобів і т.д.

Завдання впорядкування носять самий загальний характер. Вони виникають там, де *існує можливість вибору тієї або іншої черговості виконання робіт*: при розподілі робіт на виробництві, складанні розкладу приземлення літаків, складанні розкладу руху поїздів, обслуговуванні клієнтів в обслуговуючих системах і т.д. Ціль теорії розкладів – вивчити те загальне, що характеризує такі завдання незалежно від їхнього конкретного змісту.

Результати, до яких приводить ті або інші впорядкування, суттєво відрізняються. У ряді практичних випадків ці відмінності ухвалюють вартісний характер або визначаються якою-небудь іншою величиною.

5.1 Питання «ідеального» упорядкування

У теорії розкладів розглядаються завдання впорядкування за умови, що *вирішені всі питання, що ставляться до того, що і яким чином повинне бути виконане*. При цьому передбачається, що не існує залежності між характером цих розв'язків і встановлюваним порядком, тобто *характер робіт не залежить від їхньої послідовності виконання*. Крім цього, передбачається наступне:

1) Підлягаючі виконанню роботи визначені й відомі повністю. Передбачається, що всі задані роботи повинні бути виконані (розбивка сукупності робіт на класи виконуваних і невиконуваних не входить до завдання впорядкування).

2) Однозначно визначені пристрої, виділювані для виконання заданих робіт.

3) Задана сукупність усіх елементарних дій, пов'язаних з виконанням кожної з робіт, і обмежень, що накладають на порядок їх виконання. Відомо також, яким чином здійснюються ці дії й що існує, принаймні, по одному пристрою, здатному виконати кожен з них.

Існує певна відмінність між термінами *“упорядкування”* і *“складання розкладу”*. Упорядкування має на увазі формування черговості операцій, виконуваних однією машиною, у той час як складання розкладу означає завдання послідовності дій *декількома машинами*.

Теорія розкладів, виділяє питання, загальні для більшості завдань упорядкування. При цьому ідеалізовані моделі не можуть у точності відповідати конкретним ситуаціям, однак у силу їх спільності дозволяють одержувати оцінки для широкого кола завдань у різних областях виробництва.

5.2 Загальна характеристика математичної моделі

Основним поняттям теорії розкладів є поняття операції.

Операцію можна розглядати як елементарне завдання, що підлягає виконанню. Кожна операція характеризується:

- 1) індексом приналежності до певної роботи,
- 2) індексом приналежності до певної машини,
- 3) числом, що представляє собою тривалість операції.

По першому індексу вся безліч операцій розбивається на систему непересічних підмножин, тобто **робіт**. Розбивка вихідної безлічі по другому індексу приводить до взаємно непересічних підмножин операцій, що ставляться до певних **машин**.

Для кожної роботи задається послідовність складових її операцій, обумовлена технологічним процесом. Таке часткове впорядкування операцій здійснюється завданням відносини порядку. Якщо операція X повинна бути здійснена раніше, чим Y , то говорять, що X передує Y . Це записується у вигляді: $X < Y$ або $Y > X$. Відношення порядку транзитивне: якщо $X < Y$, $Y < Z$, то $X < Z$. Будемо говорити, що операція X безпосередньо передує операції Y і записувати $X << Y$ або $Y >> X$, якщо $X < Y$ і немає операції Z , такий, що $X < Z < Y$.

Часто буває зручно представляти згадані співвідношення у вигляді орієнтованого графа. Вершини (вузли) графа зображують операції, а дуги - відношення безпосереднього передування. Дві вершини зв'язані відношенням порядку, якщо існує шлях між ними (рис. 5.1).

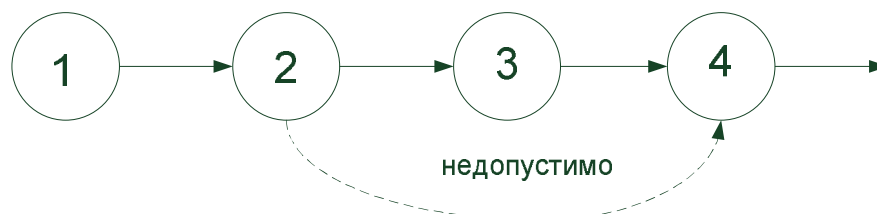


Рисунок 5.1 – Граф послідовності операцій процесу

Машиною будемо називати пристрій, здатний виконати все, що пов'язане з деякою операцією, а **системою обслуговування** будемо називати безліч усіх машин, використовуваних для виконання деякої безлічі операцій.

Сукупність машин, робіт (операцій) і дисциплін призначення операцій відповідним до машин називається **процесом обслуговування**.

Складання розкладу для процесу обслуговування означає, що для кожної операції на тимчасовій осі задається ділянка, коли ця операція повинна виконуватися відповідною машиною, тобто що для кожної операції задається один або більш інтервалів $(a_1, b_1), (a_2, b_2), \dots, K$ таких, що:

- $(b_1 - a_1) + (b_2 - a_2) + \dots + K$ – дорівнює тривалості операції ;
- число a_{1X} – це значення a_1 , що ставиться до операції X , не менше, чим a_{1Y} для операції Y , причому X і Y ставляться до однієї роботи й розташовані так, що $Y < X$ (див. рис. 5.2);
- кожний з інтервалів (a_i, b_i) розташований цілком усередині одного з відрізків часу доступності відповідної машини.

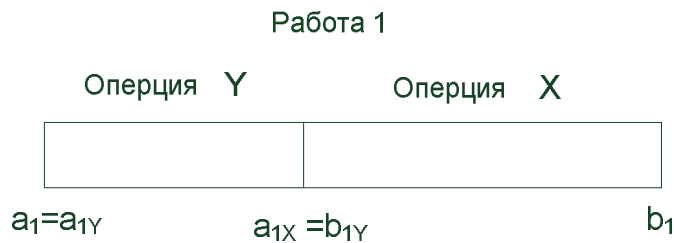


Рисунок 5.2 – Графічна вистава інтервалів операцій

Таким чином, **складання розкладу** може розглядатися як завдання впорядкування операцій, виконуваних кожною машиною.

Майже вся теорія, розроблена в цей час, ставиться до обмеженого числа моделей **простого процесу обслуговування**. Під останнім розуміється процес, для якого істотні наступні обмеження:

1) Кожна машина може бути призначена в будь-який момент часу, тобто заборонені перерви в роботі машини. Кожна машина формально являє собою інтервал $(0, T)$, де T є довільно велике число.

2) Роботи являють собою строго впорядковані послідовності операцій. Для заданої операції X існує не більш однієї операції Y такої, що $Y \ll X$, і однієї операції Z такої, що $X \ll Z$.

3) Кожна операція виконується тільки однією машиною.

4) Існує тільки по одній машині кожного типу. Між номерами машин і другими індексами операцій, що вказують номер виконуючої їхньої машини, існує взаємно однозначна відповідність.

5) Відсутні переривання операцій. Для кожної операції заданий єдиний інтервал (a, b) , причому тривалість операції рівна $(b - a)$.

6) Інтервали виконання послідовних операцій однієї й тієї ж роботи не перетинаються. Величина a , відповідна до призначення операції X , не може бути менше b для будь-якої операції Y такої, що $Y < X$.

7) У кожний момент часу машина може виконувати не більш однієї операції.

Перераховані обмеження, з одного боку, спрощують формалізацію, а з іншого, роблять її більш абстрактною. Останнє приводить до того, що модель стає неадекватною практичним випадкам, де потрібне ослаблення одного або декількох з наведених обмежень. Проте, така модель зберігає в основному структуру більшості практичних завдань, а при її дослідженні виробляється інтуїція, корисна в численних додатках. У всякому разі, у цей час описана формалізація застосовується в більшості досліджень.

5.3 Класифікація завдань теорії розкладів

Завдання теорії розкладів вважається заданим, якщо визначені:

- 1) підлягаючі виконанню роботи й операції;
- 2) кількість і типи машин, що виконують операцію;
- 3) порядок проходження машин;
- 4) критерії оцінки розкладів.

Залежно від *характеру надходження робіт* розрізняють два види завдань: *статичні* й *динамічні*. У статичних завданнях у вільну систему одночасно надходить певне число робіт. Після цього нові роботи не надходять і розклад складається для цілком певного числа робіт. У динамічних завданнях роботи надходять у систему в деякі моменти часу, які можна передбачити тільки в *статистичному* змісті. Тому моменти майбутніх вступів не визначені.

Упорядкування в динамічних і статичних завданнях вимагає різних методів розв'язку.

Порядок виконання машинами операцій однієї роботи визначає, чи є система машин:

- а) конвеєрною;
- б) з випадковим порядком виконання робіт;
- в) системою довільного типу.

У *конвеєрній* системі послідовність проходження машин однакова для кожної з робіт. Згідно із прийнятою термінологією це означає, що існує така нумерація машин, що для однієї й тієї ж роботи номер машини, що виконує операцію X , менше номера машини, що виконує операцію Y , якщо X передує Y .

У системі з випадковим порядком виконання робіт машинами будь-яка операція може виконуватися будь-якою машиною, тобто всі машини є ідентичними.

У системах довільного типу кожна операція може виконуватися якою-небудь певною машиною.

Для класифікації завдань теорії розкладів надалі використовується запис $A/B/C/D$, де:

- A характеризує процес надходження робіт. Для динамічних завдань A являє собою функцію розподілу часу між надходженнями. Для статичних завдань A відповідає числу робіт, що одночасно надійшли, якщо із цього приводу нічого спеціально не застережено. Якщо на місці A стоїть буква n то це означає довільне, але кінцеве число робіт у статичному випадку.

- B характеризує число машин у системі. Якщо на місці букви B стоїть буква m то це означає довільне число машин.

- C характеризує порядок (дисципліну) виконання робіт машинами. Якщо на місці C перебуває буква F , то це відповідає конвеєрній системі; якщо R – то випадковому порядку, і якщо G – довільній системі. Для системи, що полягає з однієї машини, зазначені дисципліни втрачають зміст і тому для такої системи третій параметр опускається.

- D характеризує оцінку (критерій) розкладу.

Приклад уживання зазначених позначень: запис $n/2/F/F_{max}$ означає, що потрібно впорядкувати n робіт для виконання їх у системі, що полягає із двох машин, так, щоб мінімізувати максимальну тривалість проходження роботи.

5.4 Критерії оцінки розкладів

Розглянемо величини, використовувані надалі як критерії оцінки розкладів, і співвідношення між ними.

Спочатку розділимо вихідні й шукані величини завдання. Перші визначаються специфікою розв'язуваного завдання, другі є результатом складання розкладу. Щоб підкреслити цю різницю, при позначенні цих величин використовуються рядкові латинські букви, а при позначенні шуканих – прописні, наприклад: x, y, z і X, Y, Z .

Вихідні величини при складанні розкладів

Постановка завдання в теорії розкладів починається з опису системи машин і безлічі робіт. Для найпростішого процесу обслуговування система машин повністю описується їхнім числом. Нехай система складається з m

машин, занумеруємо їх $1, 2, \dots, m$. Занумеруємо також роботи числами від 1 до n .

Далі позначимо:

r_i – **момент готовності** (*момент появи або момент надходження*) роботи. Ця величина являє собою момент надходження i -ї роботи в систему з деякого зовнішнього джерела. Момент r_i є мінімально можливий час початку першої з операцій роботи i , $i=1, \dots, n$;

d_i – **плановий (директивний) строк**. Ця величина являє собою момент, до якого i -а робота повинна бути виконана. Іншими словами, d_i являє собою директивний час закінчення операції, заданий деякими зовнішніми по відношенню до розглянутої системи причинами.

Припустима тривалість проходження роботи в системі рівна $a_i = d_i - r_i$. Досить задати дві із трьох величин – r_i, d_i, a_i . Теоретично байдуже які дві з них задані, а яка розраховується з наведеного співвідношення, тому для кожної роботи всі вони вважаються заданими.

Робота i складається з g_i операцій. Для кожної операції задається набір величин тривалості операцій t_{ij} :

$$m_{i1}, t_{i1},$$

$$m_{i2}, t_{i2},$$

·
·

$$m_{ig_i}, t_{ig_i},$$

де m_{ij} – номер машини, на якій виконується операція j , $1 \leq m_{ij} \leq m$;

t_{ij} – **тривалість виконання операції**, тобто довжина інтервалу часу, необхідного машиною m_{ij} для виконання операції j .

Загальна тривалість усіх операцій роботи i визначається по формулі:

$$t_i = \sum_{j=1}^{g_i} t_{ij} -$$

Загальна тривалість t_i може бути як постійною, так і випадковою величиною (в останньому випадку до закінчення операції вона може бути тільки оцінена). Проте, у цьому випадку для позначення тривалості операцій використовуються малі літери, оскільки передбачається, що вона зовсім не залежить від розкладу.

Слід урахувати, що t_{ij} містить у собі всі налаштування машини, що передують виконанню операції, і всі переналагодження її після виконання операції. При цьому тривалості налаштування машини не залежать від послідовності операцій, тобто час, необхідний для підготовки машини до виконання деякої операції, не залежить від того, яку операцію виконала машина останньою. У більшості випадків подібні припущення є гарним наближенням до дійсності й значно спрощують математичну модель. Однак існують випадки, коли такі припущення неможливі й потрібно враховувати точні тривалості налаштувань і можливу їхню залежність від порядку виконання операцій.

Шукані величини при складанні розкладів

Позначимо через W_{ij} – час очікування операції, тобто інтервал часу між закінченням $(j-1)$ -ї і початком j -ї операції i -ї роботи.

Тоді загальна тривалість очікування роботи i дорівнює сумі тривалостей очікування всіх операцій:

$$W_i = \sum_{j=1}^{g_i} W_{ij}. \quad (5.1)$$

Результатом складання розкладу завжди є завдання множини чисел W_{ij} . Надалі, для зручності й компактності викладу буде введено багато інших величин, але всі вони будуть функціями W_{ij} . Остаточний вибір того або іншого розкладу ґрунтується на порівнянні відповідних множин W_{ij} , що визначають якість розкладу. Найбільш важливими величинами, що залежать від W_{ij} , є:

1) T_i – момент закінчення роботи i , тобто завершення її останньої операції:

$$\begin{aligned} T_i &= r_i + W_{i1} + t_{i1} + W_{i2} + t_{i2} + \dots + W_{ig_i} + t_{ig_i} = \\ &= r_i + \sum_{j=1}^{g_i} t_{ij} + \sum_{j=1}^{g_i} W_{ij} = r_i + t_i + W_i; \end{aligned} \quad (5.2)$$

2) F_i – тривалість проходження роботи i в системі, тобто:

$$F_i = W_{i1} + t_{i1} + W_{i2} + t_{i2} + \dots + W_{ig_i} + t_{ig_i} = \sum_{j=1}^{g_i} t_{ij} + \sum_{j=1}^{g_i} W_{ij} = T_i - r_i. \quad (5.3)$$

Тривалість проходження F_i називають ще *циклом обробки* або *виробничим циклом*.

3) Тимчасовий зсув L_i роботи i рівно $L_i = T_i - d_i = F_i - a_i$.

Визначимо запізнювання Z_i й випередження E_i роботи i в такий спосіб:

$$\begin{aligned} Z_i &= \max(0, L_i); \\ E_i &= \max(0, -L_i). \end{aligned} \quad (5.4)$$

Тимчасовий зсув, запізнювання й випередження оцінюють фактичний час закінчення роботи у порівнянні з її плановим строком. Тимчасовий зсув кожної роботи може мати будь-який знак. Якщо він позитивний, тобто робота завершується після планового строку, то отримуємо значення *запізнювання*, а якщо негативний, тобто робота завершується до планового строку, то зсуву має значення *випередження*.

Врахування важливості робіт

Часто виконувані роботи мають різну важливість і щоб відбити це на критерії оцінки розкладу, для кожної роботи задається так звана *вага* u_i – величина, що характеризує її *відносну важливість*. В такому випадку *середня (середньозважена) тривалість проходження* роботи задається в такий спосіб:

$$\bar{F}_u = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i F_i. \quad (5.5)$$

У теорії розкладів найпоширеніші наступні критерії (*середні, середньозважені й максимальні значення*):

- момент часу закінчення робіт T_i ;
- тривалість проходження F_i ;
- тимчасовий зсув L_i ;
- запізнювання Z_i ;
- випередження E_i ;
- тривалість очікування W_i .

Регулярним критерієм Φ називається критерій, що є *неубутною функцією моментів закінчення кожної з n робіт*.

Тобто $\Phi = \Phi(T_1, T_2, K, T_n)$ – це регулярний критерій моменту закінчення роботи K серед n робіт, що показує, що якщо із двох розкладів маємо $T'_i \geq T_i$, $i=1, \dots, n$, то $\Phi(T'_1, T'_2, K, T'_n) \geq \Phi(T_1, T_2, K, T_n)$.

Співвідношення між середніми вихідних величин

Середні значення наведених вище величин тісно зв'язано один з одним.

Для будь-якої роботи мають місце наступні співвідношення:

$$L_i = F_i - a_i = T_i - r_i - a_i = T_i - d_i. \quad (5.6)$$

Підсумувавши по i та розділивши кожний член рівності на n , одержимо середньозважені значення (позначення ризикою зверху):

$$\bar{L} = \bar{F} - \bar{a} = \bar{T} - \bar{r} - \bar{a} = \bar{T} - \bar{d}. \quad (5.7)$$

У кожному конкретному випадку \bar{a} , \bar{r} і \bar{d} задані й не залежать від упорядкування. Тому для всякого розкладу \bar{L} відрізняється від \bar{F} точно на \bar{a} , від \bar{T} - точно на \bar{d} і т.д. Звідси випливає, що розклад, оптимальний відносно \bar{F} , буде оптимальним відносно \bar{T} й \bar{L} .

Далі слушні такі співвідношення:

$$T_i = r_i + W_i + t_i; \quad (5.8)$$

$$\bar{T} = \bar{r} + \frac{\sum_{i=1}^n W_i}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \bar{r} + \bar{W} + \bar{t}. \quad (5.9)$$

У вираженні для \bar{T} перший і останній члени представляють постійні величини. Тому розклад, який мінімізує середній час закінчення робіт, повинен мінімізувати середню тривалість очікування.

Наведені співвідношення між середніми відіграють важливу роль і в теоретичних дослідженнях, і в додатках. Ці співвідношення впливають із визначень розглянутих величин і жодним чином не зв'язані ні з типом системи, ні з видом розкладу. Однак необхідно пам'ятати, що ці співвідношення мають місце тільки для середніх і не означають нічого більше.

Наприклад, якщо на підставі цих співвідношень встановлено, що два розклади мають однакові середні часи закінчення робіт, то це ще не означає, що обидва розклади еквівалентні, так саме як різні функції розподілу можуть мати однакові середні значення. Розклад, оптимальний

відносно \bar{F} буде оптимальним і відносно \bar{L} , але якщо розклад оптимальний відносно F_{max} , то не можна затверджувати про його оптимальність відносно L_{max} .

5.5 Розклади й вартість

Практично, питання про те, коли й у якому порядку виконувати роботи, як правило, впливає на величину витрат, пов'язаних з їхнім виконанням, однак в ідеалізованих завданнях чистого впорядкування цей вплив не враховується. Припущення, що безліч робіт визначена заздалегідь і не залежить від розкладу, означає, що загальний дохід системи фіксований або, принаймні, ніяк не пов'язаний з розкладом.

Припущення, що ефективність використання встаткування також не залежить від розкладу, означає, що нами ігноруються всі витрати, пов'язані із втратами виробництва.

Існує *три види витрат*, якими визначається складений розклад: *витрати на експлуатацію машин, витрати на зберігання робіт і витрати, пов'язані із затримкою* робіт.

Витрати на експлуатацію машини повинні компенсуватися вартістю виробленою цією машиною продукції, тобто машина не повинна простоювати. Простої визначають коефіцієнт використання машини. Якщо розклад такий, що простої машини в ньому мінімальні або мінімальна середня тривалість проходження робіт, то це означає, що машини за певний час виконують більшу роботу, чим при іншому розкладі. З іншого боку, правильно складений розклад дозволяє виконати ту ж саму роботу меншим числом пристроїв.

Витрати зберігання зазвичай оцінюються в 2-3 відсотка від вартості запасів на місяць. Вони залежать від фізичного обсягу запасів. Залежно від обставин, витрати можуть визначатися числом робіт, обсягом незавершеної або завершеної роботи. Завжди існують економічні причини, що змушують прагнути до зменшення середніх розмірів запасів. Цим пояснюється прагнення зменшити середню тривалість проходження робіт.

Це прагнення пов'язане не тільки із запасами, а й з недопущенням запізнювань у виконанні робіт. Запізнювання робіт призводить до зриву строків виготовлення та відправки продукції, затримках надходження коштів, штрафним санкціям та ін..

6 МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАВДАНЬ ТЕОРІЇ РОЗКЛАДІВ

«Часовий» характер завдань теорії розкладів виділяє їх в особливий клас, який суттєво відрізняється від «об'ємних» економічних завдань. Якщо в економічних завданнях потрібно відповісти на запитання, що й скільки робити, то в завданнях теорії розкладів необхідно визначити, коли, у якій послідовності виконувати роботи. Ця відмінність у суті завдань визначає відмінність у методах і можливостях їх розв'язку. Для завдань об'ємного характеру створений розвинений досить потужний апарат, головним чином математичного програмування, що дозволяє, загалом, з успіхом домагатися їхнього розв'язку. На відміну цьому для завдань теорії розкладів обчислювальний апарат розвинений меншою мірою.

Пошук оптимального або близького до оптимального розкладу здійснюється за допомогою одного з 4 підходів:

- математичного програмування;
- комбінаторного;
- евристичного;
- статистичного (імовірнісного).

6.1 Математичне програмування й теорія розкладів

Основи теорії розкладів розвивалися в ту пору, коли математичні моделі почали застосовуватися для розв'язку економічних завдань. Були початі спроби побудувати математичні моделі й для завдань теорії розкладів. При цьому зіштовхнулися із труднощами наступного роду. У математичній моделі система обмежень відбиває той стан речей, що деяка сукупність умов повинна виконуватися спільно. У завданні теорії розкладів ряд умов повинні виконуватися альтернативно: або i -а робота запускається раніше j -ї, або навпаки.

Формулювання загального завдання складання розкладу

Нехай маємо систему з n робіт і m машин. Кожна робота складається з g_i операцій. Кожній операції приписано три індекси:

i – номер роботи, що містить цю операцію;

j – номер операції усередині роботи, $j = 1, \dots, g_i$;

k – номер машини, на якій операція повинна виконуватися.

Обмеження на час і порядок виконання операцій машинами такі:

- 1) кожна машина виконує одночасно не більш однієї операції;
- 2) операції виконуються в зазначеній послідовності;
- 3) ніякі дві операції, що ставляться до однієї роботи, не виконуються одночасно.

Для спрощення викладу й позначень приймемо, що кожна робота вимагає в точності одного виконання на кожній з машин ($g_i = m, i = 1, \dots, n$).

Нехай:

t_{ik} – тривалість виконання роботи i машиною k ;

r_{ijk} – момент готовності роботи, причому:

$$r_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{якщо операція } j \text{ роботи } i \text{ виконується машиною } k; \\ 0 & \text{якщо робота не виконується.} \end{cases}$$

\underline{t}_{ik} – момент початку виконання роботи i машиною k .

Група обмежень 1. З того, що кожна машина в один момент часу може виконувати не більш однієї роботи, випливає, що для кожної пари робіт I та J виконується лише одна з нерівностей:

$$\begin{aligned} \underline{t}_{Ik} - \underline{t}_{Jk} &\geq t_{Jk} && \text{– виконанню роботи } I \text{ передуює виконання роботи } J, \\ \underline{t}_{Jk} - \underline{t}_{Ik} &\geq t_{Ik} && \text{– виконанню роботи } J \text{ передуює виконання роботи } I. \end{aligned} \quad (6.1)$$

Таке обмеження типу «або-або» не можна описати в рамках звичайного лінійного програмування. У зв'язку із цим потрібно введення деяких додаткових ознак.

Нехай:

$$Y_{IJk} = \begin{cases} 1 & \text{якщо робота } I \text{ передуює роботі } J \text{ на машині } k \\ & \text{(необов'язково безпосередньо);} \\ 0 & \text{Якщо навпаки.} \end{cases}$$

Тепер сформульовані вище обмеження типу «або-або» можна записати у вигляді двох умов, кожне з яких повинне бути виконане:

$$(M + t_{Jk}) Y_{IJk} + (\underline{t}_{Ik} - \underline{t}_{Jk}) \geq t_{Jk} \quad (6.2)$$

$$(M + t_{Ik}) (1 - Y_{IJk}) + (\underline{t}_{Jk} - \underline{t}_{Ik}) \geq t_{Ik} \quad (6.3)$$

де $M = \sum_i \sum_k t_{ik}$ – досить велика константа, обрана так, щоб виконувалася тільки одна із двох умов: $Y_{IJK} = 0$ або $Y_{IJK} = 1$.

Нехай, наприклад, I передує J , тобто $t_{Ik} < t_{Jk}$ й $Y_{IJK} = 1$.

Тоді (3) у точності збігається із другою умовою «або-або» в (1), а умова (2) завдяки великому параметру M перетворюється в надлишкове обмеження, що не суперечить усій системі в цілому.

Група обмежень 2. Ця група ставиться до порядку виконання операцій.

Помітимо, що $\sum_k r_{ijk} t_{ik}$ – це момент початку виконання операції j роботи i (тут r_{ijk} – ознака готовності роботи, рівна 1 або 0). Тоді для всіх операцій кожної роботи, повинне мати місце нерівність:

$$\sum_k r_{ijk} (t_{ik} + t_{ik}) \leq \sum_k r_{i(j+1)k} t_{ik} \quad (6.4)$$

Отже, для завдання з m машинами й n роботами множини змінних і обмежень будуть мати такі розміри:

<u>Змінні</u>	<u>Їхня кількість</u>
$t_{ik} \geq 0$	$m \cdot n$
$Y_{IJK} = 0$ або 1	$m \cdot n \cdot (n-1) / 2$

<u>Обмеження.</u>	<u>Їхня кількість</u>
(6.2)	$m \cdot n \cdot (n-1) / 2$
(6.3)	$m \cdot n \cdot (n-1) / 2$
(6.4)	$n \cdot (m-1)$

Навіть для невеликих завдань виходить величезна система нерівностей: якщо $m=4$, $n=10$, то число змінних 220, а обмежень - 290.

Цільові функції можуть бути різними. Так, мінімізація сумарного часу завершення робіт рівносильна мінімізації суми моментів початку виконання останніх операцій усіх робіт:

$$\min \sum_i \sum_k r_{imk} \cdot t_{ik} \cdot \quad (6.5)$$

При мінімізації максимального часу завершення робіт T_{max} додається обмеження виду:

$$\sum_k r_{imk} (t_{ik} + t_{ik}) \leq T_{max}, \quad i = 1, n, \quad (6.6)$$

де T_{max} – змінна, яку потрібно мінімізувати.

При застосуванні методів математичного програмування для розв'язку завдань теорії розкладів неминуче експонентне збільшення часу розв'язку завдання. До найбільше широко використовуваних приймань скорочення перебору ставляться приймання, засновані на методі галузей і границь або на методі неявного перебору. Ці приймання полягають у побудові «часткових розв'язків», представлених у вигляді дерева пошуку й застосуванні методів побудови оцінок, що дозволяють відтинати безперспективні часткові розв'язки. Однак навіть зроблені приймання скорочення перебору не дозволяють відійти від експонентної трудомісткості.

6.2 Комбінаторний підхід з поліноміально розв'язними завданнями

Комбінаторний підхід зводиться до цілеспрямованої перестановки пар робіт у деякій вихідній послідовності, поки не буде отримано оптимальний або близький до оптимального розв'язок.

Тут доречно дати визначення таких понять, як завдання класу **P** (ефективні алгоритми) та **NP**-повні завдання. У теорії алгоритмів класом **NP** (від англ. non-deterministic polynomial) називають множину завдань розпізнавання, розв'язок яких при наявності деяких додаткових відомостей (так званого сертифіката розв'язку) можна «швидко» (залежно від розміру даних) перевірити на машині Тюрінга.

Під «ефективним алгоритмом» розуміється алгоритм, для якого число необхідних кроків росте як поліном від розміру вхідного завдання. Завдання, що мають ефективні (поліноміальні) алгоритми розв'язку, належать до класу **P**-завдань.

Завдання про нерівність класів **P** і **NP** – одне із таких, що інтригують математиків. Коротко проблема нерівності класів складності **P** і **NP** формулюється так: "Якщо позитивна відповідь на якесь питання можна

швидко перевірити, то чи вірно, що можна швидко знайти відповідь на це питання".

Завдання, для яких актуальна ця проблема, ставляться до класу складності NP (завдання класу складності P можна назвати більш простими – у тому розумінні, що їх розв'язок точний можна знайти за розумний час).

Клас NP-завдань має наступні властивості:

- ніяке NP-повне завдання не можна розв'язати ніякими відомими поліноміальними алгоритмами;
- якщо існує поліноміальний алгоритм для якого-небудь NP-повного завдання, то існують поліноміальні алгоритми для всіх NP-повних завдань.

Практичне значення поняття NP-повноти полягає в наступному: такі завдання по суті важкі для розв'язання з обчислювальної точки зору, вони не піддаються ефективному алгоритмічному розв'язку й для алгоритму, що коректно вирішує NP-повне завдання, буде потрібно в найгіршому разі експонентна кількість часу й, отже, він не буде застосовний на практиці ні до яких завдань (за винятком дуже малих).

Таким чином, застосування математичного програмування й комбінаторного підходу викликає значні труднощі через ріст обсягу обчислювальних процедур з підвищенням розмірності завдання.

6.3 Евристичні та імовірнісні методи

Незадовільний стан розвитку точних методів розв'язку завдань теорії розкладів обумовив розробку наближених методів, що дозволяють одержувати прийнятні розв'язки при порівняно невеликих витратах часу й засобів. Умовно наближені методи діляться на *евристичні* й *імовірнісні*.

Евристичні алгоритми засновані на підході, який називається **прийманням зниження вимог**. Він полягає у відмові від пошуку оптимального розв'язку за прийнятний час. Евристичні алгоритми використовують різні **розумні міркування без строгих обґрунтувань**.

Широко застосовується так званий метод локального пошуку. При цьому заздалегідь обрана множина перестановок використовується для послідовного поліпшення початкового розв'язку доти, поки таке поліпшення можливо, а якщо ні, то виявляється досягнутим локальний оптимум.

Ще один з напрямків евристичних методів розв'язку завдань теорії розкладів полягає у **формуванні правил або функцій переваги** (пріоритетів). Для кожної i -ї роботи з безлічі робіт, що очікують виконання, обчислюється значення функції f_i переваги й вибирається та робота, для якої f_i досягає максимуму або мінімуму.

Приклади правил переваги

1) *Правило SPT (shortest processing time)*. Перевага віддається тій роботі (операції) з множини готових до обробки на машині, у якої час виконання на цій машині мінімальний.

2) *Правило LRT (longest remaining time)*. Вимагає вибору напруженої роботи, тобто тієї, у якої сума часів виконання операцій, що залишилися, найбільша.

3) *Правило LPT (longest processing time)*. Перевага віддається тій роботі (операції) з множини готових до обробки на машині, у якої час виконання на цій машині максимальний.

Перевагою евристичних методів є зручність реалізації їх на ЕОМ навіть при розв'язку громіздких завдань.

Недоліки евристичних методів полягають у складності оцінки близькості отриманих розкладів до оптимального. Крім того для кожної функції переваги існують завдання, для яких застосування даної функції приводить до поганих результатів. Один зі шляхів удосконалювання методу функцій переваги полягає в їхній прив'язці до класів завдань.

Імовірнісні методи пов'язані з *k-кратним* моделюванням розкладів. Вибір робіт з множини, що очікують виконання, здійснюється випадковим чином. Після *k-кратного* програвання вибирається найкращий розклад, який ухвалюється за розв'язок завдання. При цьому розрізняють:

- а) ненаправлений випадковий пошук;
- б) спрямований випадковий пошук без самонавчанням;
- в) спрямований випадковий пошук із самонавчанням.

6.4 Умови впорядкування робіт для однієї машини

Передбачається, що кожна **робота полягає тільки з однієї операції**. У цьому випадку множини робіт можна розбити на групи залежно від виду операції. При цьому кожна машина, що виконує певну операцію, не залежить від інших. Отже, можна обмежитися складанням розкладу тільки для однієї машини й виконуваної нею підмножини робіт.

Будемо вважати, що:

- число робіт зазвичай й відомо заздалегідь і що всі вони повинні бути виконані;
- машини використовуються тільки для виконання розглянутих робіт, вони завжди доступні й не виходять із ладу;
- роботи надходять у систему одночасно, так що при складанні розкладу процес може початися з кожної з них;

- виконання кожної з робіт відбувається або без настроювання машини, або настроювання не залежить від попередньої роботи. В останньому випадку тривалість настроювання перед якою-небудь роботою залежить лише від самої роботи й цю тривалість можна приєднати до тривалості виконуваної роботи.

Для подальшої роботи прийемо наступні позначення:

$m = 1$ – є одна машина;

$g_1 = 1$ – кожна робота складається з однієї операції;

$r_i = 0$ – усі роботи надходять одночасно, тому без обмеження спільності початок відліку на тимчасовій осі можна сполучити з моментом надходження робіт;

$t_{i1} = t_i$ – тривалість роботи може бути довільною величиною, що задається заздалегідь і не залежної від розкладу. Оскільки кожна робота складається з однієї операції, то другий індекс опускається;

$a_i = d_i$ – припустима тривалість проходження збігається із плановим строком, тому що $d_i = r_i + a_i = 0 + a_i$;

$W_{i1} = W_i$ – тривалість очікування роботою i початку її виконання;

$T_i = F_i = t_i + W_i$ – момент закінчення роботи дорівнює тривалості проходження, тому що відлік часу починається з моменту вступу роботи.

Результати впорядкування для однієї машини можуть бути застосовні у випадках:

- коли складні технічні комплекси функціонують як одне ціле (у промисловості підприємство найчастіше являє собою одне ціле стосовно кінцевого продукту виробництва);

- коли із сукупності операцій кожної роботи одна, що виконується на певній машині, є домінантною; у таких ситуаціях другорядними операціями можна зневажити й розглядати систему так, що вона полягає з однієї машини, яка здійснює цю домінантну операцію;

- коли одна з машин тимчасово стає настільки вузьким місцем у системі, що в основному визначає її продуктивність. Для цієї машини розклад складається окремо й незалежно від інших машин. Наприклад, якщо при складанні розкладу рейсових літаків у мережі аеропортів відомо, що пропускна здатність одного з аеропортів обмежена через погоду, то для цього аеропорту тимчасовий розклад складається в першу чергу, оскільки його можливості є визначальними для всієї мережі.

6.5 Перестановочні розклади

У загальному випадку можуть виявитися корисними розклади, що допускають переривання, коли виконувана робота переривається до її завершення й робота знімається з машини, або штучно вводяться простої, коли машина простоює при наявності роботи, що очікує виконання.

Згідно з наступною теоремою для системи $n/1$ такі розклади можна не розглядати.

ТЕОРЕМА 1. Для системи $n/1$ розклад, оптимальний щодо регулярного критерію, належить до класу, що виключає переривання або штучні простої.

ДОКАЗ:

а) Випадок штучних простоїв

Розглянемо розклад S , що містить простої на відрізку від $t1$ до $t2$, де $0 < t1 < t2 < T_{max}$ (рис. 6.1).

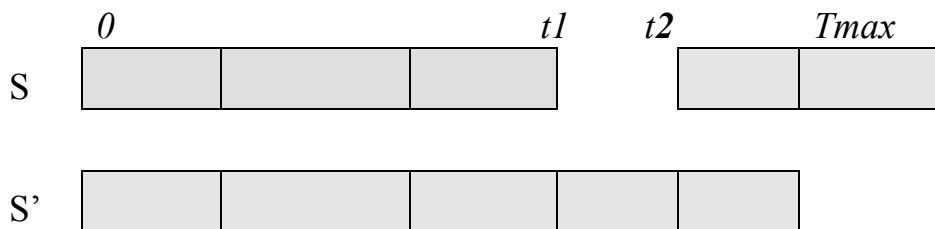


Рисунок 6.1 – Діаграма розкладів із простоєм

Нехай розклад S' відрізняється від розкладу S лише тим, що машина не простоює на відрізку $[t1, t2]$ і всі події, що відбуваються після $t2$, випереджають відповідні події S на $t2 - t1$. При цьому, мабуть, не змінюються моменти закінчення робіт, що відбуваються до $t1$, а для робіт, що кінчаються після $t2$ моменти закінчення для S' зрушуються вліво на $t2 - t1$. Тут значення регулярного критерію для S' не перевершує значення для S , тому оптимальний розклад належить до класу без простоїв.

б) Випадок наявності переривань

Розглянемо розклад S , при якому робота I починає виконуватися в момент $t1$ і в момент $t2$, що передує її закінченню, переривається роботою J . (для спрощення виводів припустимо, що J не переривається). У момент часу $t3$ робота I знову відновлюється й триває до її повного завершення (рис. 6.2).

Тепер розглянемо розклад S' , який відрізняється від S тим, що першою з робіт I і J виконується робота J . У результаті виходить, що в S' закінчиться раніше тільки робота J , а моменти закінчення інших робіт не зміняться. Тому значення будь-якого регулярного критерію для S' не перевершує його значення для S .

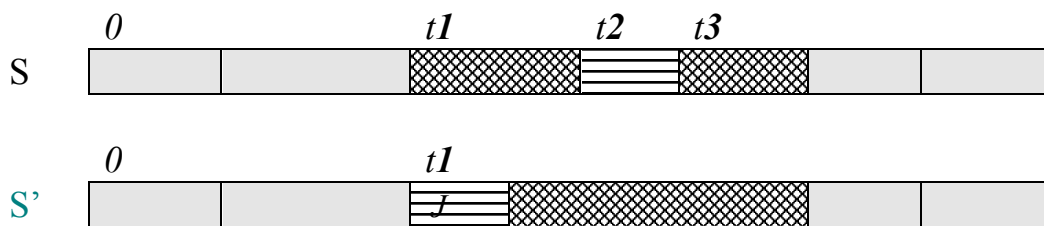


Рисунок 6.2 – Діаграма розкладів з перериванням

Якщо в розкладі S' виконання роботи I переривається іншими роботами, то можна повторювати описані процедури перестановки робіт, що переривають, *перед* I доти, поки робота I не буде виконуватися без переривань. У результаті всіх цих перестановок регулярний критерій не збільшується. Зі сказаного випливає, що оптимальний розклад належить до класу, що не містить переривань. Теорема доведена.

Отже, пошук оптимального розкладу повинен проводитися в класі перестановочних розкладів, тобто розкладів, які повністю визначаються порядком виконання робіт. У випадку n робіт маємо $n!$ можливих перестановок їх номерів. Задаючи перестановку й тривалість кожної роботи, можна обчислити значення W_i $i = \overline{(1, n)}$, а потім знайти всі інші властивості розкладів.

Далі квадратні дужки будемо використовувати для позначення черговості роботи в перестановочному розкладі. Наприклад, $[1]$ означає номер роботи, виконуваної першою; $[3]=7$ означає, що 7-а робота виконується третьою; $t_{[1]}$ – означає тривалість роботи, виконуваної в першу чергу.

Використовуючи ці позначення, одержимо, що для перестановочного розкладу існують такий порядок: $T_{[1]} \leq T_{[2]} \leq \dots \leq T_{[n]}$.

Помітимо, що для перестановочних розкладів у системі $n/1$ максимальна тривалість проходження робіт дорівнює сумі тривалостей n робіт і однакова для всіх $n!$ можливих упорядкувань. У більш складних системах максимальна тривалість проходження береться основним критерієм оцінки розкладів, але в цьому випадку вона не залежить від порядку виконання робіт, так що вибір розкладу повинен проводитися за іншим критерієм. Очевидно також, що в цьому випадку в якості оцінки розкладів непридатні максимальний обсяг роботи, що втримується в системі, мінімум тривалості очікування й коефіцієнт використання машини, оскільки всі вони залежать від упорядкування.

6.6 Упорядкування по мінімуму тривалостей робіт

Розглянемо такий порядок виконання робіт, що:

$$t_{[1]} \leq t_{[2]} \leq \dots \leq t_{[n]}. \quad (6.7)$$

Надалі такий алгоритм упорядкування будемо називати **впорядкуванням по мінімуму тривалостей робіт** (shortest processing time sequencing) або, скорочено, SPT. Цей найважливіший алгоритм у різних варіантах неодноразово зустрічається в теорії розкладів.

Оптимальність упорядкування SPT установлюється наступною теоремою.

ТЕОРЕМА 2. *Середній час перебування робіт* у системі $n/1/$ мінімальний, якщо після впорядкування тривалості робіт не зростають:

$$t_{[1]} \leq t_{[2]} \leq \dots \leq t_{[n]},$$

і максимальний, якщо після впорядкування тривалості робіт не зростають:

$$t_{[1]} \geq t_{[2]} \geq \dots \geq t_{[n]}.$$

ДОКАЗ. Розглянемо деякий перестановочний розклад. Тривалість проходження для роботи, виконуваної в k -й позиції будь-якого перестановочного розкладу, дорівнює:

$$F_{[k]} = \sum_{i=1}^k t_{[i]}. \quad (6.8)$$

Середня тривалість проходження для n робіт визначається як:

$$\begin{aligned} \bar{F} &= \frac{\sum_{k=1}^n F_{[k]}}{n} = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^k t_{[i]}}{n} = \frac{1}{n} (t_{[1]} + t_{[1]} + t_{[2]} + t_{[1]} + t_{[2]} + t_{[3]} + \dots + t_{[i]} + \dots + t_{[n]}) = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n (n-i+1)t_{[i]}}{n}. \end{aligned} \quad (6.9)$$

Тут коефіцієнт $(n-i+1)$ ураховує кількість підсумованих тривалостей робіт t_1, t_2, t_3 і т.д.

Відомо, що сума попарних добутоків членів двох числових послідовностей, одна з яких зростає, а інша убиває, мінімальна. І навпаки –

сума попарних добутоків досягає максимального значення, якщо обидві послідовності впорядковані однаково.

Таким чином, роботи повинні виконуватися в порядку зменшення або, принаймні, незростання їх тривалостей.

Розглянемо критерій оптимальності розкладу для випадку, коли розклад *не належить до класу SPT-розкладів*:

$$\overline{F} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n}. \quad (6.10)$$

ТЕОРЕМА 3. Розклад у системі $n/1/\overline{F}$ оптимальний, якщо після впорядкування:

а) у завданні на мінімум тривалості робіт не убувають:
 $t_{[1]} \leq t_{[2]} \leq \dots \leq t_{[n]}$,

б) у завданні на максимум тривалості робіт не зростають:
 $t_{[1]} \geq t_{[2]} \geq \dots \geq t_{[n]}$,

ДОКАЗ. (При доказі використовується *метод попарних перестановок*).

Розглянемо розклад S , що не ставиться до класу *SPT-розкладів*. По визначенню в розкладі S знайдеться таке місце в черзі k , що: $t_{[k]} > t_{[k+1]}$, тобто роботи не впорядковані по убуттю тривалості.

Нехай K і K' – номери робіт, виконуваних, відповідно, в k та $(k+1)$ чергу, тобто $K=[k]$, $K'=[k+1]$.

Тепер розглянемо розклад S' , що відрізняється від S тільки перестановкою черговості робіт K і K' , тобто в S' робота K' виконується k -ю, а робота K - $(k+1)$ -ю. В обох розкладах порядок виконання $(k-1)$ перших і $(n-k-1)$ останніх робіт незмінний. Очевидно також, що розклади S і S' різняться тільки тривалостями проходження робіт K і K' . Якщо позначити: $t = \sum_{i=1}^{k-1} t_{[i]}$ (t однаково для S і S'), то тривалості проходження робіт K і K' в обох розкладах, мають такий вигляд:

$$\text{для } S: F_K = F_{[k]} = (t + t_K), \quad F_{K'} = F_{[k+1]} = (t + t_K + t_{K'}).$$

для S' : $F_K = F_{[k+1]} = (t + t_{K'} + t_K)$, $F_{K'} = F_{[k]} = (t + t_{K'})$.

З наведених співвідношень випливає, що $F_{[k+1]}$ однакові для обох розкладів і що S і S' відрізняються тільки членом $F_{[k]}$, причому розклад S' краще S , тому що в ньому порядок робіт k відповідає умовам SPT.

Описану процедуру можна продовжити для поліпшення розкладу доти, поки не буде отриманий розклад SPT.

Таким чином:

1. Якщо розклад не належить до класу SPT-розкладів, то в ньому існує k таке, що $t_{[k]} > t_{[k+1]}$.

2. Такий розклад поліпшується перестановкою робіт $[k]$ і $[k+1]$.

3. Кожний з $n!$ можливих розкладів для n робіт приводиться до розкладу SPT послідовними перестановками так, що розклад кожного наступного кроку буде краще розкладу попереднього.

За допомогою аналогічного доказу або за допомогою визначень і співвідношень для шуканих величин можна показати, що розклад SPT буде оптимальним, якщо за критерій оптимальності прийняти мінімум по наступних характеристиках:

- середня тривалість проходження,
- середня тривалість очікування,
- середній зсув,
- середній час закінчення робіт,
- максимальна тривалість очікування й деякі інші.

Існує ряд критеріїв оцінки розкладів для системи $n/1$, відповідно до яких упорядкування SPT не буде оптимальним. Найбільш важливі з них залежать від планових строків, але й тут SPT може бути корисним:

- якщо для робіт задаються жорсткі й дуже близькі друг до друга планові строки, то в результаті всі роботи затримуються. У цьому випадку SPT-упорядкування мінімізує середнє запізнювання;

- якщо $d_1 = d_2 = \dots = d_n$, то впорядкування SPT мінімізує число запізнених робіт.

Дослідження розкладу *методом попарних перестановок* сусідніх у черговості робіт досить зручно, однак *не завжди приводить до мети*. Цей метод не придатний не тільки в більшості складних завдань, але й у ряді випадків для системи $n/1$.

Приклад. Розглянемо систему $3/1/\bar{Z}$ з вихідними даними, представленими в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

робота	тривалість	плановий строк
a	3	3
b	1	4
c	2	2

Прийmemo за критерій оцінки розкладів середнє запізнювання:

$$\bar{Z} = \frac{1}{3} [\max(T_a - d_a, 0) + \max(T_b - d_b, 0) + \max(T_c - d_c, 0)]. \quad (6.11)$$

Критерій \bar{Z} являє собою *регулярний критерій*, тому що його значення зростає зі збільшенням кількості робіт. Усі шість можливих послідовностей виконання робіт розглянутого завдання, представлені на рис. 6.3.

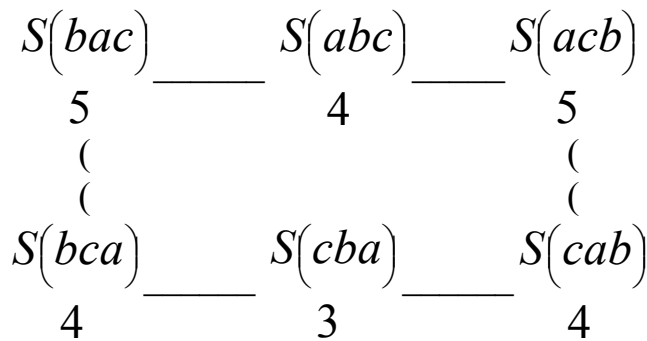


Рисунок 6.3 – Варіанти послідовностей виконання робіт і їх критерії запізнювання \bar{Z}

Лінії на цьому рисунку з'єднують послідовності, що відрізняються друг від друга попарною перестановкою сусідніх по черговості робіт. Кожне впорядкування має по два такі зв'язки. Розклад оцінюється сумарним запізнюванням усіх робіт (число внизу).

У табл. 6.2 наведені запізнювання робіт у чотирьох розкладах.

Якщо прийняти за вихідний розклад $S(abc)$, то не існує попарної перестановки роботи, що поліпшує розклад, і можливості методу *попарних перестановок* виявляються вичерпаними раніше, чим досягається оптимум – розклад $S(cba)$. Справа тут у тому, що використовуваний критерій не транзитивний.

Таблиця 6.2

	$S(abc)$			$S(bac)$			$S(acb)$			$S(cba)$		
	a	b	c	b	a	c	a	c	b	c	b	a
ti	3	1	2	1	3	2	3	2	1	2	1	3
Ti	3	4	6	1	4	6	3	5	6	2	3	6
di	3	4	2	4	3	2	3	2	4	2	4	3
Zi	0	0	4	0	1	4	0	3	2	0	0	3

Дійсно, з порівняння розкладів $S(bac)$, для якого запізнювання 5, і $S(abc)$, для якого запізнювання 4, випливає, що a повинна передувати b . З порівняння $S(abc)$, 4 і $S(acb)$, 5 випливає, що b повинна передувати c . Однак звідси ще не випливає, що a повинна передувати c . Таким чином, взаємне розташування двох робіт залежить від черговості виконання третьої роботи.

Із прикладу випливає, що:

- якщо c виконується третьою, то a повинна передувати b ,
- якщо c виконується першою або другою, то b повинна передувати a .

6.7 Упорядкування відповідно до планового строку

З можливих критеріїв оцінки розкладів найбільш важливим з погляду додатків є критерій своєчасного виконання робіт. Хоча коефіцієнт використання машин, тривалість проходження роботи й обсяг виконуваної в системі роботи являють собою, безумовно, важливі характеристики, однак у порівнянні з ними критерій своєчасного виконання робіт переважніше.

Оскільки оцінкою розкладу служить ступінь порушення планових строків, природно очікувати, що впорядкування повинне здійснюватися з урахуванням інформації, що втримується в наборі величин $\{d_i\}$. Очевидним використанням планових строків є таке впорядкування, що:

$$d_{[1]} \leq d_{[2]} \leq \dots \leq d_{[n]}.$$

ТЕОРЕМА 4 (Джексон). Розклад, який мінімізує максимум тимчасового зсуву й максимум запізнювання робіт у системі $n/1$, повинен бути таким, що роботи виконуються в порядку неубування планових строків.

ДОКАЗ. Розглянемо розклад S , що не належить до класу розкладів з неубутними плановими строками. Тоді в S існує таке k , що $d_{[k]} > d_{[k+1]}$.

Тоді K і K' – номери робіт, відповідно, в k -й і $(k+1)$ -й позиціях розкладу S .

Тепер розглянемо розклад S' , який відрізняється від S тільки перестановкою черговості робіт K і K' , тобто в S' робота K' виконується k -ю, а робота K виконується $(k+1)$ -ю. В обох розкладах порядок виконання $(k-1)$ перших і $(n-k-1)$ останніх робіт той самий. Крім того, мабуть, що в обох розкладах початки й закінчення цих $(n-2)$ робіт однакові. Тому тимчасовий зсув для них однаковий.

Нехай максимум цього зсуву буде L . Обидва розклади відрізняються лише тимчасовими зсувами робіт K і K' . Потрібно показати, що $\max(L, L_K, L_{K'})$ в розкладі S' менше або дорівнює максимуму з тих же величин в розкладі S . Якщо максимум $(L, L_K, L_{K'})$ рівний L , то обидва розклади будуть еквівалентні. Тому припустимо, що максимум рівний L_K або $L_{K'}$, і доведемо, що теорема вірна в цьому випадку.

Якщо тривалість робіт, що передують роботі k рівна $t = \sum_{i=1}^{k-1} t_{[i]}$ (ця величина однакова для S й S'), то відповідні тимчасові зсуви мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} \text{для } S: \quad L_K(S) &= L_{[k]} = t + t_K - d_K, \\ L_{K'}(S) &= L_{[k+1]} = t + t_K + t_{K'} - d_{K'}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{для } S': \quad L_K(S') &= L_{[k+1]} = t + t_{K'} + t_K - d_K, \\ L_{K'}(S') &= L_{[k]} = t + t_{K'} - d_{K'}. \end{aligned}$$

Звідси випливає, що:

$$\begin{aligned} L_{K'}(S) &> L_K(S'), \text{ тому що } d_K > d_{K'}, \\ L_{K'}(S) &> L_{K'}(S'), \text{ тому що } t_K > 0, \end{aligned}$$

або: $L_{K'}(S) > \max(L_K(S), L_{K'}(S'))$. Тоді:

$$\max(L_K(S), L_{K'}(S)) > \max(L_K(S'), L_{K'}(S')).$$

У підсумку:

$$\max\{L, L_K(S), L_{K'}(S)\} \geq \max\{L, L_K(S'), L_{K'}(S')\}. \quad (6.12)$$

Таким чином, для будь-якого розкладу S існує можливість його поліпшення шляхом *парної перестановки сусідніх робіт* так, щоб роботи виконувалися в порядку незростання планових строків.

Упорядкування відповідно до резерву часу

Інформацію, що втримується в наборі величин $\{d_i\}$, можна використовувати інакше – зробити впорядкування відповідно до резерву часу кожної роботи.

Резерв часу роботи в момент t дорівнює величині $d_i - t_i - t$ і являє собою максимально припустиму тривалість очікування, при якій не відбудеться затримки роботи. Робота з мінімальним резервом часу має більше шансів бути затриманою, тому при встановленні черговості вона повинна мати перевагу. Оскільки час t є загальним для всіх робіт, то впорядкування повинне бути наступним:

$$d_{[1]} - t_{[1]} \leq d_{[2]} - t_{[2]} \leq \dots \leq d_{[n]} - t_{[n]}.$$

Інтуїтивно здається, що впорядкування такого виду є деяким поліпшенням розкладу, отриманого відповідно до планових строків, і в ряді складних випадків повинне поліпшувати характеристики системи. Однак має місце трохи несподіваний результат, що втримується в наступній теоремі.

ТЕОРЕМА 5. Розклад, який максимізує мінімальний тимчасовий зсув і мінімальне запізнювання робіт у системі n/l повинен бути таким, що роботи виконуються в порядку неубування резерву часу.

ДОКАЗ. Розглянемо розклад S , що не належить до класу розкладів з неубутними резервами часу. Тоді в S існує така позиція k , що:

$$d_{[k]} - t_{[k]} > d_{[k+1]} - t_{[k+1]}.$$

Нехай у розкладі S :

$$K = [k], \quad K' = [k+1].$$

Тепер розглянемо розклад S' , який відрізняється від S тільки перестановкою черговості робіт K і K' , тобто в S' :

$$K = [k+1], \quad K' = [k].$$

В обох розкладах порядок виконання $(k-1)$ перших і $(n-k-1)$ останніх робіт той самий. Крім того, напевно, в обох розкладах початок і закінчення виконання цих $(n-2)$ робіт однаковий. Тому тимчасовий зсув для них теж однаковий.

Нехай мінімум цього зсуву буде L . Обидва розклади відрізняються лише тимчасовими зсувами робіт K і K' . З обліком того, що $t = \sum_{i=1}^{k-1} t[i]$ (ця величина однакова для S й S') тимчасові зсуви, відповідно, мають такий вигляд:

$$\text{Для } S: \begin{cases} L_K(S) = L[k] = t + t_K - d_K = t - (d_K - t_K) \\ L_{K'}(S) = L[k+1] = t + t_K + t_{K'} - d_{K'} = t + t_K - (d_{K'} - t_{K'}) \end{cases} \quad (6.13)$$

$$\text{Для } S': \begin{cases} L_K(S') = L[k+1] = t + t_{K'} + t_K - d_K = t + t_{K'} - (d_K - t_K) \\ L_{K'}(S') = L[k] = t + t_{K'} - d_{K'} = t - (d_{K'} - t_{K'}) \end{cases} \quad (6.14)$$

Звідси випливає, що:

$$L_K(S) < L_{K'}(S'), \text{ тому що } d_K - t_K > d_{K'} - t_{K'},$$

$$L_K(S) < L_K(S'), \text{ тому що } t_{K'} > 0,$$

або:

$$L_K(S) < \min\{L_K(S'), L_{K'}(S')\}. \quad (6.15)$$

Тоді справедливо:

$$\min\{L_K(S), L_{K'}(S)\} < \min\{L_K(S'), L_{K'}(S')\}. \quad (6.16)$$

Так як L – мінімальна затримка $(n-2)$ робіт – однакова для S й S' , то:

$$\min\{L, L_K(S), L_{K'}(S)\} \leq \min\{L, L_K(S'), L_{K'}(S')\}, \quad (6.17)$$

тобто розклад S гірше S' (Теорема доведена).

Отже, теореми 2, 4, 5 дозволяють становити розклади, оптимальні щодо різних характеристик тимчасового зсуву:

- SPT-розклад мінімізує середнє значення тимчасового зсуву (наслідок теореми 2);

- упорядкування мінімізує планові строки (теорема 4);

- упорядкування максимізує резерв часу (теорема 5).

Стосовно запізнювання можна застосувати два варіанти:

- мінімізувати його максимальнє значення (теорема 4);

- максимізувати мінімальнє значення (теорема 5).

Однак немає впорядкування, яке мінімізувало б сумарнє запізнювання, тому завдання $n/1/\bar{Z}$ належить до класу NP-повного.

Приклад. Нехай розклад характеризується показниками, наведеними в табл. 6.3.

Таблиця 6.3

	Робота			
	1	2	3	4
Плановий строк d_i	1	2	4	6
Тривалість t_i	2	4	3	1
Резерв $d_i - t_i$, якщо робота виконується першою	-1	-2	1	5

У таблиці 6.4 показані результати впорядкування робіт з різними критеріями.

Таблиця 6.4

Розклад	Робота				\bar{Z}	Z_{\max}	Z_{\min}
	1	2	3	4			
	T_1/Z_1	T_2/Z_2	T_3/Z_3	T_4/Z_4			
SPT-розклад 4,1,3,2	3/2	10/8	6/2	1/0	3,0	8	0
Упорядкування відповідно до планових строків 1,2,3,4	2/1	6/4	9/5	10/4	3,5	5	1
Упорядкування відповідно до резервів часів 2,1,3,4	6/5	4/2	9/5	10/4	4,0	5	2

У таблиці 6.5 наведений розклад, оптимальний за критерієм \bar{Z} , отриманий методом повного перебору.

Таблиця 6.5

Розклад	Роботи				\bar{Z}	Z_{\max}	Z_{\min}
	1	2	3	4			
	T_1 / Z_1	T_2 / Z_2	T_3 / Z_3	T_4 / Z_4			
Розклад 1,3,4,2	2/1	10/8	5/1	6/0	2,5	8	0

Як видно з таблиць 6.4 і 6.5, жодне з розглянутих вище впорядкувань не мінімізує середнє запізнювання.

6.8 Оптимізація по двом критеріям

Нехай існує впорядкування відповідно до планового строку, яке приводить до нульового значення запізнювання.

Для цього завдання може існувати інший розклад, при яким досягається мінімум тривалості проходження робіт.

Якщо поряд з мінімізацією максимального тимчасового зсуву (запізнювання) прагнуть мінімізувати й середню тривалість проходження робіт, то впорядкування повинне здійснюватися у відповідності з наступною теоремою.

ТЕОРЕМА 6. Якщо для системи $n/1$ існує таке впорядкування, що максимальне запізнювання робіт рівно 0, то існує й упорядкування з роботою K в останній позиції, яке зберігає нульовим максимальне запізнювання й одночасне мінімізує середню тривалість проходження тоді й тільки тоді, коли:

а) $d_K \geq \sum_{i=1}^n t_i$, (робота виконується останньою, якщо це не приводить

до її запізнювання);

б) $t_K \geq t_i$ для всіх i таких, що $d_i \geq \sum_{j=1}^n t_j$, (її тривалість максимальна

серед усіх робіт, виконання яких в останню чергу не приводить до запізнювання).

ДОКАЗ. Розглянемо розклад S з наступними властивостями: максимальне запізнювання рівне 0 і робота K , виконувана останньою, задовольняє умовам а) і б) теореми. Покажемо, що всяке переміщення роботи K з останнього місця приводить до запізнювання й/або до збільшення середньої тривалості проходження.

Спочатку помітимо, що не існує іншої роботи J , виконуваної раніше, чим K і задовольняючої одночасно умовам а) і б) теореми, якщо тільки не маємо рівності t_J й t_K . Якщо $t_J = t_K$, то байдуже, яка з робіт виконується останньою.

Якщо J не задовольняє умові а) теореми, то її перестановка із K приводить до утвору ненульового запізнювання для J , що суперечить припущенням теореми (порушується оптимальність по Z).

Якщо J не задовольняє умові б), тобто $t_J < t_K$, то перестановка J із K приведе до зростання сумарної тривалості проходження робіт на величину $\nu \cdot (t_J - t_K)$, де ν – різниця номерів позицій робіт J і K (робота стоїть в позиції $(n - \nu)$).

Остаточний вид розкладу, який мінімізує середню тривалість проходження робіт при наявності планових строків виходить рекуррентно, шляхом вибору останньої, передостанньої і т.д. робіт. Це відбувається в такій послідовності:

Крок 1. Із сукупності робіт, для яких планові строки перевершують або дорівнюють сумарній тривалості всіх робіт вибирається робота з найбільшою тривалістю. Ця робота призначається останньою.

Крок 2. Знаходиться час закінчення роботи $[n - 1]$ по формулі:

$$T_{[n-1]} = \sum_{i=1}^n t_i - t_{[n]}. \quad (6.18)$$

Крок 3. Далі із сукупності робіт, для яких планові строки більше або рівні $T_{[n-1]}$ вибирається робота *максимальної тривалості*. Ця робота виконується $(n - 1)$ -ю.

Крок 4, Виконуються дії, аналогічні кроку 2, з відповідними змінами номерів позицій.

Приклад. Розглянемо систему 6/1 (характеристики дані в табл. 6.6).

Таблиця 6.6

i	Робота					
	1	2	3	4	5	6
d_i	24	21	8	5	10	23
t_i	4	7	1	3	2	5

Етап I. Спочатку впорядкуємо роботи відповідно до планових строків. Отриманий розклад представлено в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7

№ п\п	1	2	3	4	5	6
Новий порядок	4	3	5	2	6	1
$T_i - d_i$	3-5	4-8	6-10	13-21	18-23	22-24
Z_i	0	0	0	0	0	0

Тут середній час закінчення робіт $\bar{T} = 66 / 6 = 11$.

З табл. 6.7 видно, що запізнювання у всіх робіт дорівнюють нулю, значить можна оптимізувати цей розклад за критерієм середньої тривалості проходження.

Етап II. Проводимо упорядкування по теоремі 6.

Крок 1. $T_{[6]} = T_{[n]} = 22$. Роботи 1 і 6 мають плановий строк більше 22. Тому останньою повинна бути обрана одна з них, а враховуючи, що $t_6 = 5 > t_1 = 4$, то останньою призначаємо роботу 6 ($[6]=6$).

Крок 2. Виключивши з розгляду роботу 6, установлюємо, що сумарна тривалість робіт, що залишилися, рівна $T_{[5]} = T_{[n-1]} = 22 - 5 = 17$. З п'яти робіт тільки роботи 1 і 2 можуть бути обрані в якості останніх ($d_i \geq 17; i=1,2$), а враховуючи те, що $t_2 = 7 > t_1 = 4$, то передостанньою призначаємо роботу 2 ($[5] = 2$).

Крок 3. $T_{[n-2]} = T_{[4]} = 17 - 7 = 10$; $d_i \geq 10 : i = 1,5$;

$t_1 = 4 > t_5 = 2 \Rightarrow [4] = 1$.

Крок 4. $T_{[3]} = 10 - 4 = 6$; $d_i \geq 6 : i = 3,5$;

$t_3 = 1 < t_5 = 2 \Rightarrow [3] = 5$

Крок 5. $T_{[2]} = 6 - 2 = 4$; $d_i \geq 4 : i = 3, 4$;

$$t_3 = 1 < t_4 = 3 \Rightarrow [2] = 4.$$

Крок 6. Залишилася одна робота, її й ставимо на перше місце.

Отже, оптимальний по двом критеріям розклад представлений у табл. 6.8. Для цього розкладу $\bar{T} = 60/6 = 10$.

Таблиця 6.8

№п/п	1	2	3	4	5	6
Робота (i)	3	4	5	1	2	6
T_i	1	4	6	10	17	22

6.9 Упорядкування з урахуванням ваги роботи

У більшості випадків виконувати роботи мають різну важливість, і це повинно відбиватися на критерії оцінки розкладу. Нехай для кожної роботи задана величина u_i , що характеризує її відносну важливість.

Тоді *зважена середня тривалість проходження* робіт задається в такий спосіб:

$$\bar{F}_u = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i F_i. \quad (6.19)$$

Розглянемо впорядкування, що задовольняє умові:

$$t_{[1]} / u_{[1]} \leq t_{[2]} / u_{[2]} \leq \dots \leq t_{[n]} / u_{[n]}. \quad (6.20)$$

Ця умова є більш загальною, чим умова для впорядкування SPT. Оптимальність зазначеного впорядкування впливає з наступної теореми 9, що узагальнює теорему 2.

ТЕОРЕМА 9. Мінімальне значення сумарної зваженої тривалості проходження $\sum_{i=1}^n u_i F_i$ в системі $n/1$ досягається при розкладі, для якого виконується умова (6.20), а при антитетичному (суперечливому) розкладі ця тривалість максимальна.

Мінімізація середнього зваженого запізнювання

Розглянемо завдання мінімізації середнього зваженого запізнювання:

$$\overline{Z_u} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i Z_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \max(0, L_i). \quad (6.21)$$

Для конкретного завдання подібного роду можна спочатку спробувати зробити впорядкування відповідно до планового строку. Тоді буде мінімізовано максимальне запізнювання, і якщо його максимум виявиться рівним 0, то $\overline{Z_u}$ також буде рівно 0 і впорядкування виявиться оптимальним.

Якщо це не вдасться, можна спробувати зробити впорядкування відповідно до зростання відносини t/u , яке мінімізує середнє зважене значення тимчасового зсуву. Якщо при цьому кожна робота має ненульове запізнювання, то тимчасовий зсув і є запізнювання й упорядкування буде оптимальним відносно $\overline{Z_u}$.

Для випадків, коли планові строки великі й немає запізнених робіт, або планові строки малі так, що всі роботи запізнюються, загальний оптимальний алгоритм (відмінний від повного перебору) невідомий.

Шилд і Фрідман запропонували алгоритм, який починає з упорядкування відповідно до відношення t/u , а потім шукає перестановки, що зменшують значення $\overline{Z_u}$. Такий алгоритм приводить до гарного розкладу, але в загальному випадку *не гарантує оптимуму*.

Нижче описується й роз'яснюється цей алгоритм.

Алгоритм Шилда й Фрідмана

Припустимо, що сукупність робіт пронумерована так, що:

$$\frac{t_1}{u_1} \leq \frac{t_2}{u_2} \leq \dots \leq \frac{t_n}{u_n},$$

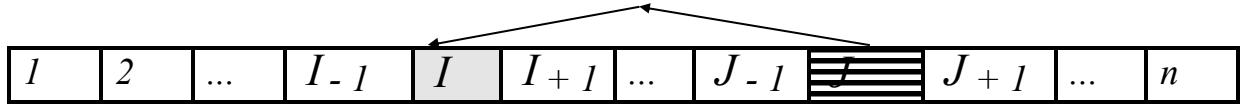
і спочатку черговість установлюється відповідно до цієї нумерації. Позначимо через Z_u суму зважених запізнювань.

Нехай I – перша робота з нульовим запізнюванням. Якщо не існує такої роботи, то встановлена черговість оптимальна й мета досягнута. При цьому Z_u не зменшується ні перестановкою роботи I з будь-якою роботою i , що передує I , ні просто переміщенням роботи I на більш близьку позицію.

Однак може існувати таке переміщення роботи I на більш далеку позицію, у результаті якого виграють одна або декілька робіт і відбувається зменшення Z_u . Стратегія цих переміщень пов'язана з пошуком відповідної

роботи \underline{J} , що впливає за роботою \underline{I} у вихідній послідовності, і розміщенням її між роботами $\underline{I-1}$ і \underline{I} (див. рис. 6.4).

вихідна послідовність S :



“нова” послідовність S' :

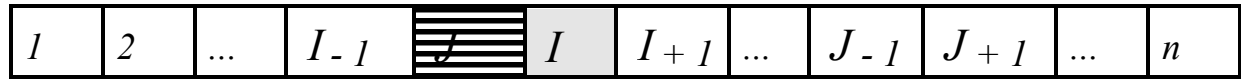


Рисунок 6.4

Тривалість проходження в “новім” розкладі з рис. 6.4 рівна:

$$F'_i = F_i + t_J \quad \text{для } I \leq i < J$$

$$F'_J = F_J - \sum_{i=I}^{J-1} t_i$$

$$F'_i = F_i \quad \text{для } i < I \text{ й } i > J$$

Максимальне зрушення роботи I вправо, що не приводить до збільшення запізнювання Z_i , рівне $(a_I - F_I = d_i - T_i)$.

У результаті перестановки змінилися моменти закінчення робіт $I, I+1, \dots, J$. У новій послідовності ці роботи, вносять наступний вклад у загальне запізнювання Z_u :

$$\sum_{i=I}^J u_i \max(F'_i - a_i, 0) = \sum_{i=I}^{J-1} u_i \max(F_i + t_J - a_i, 0) + u_J \max\left(F_J - \sum_{i=I}^{J-1} t_i - a_J, 0\right). \quad (6.22)$$

Зміна в Z_u при перестановці роботи J назад перед роботою I позначимо $\Delta_I(J)$. Тоді ця зміна в результаті перестановки дорівнює (“нові” запізнювання мінус “старі” запізнювання):

$$\begin{aligned} \Delta_I(J) = & \sum_{i=I}^{J-1} u_i \max(F_i + t_J - a_i, 0) + u_J \max\left(F_J - \sum_{i=I}^{J-1} t_i - a_J, 0\right) - \\ & - \sum_{i=I}^{J-1} u_i \max(F_i - a_i, 0) - u_J \max(F_J - a_J, 0) \end{aligned} \quad (6.23)$$

Об'єднаємо подібні (перший доданок із третім і другий із четвертим):

$$\Delta_I(J) = \sum_{i=I}^{J-1} u_i \{ \max(F_i + t_J - a_i, 0) - \max(F_i - a_i, 0) \} + u_i \{ \max\left(F_J - \sum_{i=I}^{J-1} t_i - a_J, 0\right) - \max(F_J - a_J, 0) \} \quad (6.24)$$

Тепер використаємо заміну $\max(a+b, c) = b + \max(a, c-b)$:

$$\begin{aligned} \Delta_I(J) &= \sum_{i=I}^{J-1} u_i [t_J + \max(F_i - a_i, -t_J) - \max(F_i - a_i, 0)] + \\ &+ u_i \left[-\sum_{i=I}^{J-1} t_i + \max\left(F_J - a_J, \sum_{i=I}^{J-1} t_i\right) - \max(F_J - a_J, 0) \right] = \\ &= \sum_{i=I}^{J-1} u_i t_J + \sum_{i=I}^{J-1} u_i [\max(F_i - a_i, -t_J) - \max(F_i - a_i, 0)] \quad (*) - \\ &- u_J \sum_{i=I}^{J-1} t_i + u_J \left[\max\left(F_J - a_J, \sum_{i=I}^{J-1} t_i\right) - \max(F_J - a_J, 0) \right] \quad (**) \end{aligned} \quad (6.25)$$

Проведемо деякі перетворення виражень у квадратних дужках рівняння (6.25), позначених як (*) і (**). Отже:

$$\Delta_I(J) = \sum_{i=I}^{J-1} u_i t_J - \sum_{i=I}^{J-1} u_i \min \{ t_J, \max(a_i - F_i, 0) \} - \quad (6.26)$$

$$- u_J \sum_{i=I}^{J-1} t_i + u_J \max(a_J - F_J, 0) \quad (4)$$

Кожний член правої частини останньої рівності має порядковий номер і може бути витлумачений у такий спосіб.

(1)-(2) – це програш. Кожний доданок суми (1) має відповідне йому доданок суми (2) і аналізувати їх необхідно разом.

Виконання кожної роботи, розташованої у вихідній послідовності між роботами I й $J-1$, завершується в новій послідовності на t_J пізніше (і при цьому $\max(a_i - F_i, 0)$ – переміщення назад, що не збільшує запізнювання).

Розглянемо внесок цих робіт в Z_u . Можливі наступні варіанти:

- робота i запізнювалася в S і, звичайно, залишається запізнілою в S' , тоді її додатковий внесок у Z_u рівний $u_i t_J$ ($u_i t_J$ – це відповідний доданок (1), при цьому в сумі (2) відповідний елемент дорівнює нулю, тому що $a_i - F_i < 0$);

- робота i не запізнювалася й не запізнюється в новій послідовності ($t_J \leq a_i - F_i > 0$) – її внесок у Z_u дорівнює нулю (член $u_i t_J$ з (1) компенсується рівнею по модулю величиною $(-u_i t_J)$ із суми (2));

- робота i не запізнювалася, а стала запізнюватися ($t_J > a_i - F_i$), значить додатковий внесок роботи i дорівнює різниці t_J й резерву $a_i - F_i$ помноженого на u_i (що дають відповідні елементи (1) і (2));

(3)-(4) – це виграш (ці доданки ставляться до роботи J):

- якщо робота J залишилася запізнілою, то внесок роботи J в Z_u зменшується на величину добутку u_J на суму тривалостей переміщуваних вправо робіт $I \dots J-1$, (компонента (3), при цьому компонента (4) дорівнює нулю, тому що $a_J < F'_J$;

- якщо робота J стала незапізнілою, то потрібно з (3) відняти добуток u_J на резерв роботи J в новому розкладі ($a_J < F'_J$), тому що цей шматочок уже не входить у вираження Z_u . (Зменшення внеску роботи J в Z_u у новій послідовності може тривати доти, поки цей внесок не стане рівним 0).

Наведене для $\Delta_I(J)$ вираження являє собою точне значення зміни Z_u , викликаного перестановкою робіт, але практично зручніше користуватися спрощеним вираженням, що представляє собою оцінку зверху зміни Z_u . Ця оцінка виходить, якщо припустити, що всі роботи між I і J у вихідній послідовності запізнювалися.

Тоді:

$$\min[t_J, \max(a_i - F_i, 0)] = 0 \text{ для } I < i < J$$

і оскільки $a_I > F_I$ для роботи I , то отримаємо:

$$\min[t_J, \max(a_I - F_I, 0)] = \min(t_J, a_I - F_I).$$

Остаточно маємо:

$$\begin{aligned} \Delta'_I(J) &= t_J \sum_{i=I}^{J-1} u_i - u_I \min(t_J, a_I - F_I) - u_J \sum_{i=I}^{J-1} t_i + u_J \max(a_J - F_J, 0) \geq \\ &\geq \Delta_I(J). \end{aligned} \tag{6.27}$$

Отже, алгоритм Шилда й Фрідмана реалізується наступними кроками:

Крок 1. Спочатку проводиться впорядкування відповідно до відношення t/u .

Крок 2. В отриманій послідовності перебуває *перша* робота така, для якої $F_i < a_i$, тобто робота не має запізнювання.

Крок 3. Послідовно оцінюється величина $\Delta'_I(k)$ для k робіт, що розташовані за першою роботою, тобто для $k=2,3,\dots$. Якщо для деякого k виявиться, що $\Delta'_I(k) < 0$, то робота k розташовується безпосередньо перед роботою I .

Кроки 2 і 3 повторюються доти, поки вони приводять до змін.

Хоча описаний алгоритм часто поліпшує впорядкування, однак він не гарантує оптимуму, як це впливає з наступного прикладу.

Приклад. Нехай є система трьох робіт (табл. 6.9).

Таблиця 6.9

Робота i	1	2	3
t_i	1	3	7
u_i	2	5	11
$a_i=d_i$	6	5	10

Упорядкування (2,1,3), зроблене відповідно до планових строків і представлене в табл. 6.10, не забезпечує своєчасного виконання всіх робіт.

Критерії розкладу рівні: $Z_1 = 0$, $Z_2 = 0$, $Z_3 = 1$, $Z_u = 11$.

Переупорядкуємо роботи зі зростання відносини t/u .

Результати представлені в табл. 6.11.

Таблиця 6.10

<i>Робота i</i>	2	1	3
<i>t_i</i>	3	1	7
<i>F_i</i>	3	4	11
<i>a_i=d_i</i>	5	6	10
<i>u_i</i>	5	2	11
<i>Z_i</i>	0	0	1

Таблиця 6.11

<i>Робота i</i>	1	2	3
<i>t_i</i>	1	3	7
<i>u_i</i>	2	5	11
<i>F_i</i>	1	4	11
<i>a_i=d_i</i>	6	5	10
<i>Z_i</i>	0	0	1

$$Z_1 = 0, \quad Z_2 = 0, \quad Z_3 = 1, \quad Z_u = 11$$

При впорядкуванні (1,2,3), відповідному до мінімуму відносини t/u не всі роботи запізнюються, значить можна застосувати алгоритм Шилда й Фрідмана.

$$\Delta'_1(3) = 7(2+5) - 2 \cdot 5 - 11(1+3) + 11 \cdot 3 = 28 > 0,$$

$$\Delta'_2(3) = 7 \cdot 5 - 5 \cdot 1 - 11 \cdot 3 + 11 \cdot 2 = 19 > 0.$$

Як бачимо алгоритм Шилда й Фрідмана не дозволяє поліпшити розклад.

Однак кращий розклад (2,3,1) існує. Його характеристику наведено в таблиці 6.12.

Таблиця 6.12

<i>Робота i</i>	2	3	1
<i>t_i</i>	3	7	1
<i>u_i</i>	5	11	2
<i>F_i</i>	3	10	11
<i>a_i=d_i</i>	5	10	6
<i>Z_i</i>	0	0	5

Для цього розкладу сумарне запізнювання з урахуванням важливості робіт рівно $Z_u = Z_1 \cdot u_1 = 5 \cdot 2 = 10$.

Необхідно помітити, що недосконалість алгоритму Шилда й Фрідмана не пов'язана з використанням наближеного вираження $\Delta_I(k)$ для

$\Delta_I(k)$. Вона викликана неадекватністю способу попарного порівняння й використовуваного критерію оцінки.

Приклад. Нехай є система із чотирьох робіт, упорядкована по неубуванню t_i / u_i (табл. 6.13).

Таблиця 6.13

i	1	2	3	4
t_i	2	4	6	4
u_i	1	2	2	1
t_i / u_i	2	2	3	4
$a_i = d_i$	7	4	6	5
F_i	2	6	12	16
Z_i	0	2	6	11

Для цього розкладу одержуємо значення середнього запізнювання:

$$\bar{Z}_u = \frac{1}{4} (0 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 6 + 1 \cdot 11) = 27/4 = 6,75.$$

Застосуємо алгоритм Шилда й Фрідмана для поліпшення розкладу.

Ітерація 1.

Крок 1. Знаходимо першу роботу без запізнювання – $I=1$, для якої виконується умова $F_i < a_i$, тобто $2 < 7$.

Крок 2. Серед робіт $k=2,3,4$ послідовно оцінюємо величину $\Delta'_I(k)$, щоб знайти таку роботу, для якої $\Delta' \leq 0$. Тоді ця робота буде поставлена перед роботою (1).

Отже:

$$\Delta'_1(2) = t_2 u_1 - u_1 \min(t_2, a_1 - F_1) - u_2 t_1 + u_2 \max(a_2 - F_2', 0) =$$

$$4 \cdot (1 - 1) \cdot \min(4, 7 - 2) - 2 \cdot 2 + 2 \cdot \max(4 - 4, 0) = \frac{4}{0} - \frac{4}{4} = -4 < 0.$$

Підсумок обчислень по роботі (2): 0 - програш, 4 – виграш. Цю роботу потрібно поставити перед роботою (1).

$$\begin{aligned}\Delta_1'(3) &= t_3(u_1+u_2) - u_1 \min(t_3, a_1 - F_1) - u_3(t_1+t_2) + u_3 \max(a_3 - F_3', 0) = \\ &= 6(1+2) - 1 \cdot \min(6, 7-2) - 2(2+4) + 2 \cdot \max(6-6, 0) = \\ &= 18 - 5 - 12 + 0 = 1 > 0;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_1'(4) &= t_4(u_1+u_2+u_3) - u_1 \min(t_4, a_1 - F_1) - u_4(t_1+t_2+t_3) + u_4 \max(a_4 - F_4', 0) = \\ &= 4(1+2+2) - 1 \cdot \min(4, 5) - 1(2+4+6) + 1 \cdot \max(5-4, 0) = \\ &= 20 - 4 - 12 + 1 = 5 > 0.\end{aligned}$$

Обчислення по роботах (3) і (4) дали незадовільні результати – $\Delta'_I(k) > 0$.

Результати перестановки роботи (2) на перше місце й перерахування характеристик розкладу зведено в таблицю 6.14.

Таблиця 6.14

<i>“старі” номери робіт</i>	2	1	3	4
<i>“нові” порядкові номери робіт i</i>	1	2	3	4
<i>t_i</i>	4	2	6	4
<i>u_i</i>	2	1	2	1
<i>a_i = d_i</i>	4	7	6	5
<i>F_i</i>	4	6	12	16
<i>Z_i</i>	0	0	6	11

З таблиці 6.14 одержимо нове значення середньозваженого запізнювання: $Z_u = \frac{1}{4}(0 + 0 + 2 \cdot 6 + 1 \cdot 11) = \frac{23}{4} = 5,75$, яке менше попереднього.

Спробуємо поліпшити розклад пошуком нової перестановки.

Ітерація 2.

Крок 1. Знаходимо наступну незапізнілу роботу: $a_2 > F_2 \Rightarrow I = 2$.

Крок 2. Розрахуємо величини $\Delta'_I(k)$:

$$\begin{aligned}
\Delta_I'(3) &= t_3 u_2 - u_2 \min(t_3, a_2 - F_2) - u_3 t_2 + u_3 \max(a_3 - F_3', 0) = \\
&= 6 \cdot 1 - 1 \cdot \min(6, 1) - 2 \cdot 2 + 2 \cdot \max(6 - 10, 0) = \\
&= \underbrace{6}_5 - 1 - \underbrace{4}_4 + 0 = 1 > 0
\end{aligned}$$

(5 – програш, 4 – виграш).

$$\begin{aligned}
\Delta_I'(4) &= t_4 (u_2 + u_3) - u_2 \min(t_4, a_2 - F_2) - u_4 (t_2 + t_3) + u_4 \max(a_4 - F_4', 0) = \\
&= 4 \cdot (1 + 2) - 1 \cdot \min(4, 7 - 6) - 1 \cdot (1 + 2) + 1 \cdot \max(5 - 8, 0) = \\
&= 12 - 1 - 3 + 0 = 8 > 0
\end{aligned}$$

Відповідно отриманим для Δ' значенням, попарних перестановок, що поліпшують розклад, більше немає. Отже, розклад $S(2, 1, 3, 4)$ є кращим.

7 МЕТОДОЛОГІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ

7.1 Загальні відомості про методологію функціонального моделювання

У цей час існує проблема підвищення ефективності виробничо-технічних і організаційно-економічних систем (підприємств, організацій і їх підрозділів). Ця проблема обумовлює необхідність застосування спеціальних засобів опису й аналізу таких систем.

Для розв'язку цієї проблеми в США запропонували й реалізували Програму інтегрованої комп'ютеризації виробництва ICAM (**ICAM - Integrated Computer Aided Manufacturing**), спрямовану на підвищення ефективності промислових підприємств за допомогою широкого впровадження комп'ютерних (інформаційних) технологій.

Реалізація програми ICAM зажадала створення адекватних методів аналізу й проектування виробничих систем і способів обміну інформацією між фахівцями, що займаються такими проблемами. Для задоволення цієї потреби в рамках програми ICAM була розроблена методологія IDEF (**ICAM Definition**), яка дозволяє досліджувати структуру, параметри й характеристики виробничо-технічних і організаційно-економічних систем (надалі, там, де це не викликає непорозумінь – **систем**). Загальна методологія IDEF складається із трьох приватних методологій моделювання, заснованих на *графічній* виставі систем:

- **IDEF0** використовується для створення *функціональної моделі, що* відображає структуру й функції системи, а також потоки інформації й матеріальних об'єктів, що зв'язують ці функції.
- **IDEF1** застосовується для побудови *інформаційної моделі, що* відображає структуру й зміст інформаційних потоків, необхідних для підтримки функцій системи;
- **IDEF2** дозволяє побудувати *динамічну модель* мінливих у часі поведінки функцій, інформації й ресурсів системи.

До теперішнього часу найбільше поширення й застосування мають методології IDEF0 і IDEF1 (IDEF1X), що одержали в США статус федеральних стандартів.

Методологія IDEF0 заснована на підході, розробленому Дугласом Т. Россом на початку 70-х років XX ст., який одержав назву SADT (Structured Analysis & Design Technique – метод структурного аналізу й проектування). Основу цього підходу становить графічна мова опису (моделювання) систем, що володіє наступними властивостями.

- Графічна мова – повний і виразний засіб, здатний наочно представляти широкий спектр ділових, виробничих і інших процесів і операцій підприємства на будь-якому рівні деталізації.

- Мова забезпечує точний і лаконічний опис моделюємих об'єктів, зручність використання й інтерпретації цього опису.

- Мова полегшує взаємодія й взаєморозуміння системних аналітиків, розроблювачів і персоналу досліджуваного об'єкта (фірми, підприємства), тобто служить засобом «інформаційного спілкування» великої кількості фахівців і робочих груп, зайнятих в одному проекті, у процесі обговорення, рецензування, критики й твердження результатів.

- Мова пройшла багаторічну перевірку на практиці.

- Мова легка й проста у вивченні й освоєнні.

- Мова може генеруватися рядом інструментальних засобів машинної графіки, що підтримують розробку й аналіз моделей, наприклад, BPWin і Design/IDEF.

Перераховані властивості мови визначили вибір методології IDEF0 у якості базового засобу аналізу й синтезу виробничо-технічних і організаційно-економічних систем.

7.2 Концепція IDEF0

Методологія IDEF0 заснована на наступних концептуальних положеннях.

Модель – штучний об'єкт, що представляє собою відображення (образ) системи і її компонентів. Згідно [3], **М** моделює **А**, якщо **М** відповідає на запитання відносно **А**. Тут **М** – модель, **А** – моделюємих об'єкт (оригінал). Модель розробляють для розуміння, аналізу й прийняття розв'язків про реконструкцію (реінжиніринг) існуючої, або проектуванні нової системи.

Система являє собою сукупність взаємозалежних і взаємодіючих частин, що виконують деяку корисну роботу. Частинами (елементами) системи можуть бути будь-які комбінації різноманітних сутностей людей, що включають, інформацію, програмне забезпечення, устаткування, виробу, сировину або енергію (енергоносії). Модель описує, що відбувається в системі, як нею управляють, які сутності вона перетворює, які засоби використовує для виконання своїх функцій і що робить.

Блокове моделювання і його графічна вистава. Основний концептуальний принцип методології IDEF – вистава будь-якої досліджуваної системи у вигляді набору взаємодіючих і взаємозалежних блоків, що відображають процеси, операції, дії, які відбуваються в

досліджуваній системі. В IDEF0 усе, що відбувається в системі і її елементах, прийнято називати **функціями**. Кожній функції ставиться у відповідність **блок**. На **IDEF0-діаграмі**, основному документі при аналізі й проектуванні систем, блок являє собою прямокутник. Інтерфейси, за допомогою яких блок взаємодіє з іншими блоками або із зовнішнім стосовно моделюємої системі середовищем, представляються **стрілками, які** входять у блок або виходять з нього. Вхідні стрілки показують, які умови повинні бути одночасно виконані, щоб функція, описувана блоком, здійснилася.

Лаконічність і точність. Документація, що описує систему, повинна бути точною й лаконічною. Багатослівні характеристики, викладені у формі традиційних текстів, неприйнятні.

Передача інформації. Засоби IDEF0 полегшують передачу інформації від одного учасника розробки моделі (окремого розроблювача або робочої групи) до іншого. До таких засобів належать:

- діаграми, засновані на простій графіці блоків і стрілок, що легко читаються і розуміються;
- мітки природньою мовою для опису блоків і стрілок, а також глосарій і супровідний текст для уточнення змісту елементів діаграми;
- послідовна декомпозиція діаграм, що будується по ієрархічному принципу, при якому на верхньому рівні відображаються основні функції, а потім відбувається їхня деталізація й уточнення;
- деревоподібні схеми ієрархії діаграм і блоків, що забезпечують видимість моделі в цілому, а також її деталей.

Строгість і формалізм. Розробка моделей IDEF0 вимагає дотримання ряду строгих формальних правил, що забезпечують переваги методології відносно однозначності, точності й цілісності складних багаторівневих моделей. Ці правила описуються нижче. Тут відзначається тільки основне з них: усі стадії й етапи розробки й коректування моделі повинні строго, формально документуватися для того, щоб при її експлуатації не виникало питань, пов'язаних з неповнотою або некоректністю документації.

Ітеративне моделювання. Розробка моделі в IDEF0 являє собою покрокову, ітеративну процедуру. На кожному кроці ітерації розроблювач пропонує варіант моделі, який піддають обговоренню, рецензуванню й наступному редагуванню, після чого цикл повторюється. Така організація роботи сприяє оптимальному використанню знань системного аналітика, що володіє методологією й технікою IDEF0, і знань фахівців – експертів у предметній області, до якої ставиться об'єкт моделювання.

Відділення «організації» від «функцій». При розробці моделей слід уникати споконвічної «прив'язки» функцій досліджуваної системи до

існуючої організаційної структури об'єкта (підприємства, фірми). Це допомагає уникнути суб'єктивної точки зору, нав'язаною організацією і її керівництвом. Організаційна структура повинна з'явитися результатом використання (застосування) моделі. Порівняння результату з існуючою структурою дозволяє, по-перше, оцінити адекватність моделі, по-друге, запропонувати розв'язки, спрямовані на вдосконалювання цієї структури.

7.3 Основні визначення (поняття) методології й мови IDEF0

Блок: прямокутник, що містить ім'я й номер і використовується для опису функції.

Розгалуження: поділ стрілки на два або більше число сегментів. Може означати «розв'язання пучка».

Внутрішня стрілка: вхідна, що управляє або вихідна стрілка, кінці якої зв'язують джерело й споживача, який є другим блоком однієї діаграми. Відрізняється від граничної стрілки.

Вхідна стрілка: клас стрілок, які відображають вхід IDEF0-блоку, тобто дані або матеріальні об'єкти, які перетворюються функцією у вихід. Вхідні стрілки зв'язуються з лівою стороною блоку IDEF0.

Вихідна стрілка: клас стрілок, які відображають вихід IDEF0-блоку, тобто дані або матеріальні об'єкти, зроблені функцією. Вихідні стрілки зв'язуються із правою стороною блоку IDEF0.

Глосарій: список визначень для ключових слів, фраз і аббревіатур, пов'язаних з вузлами, блоками, стрілками або з моделлю IDEF0 у цілому.

Гранична стрілка: стрілка, один з кінців якої пов'язаний із джерелом або споживачем, а інший не приєднаний ні до якого блоку на діаграмі. Відображає зв'язок діаграми з іншими блоками системи й відрізняється від внутрішньої стрілки.

Декомпозиція: поділ моделюємої функції на компоненти.

Дерево вузлів: вистава відносин між батьківськими й дочірніми вузлами моделі IDEF0 у формі деревоподібного графа. Має те ж значення й зміст, що й перелік вузлів.

Діаграма А-0: спеціальний вид контекстної діаграми IDEF0, що полягає з одного блоку, який описує функцію верхнього рівня, її входи, виходи, керування, і механізми, разом з формулюваннями мети моделі й точки зору, з якої будується модель.

Діаграма: частина моделі, що описує декомпозицію блоку.

Діаграма-ілюстрація (FEO): графічний опис, використовується, для повідомлення специфічних фактів про діаграму IDEF0. При побудові діаграм FEO можна не дотримуватися правил IDEF0.

Дочірній блок: блок на дочірній (породженій) діаграмі.

Дочірня діаграма: діаграма, що деталізує батьківський (що породжує) блок.

Ім'я блоку: дієслово або дієслівний оберток, поміщений усередині блоку, який описує моделюєму функцію.

Інтерфейс: поділяюча границя, через яку проходять дані або матеріальні об'єкти; з'єднання між двома або більшим числом компонентів моделі, що передає дані або матеріальні об'єкти від одного компонента до іншого.

Код ICOM: аббревіатура (**I**nput – вхід, **C**ontrol – керування, **O**utput – вихід, **M**echanism – механізм), код, що забезпечує відповідність граничних стрілок дочірньої діаграми зі стрілками батьківського блоку; використовується для посилань.

Контекст: навколишнє середовище, у якому діє функція (або комплект функцій на діаграмі).

Контекстна діаграма: діаграма, що має вузловий номер A-n ($n \geq 0$), яка представляє контекст моделі, Діаграма A-0, що полягає з одного блоку, є необхідною (обов'язковою) контекстною діаграмою; діаграми з вузловими номерами A-1, A-2,... – додаткові контекстні діаграми.

Мітка стрілки: іменник або оберток іменника, зв'язаний зі стрілкою або сегментом стрілки, який визначає їхнє значення.

Модель IDEF0: графічний опис системи, розроблений з певною метою й з обраної точки зору. Комплект однієї або декількох діаграм IDEF0, які зображують функції системи за допомогою графіки, тексту й глосарія.

Зв'язування/розв'язання: об'єднання значень стрілок у складене значення (зв'язування в «пучок»), або поділ значень стрілок (розв'язання «пучка»), виражені синтаксисом злиття або розгалуження стрілок.

Сегмент стрілки: сегмент лінії, який починається або закінчується на стороні блоку, у точці розгалуження або злиття, або на границі (незв'язаний кінець стрілки).

Семантика: значення синтаксичних компонентів мови.

Синтаксис: Структурні компоненти або характеристики мови й правила, які визначають відносини між ними.

Злиття: об'єднання двох або більшого числа сегментів стрілок в один сегмент. Може означати «розв'язання пучка».

Стрілка: спрямована лінія, що полягає з одного або декількох сегментів, яка моделює відкритий канал або канал, що передає дані або матеріальні об'єкти від джерела (початкова точка стрілки), до споживача (кінцева точка з «наконечником»). Існує 4 класи стрілок: вхідна стрілка, вихідна стрілка, управляюча стрілка, стрілка механізму (включає стрілку виклику).

Стрілка виклику: вид стрілки механізму, який позначає обіг із блоку даної моделі (або частини моделі) до блоку іншої моделі (або іншої частини тієї ж моделі) і забезпечує зв'язок між моделями або між різними частинами однієї моделі.

Стрілка механізму: клас стрілок, які відображають механізми ПЖРО, тобто засоби, використовувані для виконання функції; включає спеціальний

випадок стрілки виклику. Стрілки механізмів зв'язуються з нижньою стороною блоку IDEF0.

Стрілка, поміщена в тунель (тунельна стрілка): стрілка (зі спеціальною нотацією), що не задовольняє звичайній вимозі, згідно з якою кожна стрілка на дочірній діаграмі повинна відповідати стрілкам на батьківській діаграмі.

Текст: будь-який текстовий (не графічний) коментар до графічної діаграми IDEF0.

Тильда: невелика ламана (хвиляста) лінія, використовується для з'єднання мітки з конкретним сегментом стрілки або примітки моделі з компонентом діаграми.

Точка зору: вказівка на посадову особу або підрозділ організації, з позиції якого розробляється модель

Вузол: блок, що породжує дочірні блоки; батьківський блок.

Вузлове посилання: код, привласнений діаграмі, для її ідентифікації й визначення положення в ієрархії моделі; формується зі скороченого імені моделі й вузлового номера діаграми з додатковими розширеннями.

Вузловий номер діаграми: частина вузлового посилання діаграми, яке відповідає номеру батьківського блоку.

Керуюча стрілка: клас стрілок, які в IDEF0 відображають керування, тобто умови, при виконанні яких вихід блоку буде правильним. Дані або об'єкти, які моделюються як керування, можуть перетворюватися функцією, що створює відповідний вихід. Керуючі стрілки зв'язуються з верхньою стороною блоку IDEF0.

Функція: діяльність, процес або перетворення, що позначаються дієсловом або дієслівною формою, яка описує, що повинне бути виконане.

Ціль: коротке формулювання причини створення моделі.

7.4 Синтаксис графічної мови IDEF0

Набір структурних компонентів мови, їх характеристики й правила, що визначають зв'язки між компонентами, являють собою синтаксис мови. Компоненти синтаксису: IDEF0-блоки, стрілки, діаграми й правила. Блоки представляють функції, обумовлені як діяльність, процес, операція, дія або перетворення. Стрілки представляють дані або матеріальні об'єкти, пов'язані з функціями. Правила визначають, як слід застосовувати компоненти, а діаграми забезпечують формат графічного й словесного опису моделей. Формат утворює основу для керування конфігурацією моделі.

Блок.

Блок описує функцію. Типовий блок показано на рисунку 7.1.

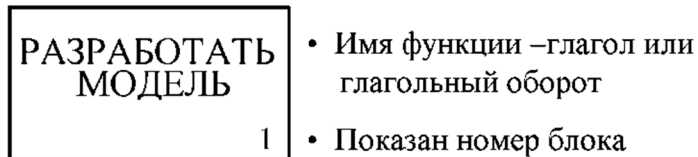


Рисунок 7.1 – Представлення блоку у графічній нотації

Розміри блоків повинні бути достатніми для того, щоб вмістити ім'я блоку. Блоки повинні бути прямокутними й повинні бути зображені суцільними лініями.

Стрілка

Стрілка формується з одного або більш відрізків прямих і наконечника на одному кінці. Як показано на рисунку 7.2, сегменти стрілок можуть бути прямими або ламаними; в останньому випадку горизонтальні й вертикальні відрізки стрілки сполучаються дугами, що мають кут 90° . Стрілки *не представляють потік або послідовність подій*, як у традиційних блок-схемах потоків або процесів. Вони лише показують, які дані або матеріальні об'єкти повинні надійти на вхід функції для того, щоб ця функція могла виконуватися.

Стрілки повинні бути зображені суцільними лініями рівної товщини. Вони можуть полягати тільки з вертикальних або горизонтальних відрізків; відрізки, стрілки, спрямовані по діагоналі, не допускаються. Кінці стрілок повинні стосуватися зовнішньої границі функціонального блоку, але не повинні перетинати її.

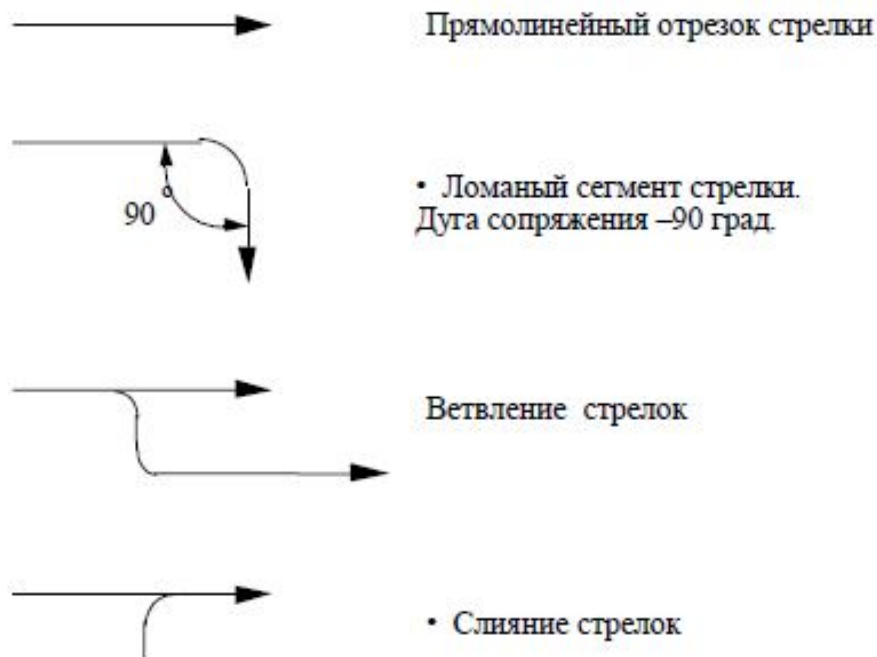


Рисунок 7.2 – Синтаксис стрілок

7.5 Семантика мови IDEF0

Семантика визначає зміст (значення) синтаксичних компонентів мови й сприяє правильності їх інтерпретації. Інтерпретація встановлює відповідність між блоками й стрілками з однієї сторони й функціями і їх інтерфейсами – з іншої.

Семантика блоків і стрілок

Оскільки IDEF0 є методологія функціонального моделювання, ім'я блоку, що описує функцію, повинне бути дієсловом або дієслівним обертом; наприклад, ім'я блоку "Виконати перевірку", означає, що блок з таким іменем перетворює неперевірені деталі в перевірені. Після присвоювання блоку імені до відповідних його сторін приєднуються вхідні, вихідні й керуючі стрілки, а також стрілки механізму, що й визначає наочність і виразність зображення блоку IDEF0.

Кожна сторона функціонального блоку має стандартне значення з погляду зв'язків блок–стрілки, У свою чергу, сторона блоку, до якої приєднана стрілка, однозначно визначає її роль.

Стрілки, що входять у ліву сторону блоку – це входи. Входи перетворюються функцією, щоб створити те, що з'явиться на її виході.

Стрілки, що входять у блок зверху – це керування. Керування визначають умови, необхідні функції, щоб зробити правильний вихід.

Стрілки, що залишають блок праворуч – це виходи, тобто дані або матеріальні об'єкти, зроблені функцією.

Стрілки, підключені до нижньої сторони блоку, представляють механізми. Стрілки, спрямовані нагору, ідентифікують засоби, що підтримують виконання функції. Деякі засоби можуть успадковуватися з батьківського блоку. Стрілки механізму, спрямовані вниз, є стрілками виклику. Стрілки **виклику** позначають обіг з даної моделі або з даної частини моделі до блоку, що входить до складу іншої моделі або іншої частини моделі, забезпечуючи їх зв'язок, тобто різні моделі або різні частини однієї й тієї ж моделі можуть спільно використовувати той самий елемент (блок). Стандартне розташування стрілок показано на рисунку 7.3.

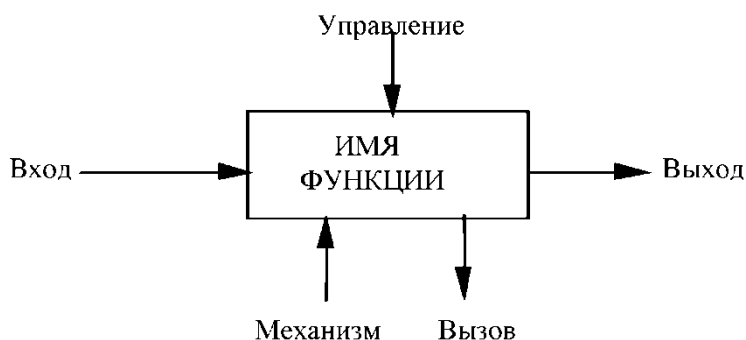


Рисунок 7.3 – Стандартне розташування стрілок

Імена й мітки

Приклади іменування функцій:

- виготовити деталі;
- планувати ресурси;
- спостерігати;
- спостерігати за виконанням;
- проектувати систему;
- розробити детальні креслення;
- виготовити компонент;
- перевіряти деталь.

Стрілки ідентифікують дані або матеріальні об'єкти, необхідні для виконання функції або вироблені нею. Кожна стрілка повинна бути позначена іменником або обертом іменника, наприклад:

- специфікації;
- звіт про випробування;
- конструкторські вимоги;
- конструкція деталі;
- директива;
- інженер-конструктор;
- плата в зборі;
- вимоги.

Приклад розміщення міток стрілець показано на рисунку 7.4.

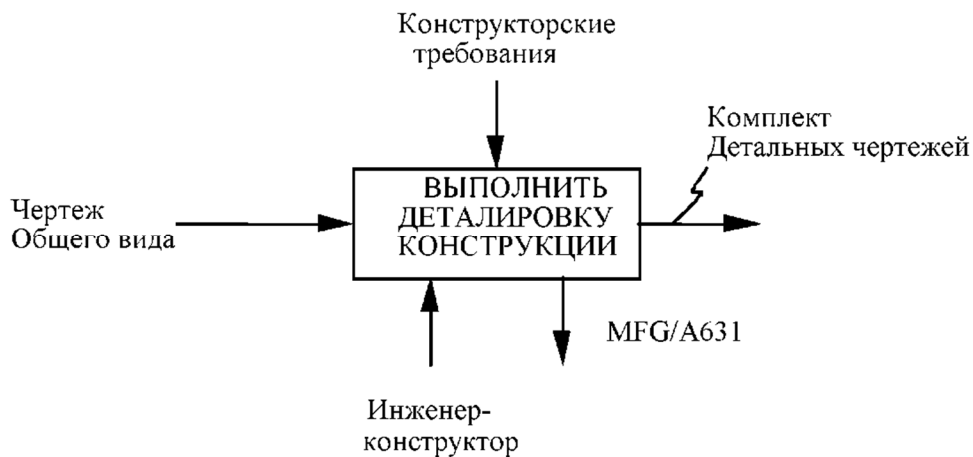


Рисунок 7.4 – Приклад розміщення міток стрілок

Семантичні правила блоків і стрілок

Ім'я блоку повинне бути активним дієсловом або дієслівним обертом.

Кожна сторона функціонального блоку повинна мати стандартне відношення блок/стрілки.

Сегменти стрілок, за винятком стрілок виклику, повинні позначатися іменником або обертом іменника.

Щоб зв'язати стрілку з міткою, слід використовувати "тильду" (~).

У мітках стрілок не повинні використовуватися наступні терміни: *функція, вхід, керування, вихід, механізм, виклик*.

Діаграми IDEF0

IDEF0-моделі складаються із трьох типів документів: графічних діаграм, тексту й глосарія. Ці документи мають перехресні посилання один на одного. Графічна діаграма – головний компонент IDEF0-моделі, що містить блоки, стрілки, з'єднання блоків і стрілок і асоційовані з ними відносини. Блоки представляють основні функції моделюемого об'єкта. Ці функції можуть бути розбиті на складові частини й представлені у вигляді більш докладних діаграм; процес декомпозиції триває доти, поки об'єкт не буде описаний на рівні деталізації, необхідному для досягнення цілей конкретного проекту. Діаграма верхнього рівня забезпечує найбільш загальний або абстрактний опис об'єкта моделювання. За цією діаграмою впливає серія дочірніх діаграм, що дають більш детальну виставу про об'єкт.

Контекстна діаграма верхнього рівня

Кожна модель повинна мати контекстну діаграму верхнього рівня, на якій об'єкт моделювання представлений єдиним блоком із граничними стрілками. Ця діаграма називається А-0. Стрілки на цій діаграмі відображають зв'язки об'єкта моделювання з навколишнім середовищем. Оскільки єдиний блок представляє весь об'єкт, його ім'я – загальне для всього проекту. Це ж справедливо й для всіх стрілок діаграми, оскільки вони представляють повний комплект зовнішніх інтерфейсів об'єкта. Діаграма А-0 установлює область моделювання і її границю. Приклад діаграми А-0 показано на рисунку 7.5.

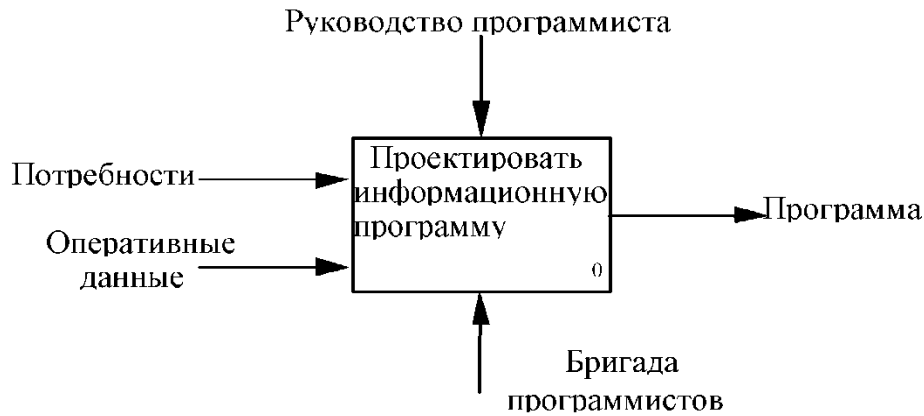
Дочірня діаграма

Єдина функція, представлена на контекстній діаграмі верхнього рівня, може бути розкладена на основні підфункції за допомогою створення дочірньої діаграми. У свою чергу, кожна із цих підфункцій може бути розкладена на складові частини за допомогою створення дочірньої діаграми наступного, більш низького рівня, на якій деякі або всі функції також можуть бути розкладені на складові частини. Кожна дочірня діаграма містить дочірні блоки й стрілки, що забезпечують додаткову деталізацію батьківського блоку.

Дочірня діаграма, створювана при декомпозиції, охоплює ту ж область, що й батьківський блок, але описує її більш докладно. Таким чином, дочірня діаграма як би вкладена у свій батьківський блок. Ця структура ілюструється рисунком 7.6.

Батьківська діаграма

Батьківська діаграма містить один або більш батьківських блоків. Кожна звичайна (неконтекстна) діаграма є дочірньою діаграмою, оскільки, по визначенню, вона докладно описує деякий батьківський блок.



ЦЕЛЬ: оценка трудоемкости, планирование, организация информационного потока, определение функций менеджера проекта

ТОЧКА ЗРЕНИЯ: Служба информационной интеграции

Рисунок 7.5 – Пример диаграммы А-0

Таким чином, будь-яка діаграма може бути як батьківською діаграмою (містити батьківські блоки), так і дочірньою (докладно описувати власний батьківський блок). Аналогічно, блок може бути як батьківським (докладно описуватися дочірньою діаграмою) так і дочірнім.

7.6 Правила побудови діаграм

У складі моделі повинна бути присутня контекстна діаграма А-0, яка містить тільки один блок. Номер єдиного блоку на контекстній діаграмі повинен бути А-0.

Блоки на діаграмі повинні розташовуватися по діагоналі – від лівого верхнього кута діаграми до правого нижнього в порядку привласнених номерів. Блоки на діаграмі, розташовані вгорі ліворуч «домінують» над блоками, розташованими внизу праворуч. «Домінування» розуміється як вплив, який блок виявляє на інші блоки діаграми. Розташування блоків на аркуші діаграми відбиває авторське розуміння домінування. Таким чином, топологія діаграми показує, які функції впливають на інші.

Неконтекстні діаграми повинні містити не менш трьох і не більш шести блоків. Ці обмеження підтримують складність діаграм на рівні, доступному для читання, розуміння й використання.

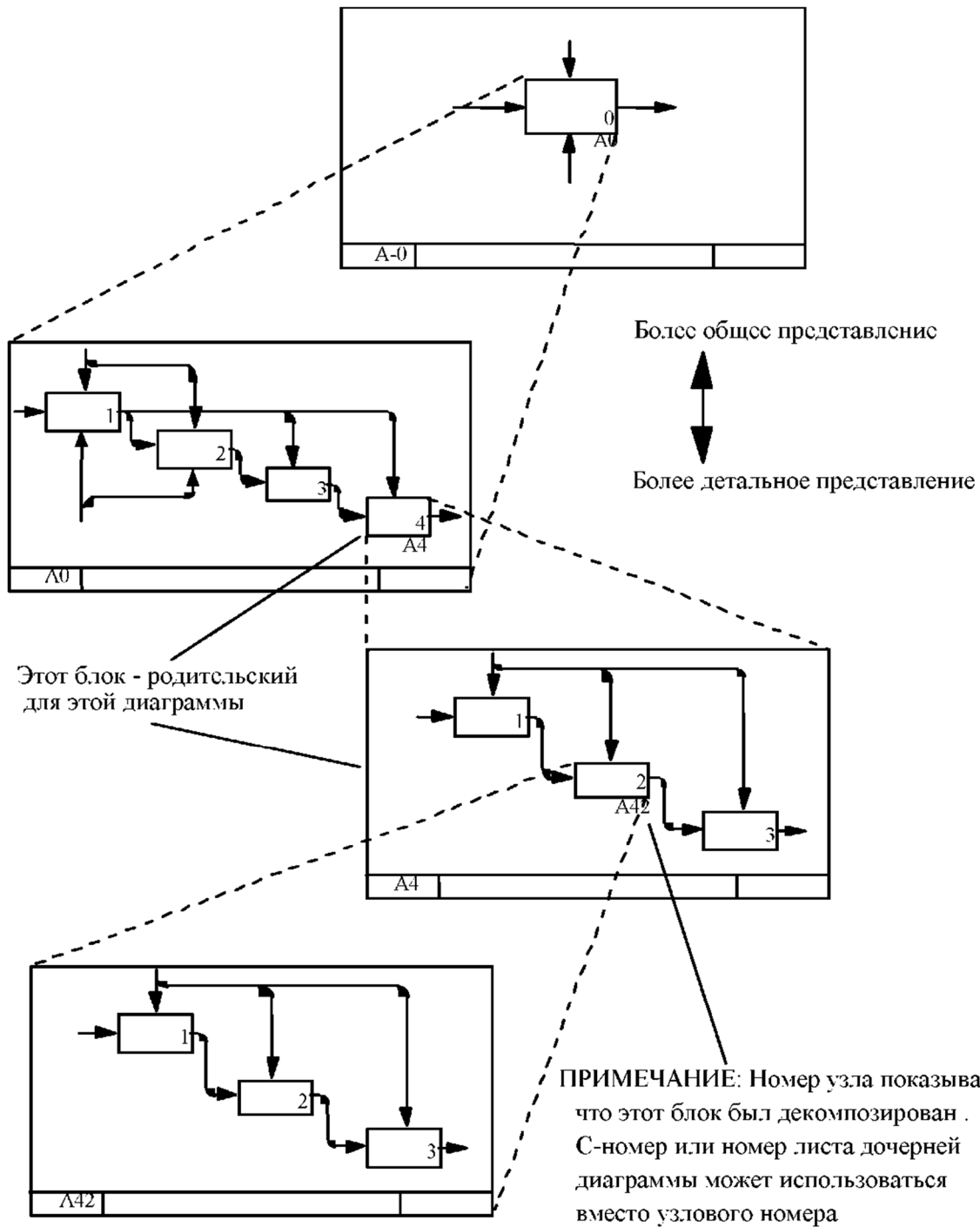


Рисунок 7.6 – Иллюстрация структуры диаграм

Діаграми з кількістю блоків менш трьох викликають серйозні сумніви в необхідності декомпозиції батьківської функції. Діаграми з кількістю блоків більш шести складні для сприйняття читачами й викликають в автора труднощі при внесенні в неї всіх необхідних графічних об'єктів і міток.

Кожний блок неконтекстної діаграми одержує номер, що міститься в правому нижньому куті; порядок нумерації – від верхнього лівого до нижнього правого блоку (номера від 1 до 6).

Кожний блок, підданий декомпозиції, повинен мати посилання на дочірню діаграму; посилання (наприклад, вузловий номер, С-номер або номер сторінки) міститься під правим нижнім кутом блоку.

Імена блоків (виконуваних функцій) і мітки стрілок повинні бути унікальними. Якщо мітки стрілок збігаються, це значить, що стрілки відображають тотожні дані.

При наявності стрілок зі складною топологією доцільно повторити мітку для зручності її ідентифікації.

Слід забезпечити максимальну відстань між блоками й поворотами стрілок, а також між блоками й перетинаннями стрілок для полегшення читання діаграми. Одночасно зменшується ймовірність переплутати дві різні стрілки.

Блоки завжди повинні мати хоча б одну керуючу й одну вихідну стрілку, але можуть не мати вхідних стрілок.

Якщо ті самі дані служать і для керування, і для входу, показуються тільки стрілка керування. Цим підкреслюється керуючий характер даних і зменшується складність діаграми.

Максимально збільшена відстань між паралельними стрілками полегшує розміщення міток, їхнє читання й дозволяє простежити шляхи стрілок. Ця умова ілюструється рисунком 7.7.

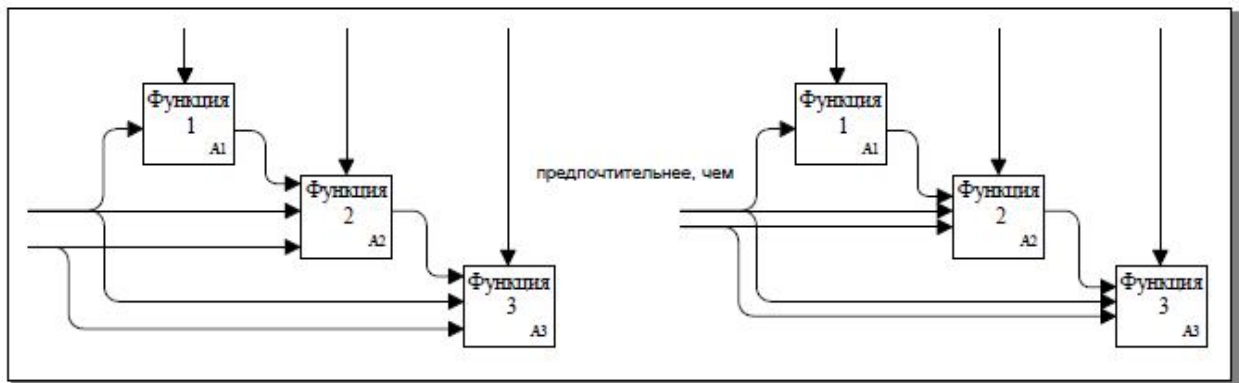


Рисунок 7.7 – Рознесення стрілок на діаграмі

Слід застосовувати злиття стрілок, якщо вони представляють подібні дані і їх джерело не зазначене на діаграмі (рис. 7.8).

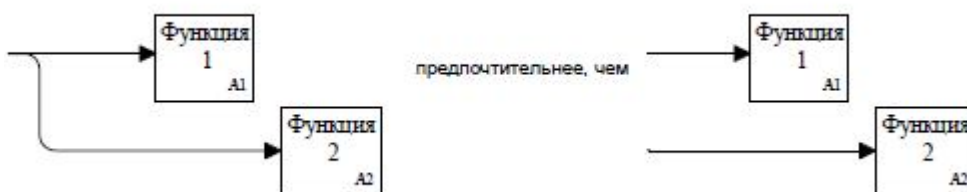


Рисунок 7.8 – Злиття стрілок з однаковими даними

Зворотні зв'язки по керуванню повинні бути показані як "нагору й над" (рис. 7.9, а). Зворотні зв'язки по входу повинні бути показані як "униз і під" (мал. 7.9,б). Так само показуються зворотні зв'язки по механізму (мал. 7.9,в).

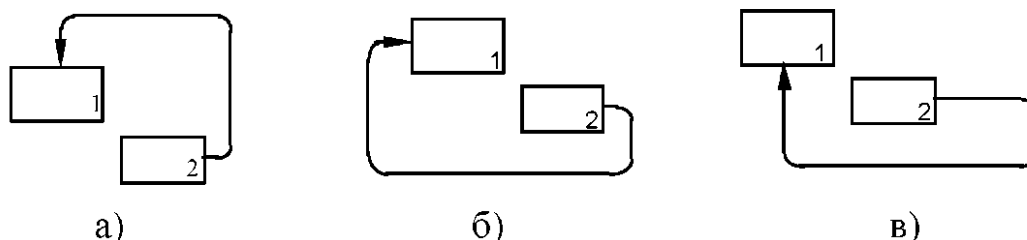


Рисунок 7.9 – Вказівка зворотних зв'язків на діаграмах

Стрілки поєднуються, якщо вони мають загальне джерело або приймач, або вони представляють зв'язані дані. Загальна назва краще описує суть даних. Слід мінімізувати число стрілок, що стосуються кожної сторони блоку, якщо, звичайно, природа даних не занадто різномірна (рис. 7.10).

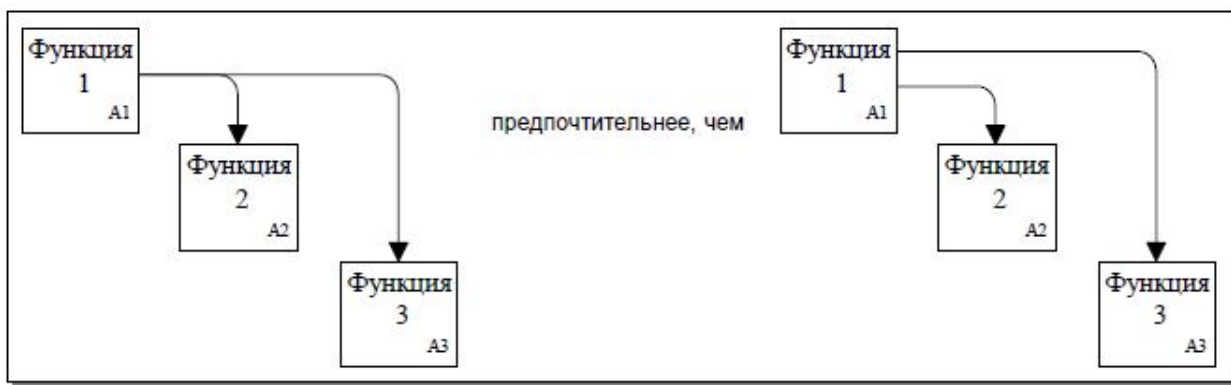


Рисунок 7.10 – Об'єднання стрілок

При з'єднанні великої кількості блоків необхідно уникати необов'язкових перетинань стрілок. Слід мінімізувати число петель і поворотів кожної стрілки.

Номера блоків

Кожному блоку на діаграмі привласнюється номер, що міститься в нижньому правому внутрішньому куті блоку. Ця система нумерації необхідна для однозначної ідентифікації блоків у межах діаграми й для генерації вузлових номерів. Ці номери використовуються також для посилань на блоки в тексті й глосарії.

Перелік вузлів

Перелік вузлів представляє інформацію про вузли, що входять у модель, у формі списку, що й відбиває ієрархічну структуру моделі, наприклад:

- A0 Виготовити продукт;
- A1 Планувати виробництво;
- A11 Вибрати технологію виробництва;
- A12 Оцінити необхідний час і витрати на виробництво;
- A13 Розробити виробничі плани;
- A14 Розробити план допоміжних дій;

- A2 Розробляти й управляти графіком випуску й ресурсами;
- A21 Розробити основний графік;
- A22 Розробити графік координації робіт;
- A23 Оцінювати витрати й здобувати ресурси;
- A24 Стежити за виконанням графіка й витратою ресурсів;

- A3 Планувати випуск продукції.

Дерево вузлів

Розроблена модель IDEF0 із всіма рівнями структурної декомпозиції може бути представлена на єдиній діаграмі у вигляді дерева вузлів, що доповнює перелік вузлів. Для зображення цього дерева немає стандартного формату. Єдина вимога полягає в тому, що вся ієрархія вузлів моделі повинна бути представлена наочно й зрозуміло. Приклад дерева вузлів показано на рисунку 7.11.

7.7 Методика розробки функціональних моделей у середовищі IDEF0

У попередніх розділах описані інструментальні можливості методології IDEF0 як засобу функціонального моделювання виробничо-технічних і організаційно-економічних систем. Далі коротко викладаються деякі методичні приймання побудови моделей, що полегшують практичне застосування цієї методології.

Об'єктами функціонального моделювання й структурного аналізу по методології IDEF0 є організаційно-економічні й виробничо-технічні системи. Згідно з основними положеннями системного аналізу й системотехніки **системою** називається сукупність взаємодіючих об'єктів різної природи, що володіє вираженою системною властивістю, тобто властивістю, якого не має жодна із частин системи при будь-якому способі членування, і не виведеним із властивостей частин.

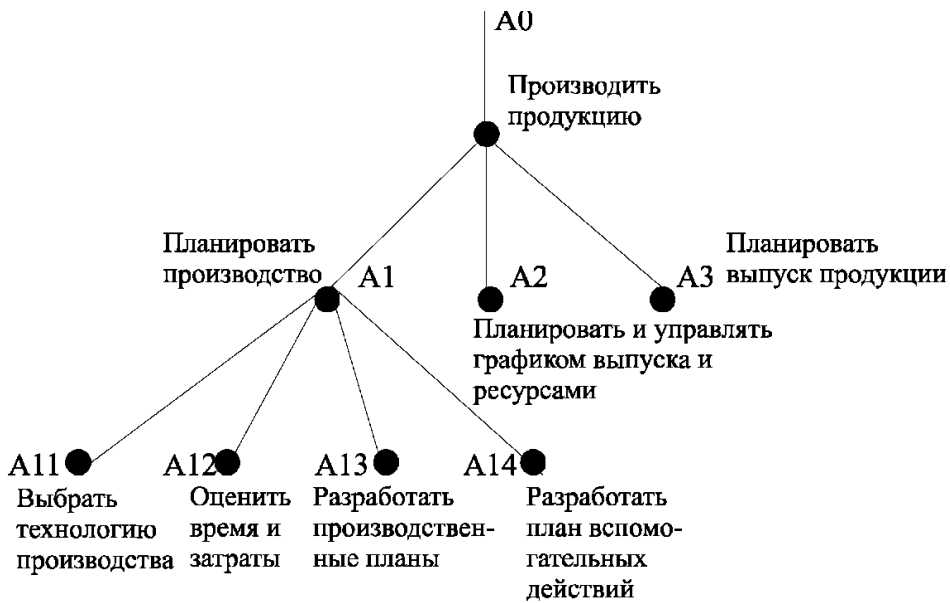


Рисунок 7.11 – Приклад представлення дерева вузлів

Загальні положення

Частини системи, що володіють власними системними властивостями, називаються підсистемами. Об'єднання декількох систем, що володіє системною властивістю, називають надсистемою або системою більш високого (2-го, 3-го і т.д.) порядку. Елементом системи є об'єкт із однозначно певними відомими властивостями, що впливають із фізичних або економічних законів.

Системи (підсистеми, елементи) мають входи й виходи. Входом називається дискретну або безперервну множину «контактів», через які вплив середовища передається системі. Вихід – множина «контактів», через які система впливає на середовище. Будь-який елемент системи має, принаймні, один вхід і один вихід. Вплив може полягати в передачі речовини, енергії, інформації або комбінації цих сутностей.

Наведені визначення кореспондуються з визначенням функціонального блоку IDEF0 з тою лише різницею, що в методології вхідні контакти підрозділяються на власно входи й керування.

Функціональний блок, що відображає моделюєму систему в цілому (блок A0), так і блок на будь-якому рівні декомпозиції є перетворюючими блоками.

Перетворюючий блок – блок IDEF0-діаграми, що перетворить входи у виходи під дією керувань за допомогою «механізмів». Перетворення – це ціль і результат роботи будь-якого блоку на діаграмі будь-якого рівня декомпозиції. Перетворенню в блоці можуть зазнати матеріальні й інформаційні об'єкти, що утворюють відповідні потоки.

Матеріальний потік – це безперервна або дискретна множина матеріальних об'єктів, розподілених в часі.

Інформаційний потік – це множина інформаційних об'єктів, розподілених в часі.

Інформація, що бере участь у процесах, операціях, діях і діяльності в цілому, може бути класифікована на три групи: *обмежувальна інформація*; *описова інформація*; керуюча інформація.

Обмежувальна інформація – це відомості про те, *чого не можна робити*:

а) ніколи, ні за яких умов (крім, можливо, форсмажорних) у будь-якій фазі й на будь-якому етапі функціонування системи в цілому;

б) у рамках функціонування конкретного блоку.

Обмежувальна інформація втримується в законах, підзаконних актах, міжнародних, державних і галузевих стандартах, а також у спеціальних внутрішніх становищах і документах підприємства, зокрема, у технічних вимогах, умовах, регламентах і т.д.

Описова інформація – це відомості про атрибути об'єкта (потіку) перетвореного функціональним блоком. Утримується в кресленнях, технічних і інших описах, реквізитах і інших документах, будучи невід'ємним компонентом об'єкта протягом усього життєвого циклу. Ця інформація сама перетворюється (змінюється) у результаті виконання функції.

Керуюча) інформація – це відомості про те, *як, при яких умовах і за якими правилами* слід перетворити об'єкт (потік) на вході в об'єкт (потік) на виході блоку. Утримується в технологічних (у широкому змісті) інструкціях, а також в керівництвах, документах, що визначають «настроювання» і характеристики блоку.

Схематичне зображення зв'язків перетворюючого блоку відповідно до угод системи IDEF0 показано на рисунку 7.12.

Обмежувальна інформація зображується стрілками, що приєднуються до блоку на стороні керування, а описова інформація надходить на вхід блоку й формується на його виході, відображаючись стрілками входу й виходу відповідно.

Матеріальний потік, що описує його інформаційний потік, скрізь, де це не викликає непорозумінь, можна зображувати однією стрілкою.

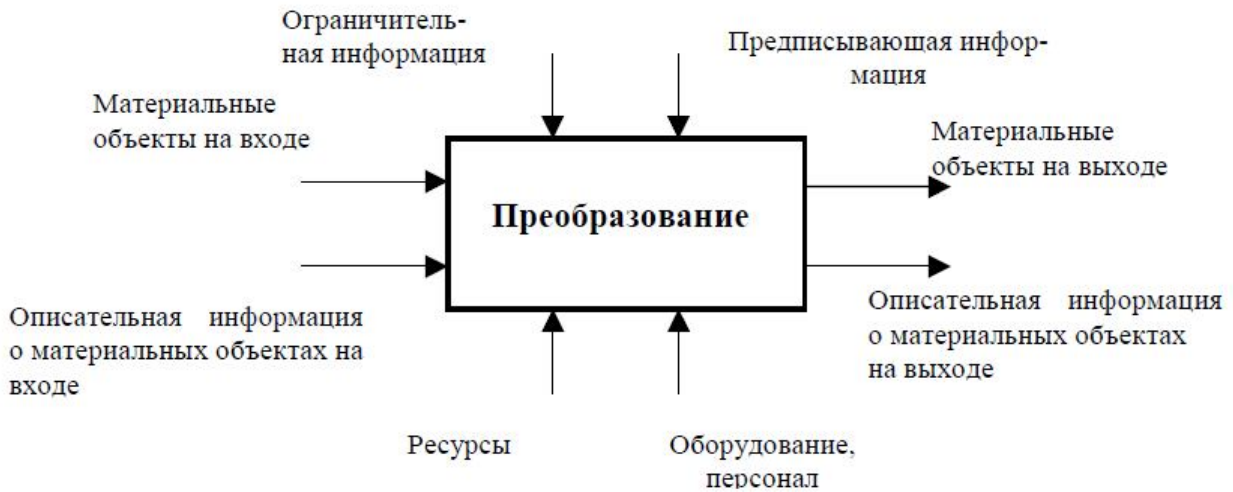


Рисунок 7.12 – Схема зв'язків перетворюючого блоку

7.8 Класифікація функцій, моделюємих блоками IDEF0

Однакова вистава явищ і подій реального миру, що відбуваються в моделюємих системах, у вигляді функціональних блоків є великою перевагою графічної мови IDEF0. Разом з тим, практика побудови моделей вимагає введення класифікації явищ і подій з метою полегшення побудови й інтерпретації (розуміння) функціональних моделей. Така класифікація полегшує вибір глибини декомпозиції моделюємих систем і сприяє виробітку однакових підходів і приймань моделювання в конкретних предметних областях.

Основні види функцій

1. Діяльність (синоніми: *справа, бізнес*) – сукупність **процесів**, виконуваних послідовно або/і паралельно, що перетворюють безліч матеріальних або/і інформаційних потоків у безліч матеріальних або/і інформаційних потоків з іншими властивостями. Діяльність здійснюється відповідно до заздалегідь певної **мети** зі споживанням фінансових, енергетичних, трудових і матеріальних **ресурсів**, при виконанні **обмежень** із боку зовнішнього середовища.

У моделі **IDEF0** діяльність описується блоком A0 на основній контекстній діаграмі A-0.

2. Процес (синонім: *бізнес-процес*) – сукупність послідовно або/і паралельно виконуваних **операцій**, що перетворюють матеріальний або/і інформаційний потоки у відповідні потоки з іншими властивостями. Процес протікає відповідно до керуючих **директив**, вироблюваних на основі **цілей діяльності**. У ході процесу споживаються фінансові, енергетичні, трудові й матеріальні **ресурси** й виконуються **обмеження** з боку інших процесів і зовнішнього середовища.

3. Операція – сукупність послідовно або/і паралельно виконуваних дій, що перетворюють об'єкти, які входять до складу матеріального або/і інформаційного потоку, у відповідні об'єкти з іншими властивостями. Операція виконується:

а) відповідно до **директив**, що визначають умови протікання процесу, до складу якого входить операція;

б) зі споживанням усіх видів потрібних **ресурсів**;

в) з дотриманням обмежень із боку інших операцій і зовнішнього середовища.

4. Дія – перетворення якої-небудь властивості матеріального або інформаційного об'єкта в іншу властивість. Дія виконується відповідно до **команди**, що є частиною **директиви** на виконання операції, зі споживанням необхідних ресурсів і з дотриманням обмежень, що накладають на здійснення операції.

Уведені вище поняття утворюють природню ієрархію блоків на IDEF0-діаграмах при декомпозиції, передбачаючи чотири рівні останньої. Однак при аналізі складних видів діяльності можуть знадобитися проміжні рівні декомпозиції.

Рівні декомпозиції, що деталізують дії, природно вважати, що полягають із елементарних або простих функцій.

Усі функції, що входять у наведену вище класифікацію, перебувають між собою у відносинах ієрархічної підпорядкованості за принципом «зверху вниз»: діяльність → процес → операція → дія.

Згідно з методологією IDEF0 кожна функція виконується за допомогою механізму. У більшості систем, аналізованих за допомогою функціональних моделей, такими механізмами служать **організаційно-технічні структури**. Одним з концептуальних принципів функціонального моделювання є «відділення «організації» від функцій».

Разом з тим аналіз показує, що між ієрархією функцій (перетворень) і ієрархією механізмів існує відповідність, що ілюструє рисунок 7.13.

Використовуючи поняття системного аналізу, визначимо елементи ієрархії механізмів у такий спосіб.

Організаційно-технічна система – це організаційна структура, персонал і комплекс технічних засобів (устаткування), необхідні для здійснення **діяльності**.

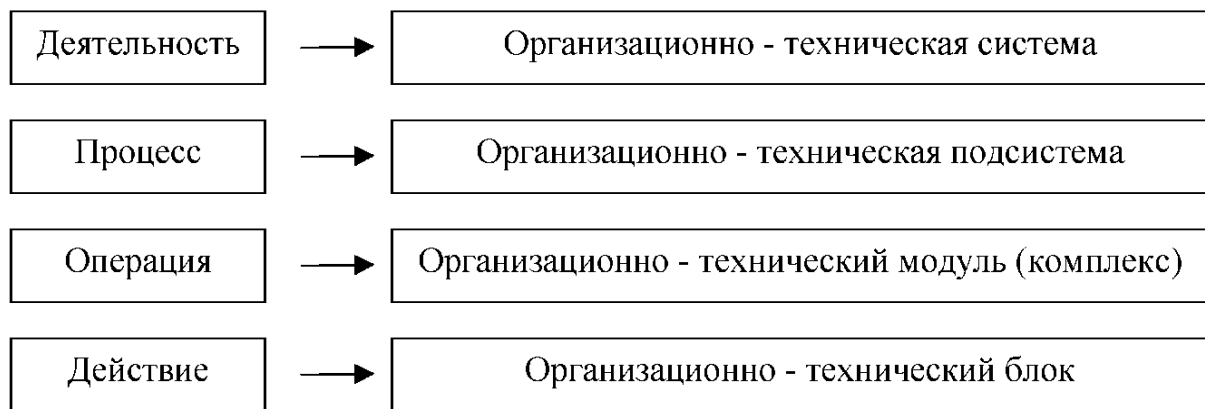


Рисунок 7.13 – Зв'язок функцій з організаційно-технічними структурами

Організаційно-технічна підсистема - частина організаційно-технічної системи, що забезпечує протікання *процесу*.

Організаційно-технічний комплекс (модуль) - частина організаційно-технічної підсистеми, призначена для виконання *операції*.

Організаційно-технічний блок – частина організаційно-технічного комплексу, що забезпечує виконання *дії*.

Таким чином, при коректній побудові моделі (без апріорної прив'язки до «організації») з'являється можливість зв'язати її блоки на різних рівнях декомпозиції з об'єктами організаційно-технічної структури, що виступають у якості механізмів. У цьому випадку, і це методично надто важливо, **організаційно-технічна структура стає результатом функціонального моделювання**.

У багатьох моделях знаходить або повинне знаходити висвітлення явище, що полягає у формуванні або специфічному настроюванні (перебудові) механізмів у ході діяльності. Це явище іменується **реінжинірингом** виробництва й/або бізнес-процесів на підприємстві (в організації).

Керування - особливий вид процесу, операції, дії

Один із загальних принципів методології **IDEF0** вимагає, щоб до кожного блоку на діаграмі повинна бути приєднана хоча б одна керуюча стрілка, що відображає умови правильного функціонування блоку. Ця вимога є наслідок положення системотехніки, згідно з яким керування є такий вплив (переважно інформаційне) на систему, який стимулює її функціонування в напрямку досягнення деякої мети [4]. У зв'язку із цим можна сформулювати ряд визначень і методичних положень, якими слід керуватися при відбитті керувань на функціональних моделях.

Керування діяльністю – це процес, що полягає, як мінімум, з наступних операцій:

- формулювання цілей діяльності;
- оцінювання ресурсів, необхідних для здійснення діяльності і їх зіставлення з наявними ресурсами;
- збір інформації про умови протікання й фактичний стан діяльності (глобальний зворотний зв'язок);
- виробіток і прийняття розв'язків, спрямованих на досягнення цілей, зокрема, розв'язків про розподіл ресурсів по процесах, що входять до складу діяльності; оформлення розв'язків у вигляді директив на керування процесами;
- реалізація розв'язків (виконання директив) і оцінка їх результатів (локальний зворотний зв'язок);
- коректування (якщо буде потреба, наприклад, при нестачі ресурсів) раніше сформульованих цілей (самонастроювання, адаптація).

Саме розв'язки і їх реалізація – суть ті стимулюючі впливи на систему, про які говорилося вище.

Керування процесом – операція, що полягає, як мінімум, з наступних дій:

- аналіз директиви на керування процесом, її декомпозиція на директиви керування операціями;
- збір (приймання по каналах зв'язку) інформації про хід виконання операцій, її узагальнення й формування відомостей про стан процесу; передача даних у підсистему керування діяльністю;
- зіставлення інформації про хід операцій з даними директив і виробіток локальних розв'язків, спрямованих на усунення відхилень, тобто коректування (якщо буде потреба) директив на виконання операцій.

Керування операцією - дія, що полягає у виробітку на підставі директиви на керування операцією **команд на керування діями**, у реалізації цих команд, оцінці результатів виконання, передачі необхідної інформації в комплекс керування процесом, коректуванню команд якщо буде потреба.

Типізація функціональних моделей і IDEF0-діаграм

Ефективність і продуктивність праці розроблювачів функціональних моделей можуть бути підвищені за рахунок застосування типових моделей і окремих діаграм, орієнтованих на застосування в конкретних предметних областях.

Аналогічні типові моделі можуть бути розроблені для інших видів бізнесу (надання послуг, транспорт, банківська справа, фінансова діяльність).

7.9 Перспективи розвитку методології функціонального моделювання

Зі знайомства з **IDEF0** випливає, що ця методологія являє собою чітко формалізований підхід до створення функціональних моделей – структурних схем досліджуваної системи. Схеми будуються по ієрархічному принципу з необхідним ступенем подробиці й допомагають розібратися в тому, що відбувається в досліджуваній системі, які функції в ній виконуються й у які відносини вступають між собою й з навколишнім середовищем її функціональні блоки. Сукупність схем (IDEF0-діаграм) утворює модель системи. Ця модель носить якісний, описовий, декларативний характер. Вона принципово не може відповісти на запитання про те, **як** протікають процеси в системі в часі й у просторі, які їхні характеристики і якою мірою задовольняються (або не задовольняються) вимоги, пропоновані до системи. Усі ці питання з неминучістю виникають після того, як буде досягнуто нижній рівень декомпозиції, тобто позначені «функції нижнього рівня, за допомогою яких і працює система».

У цьому випадку рекомендується переходити до інших моделей – математичних або імітаційних моделей, що описують процеси у функціональних блоках IDEF0-моделі.

По термінології, прийнятій в дослідженні операцій, IDEF0-моделі ставляться до класу концептуальних. Саме концептуальні моделі є основою побудови *математичних моделей*. Намагатися «навантажити» концептуальну модель кількісними співвідношеннями не потрібно – це різні рівні абстракції. Очевидно, цим пояснюється існування спеціальної методології **IDEF2**, призначеної для моделювання динамічних процесів у функціональних моделях.

У відсутності стандарту, що регламентує застосування методології IDEF2, доцільно порушувати питання про наповнення IDEF0-структур кількісним змістом, тобто про створення методики побудови моделей, що адекватно описують процеси в досліджуваній системі, у т.ч. і в часі, у динаміці.

Опис і кількісна оцінка перетворень вимагають створення математичних моделей, які повинні відображати (імітувати) фізичні, економічні, організаційні, фінансові, логічні й т.п. відносини між сутностями, що входять в IDEF0-модель, що розвертаються в часі.

Виходячи із загальних міркувань, пов'язаних з можливими областями застосування функціонального моделювання й структурного аналізу підприємств і організацій, можна вказати кілька класів математичних моделей, які знайдуть застосування як засоби опису процесів і явищ, що протікають в IDEF0-блоках. До них, у першу чергу, ставляться:

- розподільні моделі теорії дослідження операцій (оптимальний розподіл ресурсів);

- моделі теорії масового обслуговування (детерміновані й статистичні);
- моделі теорії керування запасами;
- транспортні моделі;
- динамічні моделі передачі сигналів (детерміновані й стохастичні);
- регресійні й кореляційні прогностичні моделі (у т.ч. моделі, що прогнозують імовірність виникнення рідких подій);
- деякі моделі теорії ігор.

Розподільні моделі можуть знайти застосування в тих випадках, коли потрібен оптимальний розподіл ресурсів, наприклад, фінансових або трудових, необхідних для виконання деякої підмножини операцій IDEF0-моделі.

Моделі теорії масового обслуговування й керування запасами можуть виявитися найбільш застосовними, оскільки багато процесів в організаційно-економічних і виробничо-технічних системах представляють собою процеси одержання й обслуговування заявок на роботи (послуги), а також процеси нагромадження, витрат, зберігання й поповнення запасів, причому й ті, і інші процеси необхідно вести з максимальною ефективністю.

Моделі обслуговування дозволяють оцінювати продуктивність блоків, що виконують ті або інші операції обробки (перетворення) матеріальних і інформаційних об'єктів, визначати реальну пропускну здатність каналів, по яких передаються ці об'єкти, виявляти вузькі місця й резерви, оцінювати залежність продуктивності (пропускну здатності) від надійності елементів, а також від витрати ресурсів (наприклад, від поточних і капітальних витрат).

Транспортні моделі дозволяють не тільки планувати перевезення вантажів оптимальним у якому-небудь змісті чином, але й у більш загальному випадку управляти передачею матеріальних або інформаційних об'єктів з пунктів їх виникнення в пункти споживання або переробки.

Динамічні моделі передачі сигналів дозволяють оцінювати тимчасові характеристики (запізнювання) передачі інформації й перешкодозахищеність інформаційних каналів.

Прогностичні моделі дозволяють вирішувати завдання оптимального планування з урахуванням тенденцій розвитку досліджуваної системи і її компонентів.

Моделі теорії ігор можуть використовуватися в якості засобів підтримки прийняття розв'язків при аналізі структур, описуваних функціональними моделями.

У якості програмного середовища для реалізації моделей можна використовувати будь-яке середовище, що підтримує принципи об'єктно-орієнтованого програмування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дроздов, П.А. Основы логистики: учебное пособие / П.А. Дроздов. – Минск: , 2008. – 211 с.
2. Введение в теорию расписаний / В.С. Танаев, В.В. Шкурба. Главная ред. физ.-математ. лит-ры, Наука, М., 1975. – 256 с.
3. Лазарев, А.А. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. / А.А. Лазарев, Е.Р. Гафаров, Уч. пособие. Изд-во МГУ, М., 2011. – 222 с.
4. Давид Марка, Клемент МакГоуэн, Методология структурного анализа и проектирования. Пер. с англ. М.:1993, 240 с. , ISBN 5-7395-0007-9