

6. Управління поточним функціонуванням операційної системи

Прогнозування попиту, агрегатне планування, управління запасами, планування потреби в матеріалах і оперативне управління виробництвом — як операційний менеджер узгоджує потужність із попитом на довгому, середньому й короткому горизонті.

🕒 75 хв читання 📅 22 терміни ПРН **ПРН20** ПРН24

чернетка · оновлено 23.09.2026

Що ви зможете після теми

- ПРН20** Будувати прогноз попиту методами ковзної середньої та експоненційного згладжування й оцінювати його точність за MAD, MSE і MAPE.
- ПРН20** Скласти агрегатний план і порівнювати стратегії його виконання за витратами.
- ПРН24** Розраховувати оптимальний розмір замовлення, точку замовлення та страховий запас і обґрунтовувати політику управління запасами.
- ПРН24** Виконувати розгортання потреби в матеріалах за специфікацією виробу та складати графік замовлень.

Уявіть диспетчера поштового оператора вранці понеділка. Йому одночасно потрібні три різні відповіді на те саме питання «скільки». Сьогодні — скільки людей вивести в нічну зміну на сортувальний вузол. Цей квартал — чи вистачить наявних потужностей під очікуване зростання обсягу, чи пора замовляти нову лінію. І сьогодні ж — у якому порядку обробити партії, що вже стоять у черзі, якщо частина з них горить строком. Три питання, три горизонти, і жодна відповідь не годиться для питання сусіднього рівня: план на квартал, застосований до сьогоднішньої зміни, дасть або надлишок людей, або чергу, що не розгрібається.

Ця тема — найважча в курсі не тому, що складна одна ідея, а тому, що в ній зустрічаються п'ять різних задач, кожна зі своїм розрахунком: прогноз попиту, агрегатний план, політика запасів, розгортання потреби в матеріалах і черговість робіт. Об'єднує їх одне: усі вони відповідають на питання «скільки й коли», тільки на різній відстані від сьогодні. Прогноз каже, чого чекати. Агрегатний план каже, якою потужністю це чекати. Запаси — політика на випадок, коли прогноз і факт розійшлися. Розгортання потреби переводить план готового виробу в план на кожну деталь. А правила черги вирішують, що робити просто зараз, коли робіт більше, ніж робочих місць.

6.1 Довгострокове, середньострокове та короткострокове планування операцій

Планування операцій — це не один план, а ієрархія планів різної відстані. Довгостроковий горизонт — від року до кількох років: рішення про виробничу потужність, розміщення об'єктів, технологію. Це структурні рішення в термінології теми 1 — дорогі, повільні й майже незворотні: якщо потужності не вистачає, нову лінію не поставиш за тиждень. Середньостроковий горизонт — від кількох місяців до півтора року: агрегатне планування, яке узгоджує наявну потужність із сезонним і циклічним коливанням попиту через чисельність персоналу, понаднормовий час, запаси й субпідряд, не змінюючи самої потужності. Короткостроковий горизонт — дні й тижні: оперативно-календарне планування, диспетчерування, черговість конкретних робіт на конкретних робочих місцях. Кожен нижчий рівень працює всередині меж, які задав вищий: диспетчер не може відправити в зміну більше людей, ніж дозволяє агрегатний план, а агрегатний план не може обіцяти випуск понад потужність, яку не встигли побудувати.

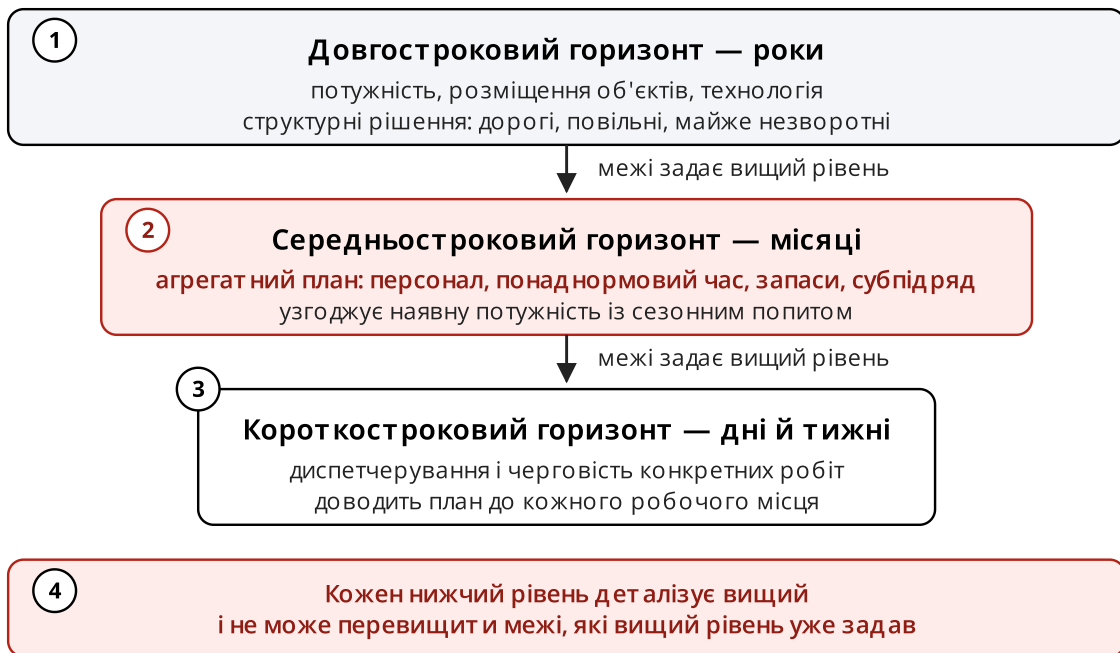


Рисунок 1. Ієрархія планування операцій: кожен нижчий горизонт деталізує рішення вищого і не може вийти за його межі.

- 1 Довгостроковий горизонт: потужність, розміщення, технологія — роки
- 2 Середньостроковий горизонт: агрегатний план — персонал, понаднормовий час, запаси, субпідряд
- 3 Короткостроковий горизонт: диспетчерування і черговість конкретних робіт — дні й тижні
- 4 Кожен нижчий рівень деталізує вищий і не може перевищити його меж

Піраміда з трьох горизонтальних шарів згори вниз. Верхній, найширший — довгостроковий горизонт: потужність, розміщення об'єктів, технологія, вимірюється роками. Середній, виділений карміновим, — середньостроковий горизонт: агрегатне планування персоналу, понаднормового часу, запасів і субпідряду, вимірюється місяцями. Нижній, найвужчий — короткостроковий горизонт: диспетчерування і черговість робіт, вимірюється днями й тижнями. Стрілки між шарами йдуть згори вниз і підписані «межі задає вищий рівень».

Рішення про те, коли будувати нову потужність, а коли обійтися перерозподілом наявної, ніколи не буває суто технічним: воно завжди зважає вартість надлишку проти вартості дефіциту. Компанія, яка щороку інвестує в нові сортувальні лінії під зростання обсягу, і компанія, яка десятиліттями не наближається до паспортної потужності обладнання, — це два різні способи відповісти на те саме питання горизонту, і обидва видно на прикладі того самого сектора.

Кейс. Нова Пошта: інвестиція в сортувальні лінії як рішення довгого горизонту

Кейс за пресрелізами компанії; кількісні показники — позиція компанії без незалежного аудиту

За офіційним пресрелізом групи Nova від 21.01.2026, за 2025 рік компанія доставила 522 млн посилок — на 8,8% більше, ніж роком раніше, а мережа зросла на 32% до 50 003 точок присутності.

У тому самому пресрелізі названо капітальні інвестиції в Україні на суму понад 4 млрд грн, з яких 492 млн грн спрямовано саме на сортувальні лінії та хаби, а решта — переважно на транспорт і контейнери. Компанія прямо називає ці вкладення відповіддю на зростання обсягу, а не заміною зношеного обладнання.

До якого горизонту планування належить рішення про 492 млн грн інвестицій у сортувальні лінії — і чому його не можна ухвалити на рівні диспетчера зміни?

Це рішення довгострокового горизонту: нову сортувальну лінію не змонтуєш за тиждень під сплеск попиту перед святами, і гроші вкладаються за рік до того, як приріст обсягу справді відбудеться. Диспетчер зміни працює всередині потужності, яку це рішення вже задало; він не може «домовитися» про додаткову пропускну здатність вузла на сьогодні. Межі кейсу: пресреліз не наводить, на скільки саме зросла пропускну здатність мережі в результаті цих 492 млн грн, і не дає показника завантаження нових ліній — зіставити інвестицію з приростом ефективності за цими даними не можна; чистий прибуток групи за 2025 рік при цьому знизився на 37% попри зростання виручки на 21%, що саме по собі не спростовує і не підтверджує окупність інвестиції в лінії.

Дзеркальний приклад показує розрив між тим, яку потужність компанія заявляє, і тим, скільки з неї справді використовується день у день, — а це вже питання не довгого горизонту, а щоденного факту, який довгий горизонт має враховувати наперед.

Кейс. Укрпошта: заявлена потужність сортування проти фактичного обсягу

Кейс за офіційними даними міністерства й позицією компанії щодо потужності ліній

За підсумками року від Міністерства розвитку громад та територій, оприлюдненими 31.12.2025, Укрпошта у 2025 році завершила автоматизацію сортувальних потужностей: побудовано 24 логістичні центри за 22 місяці, а заявлена потужність сортування сягає до 2 млн відправлень на добу. За тим самим джерелом, за весь 2025 рік компанія доставила 42,7 млн посилок — істотно менше за заявлену потужність навіть у перерахунку на добу.

Чому розрив між заявленою потужністю сортування і фактичним обсягом ілюструє відмінність проєктної, ефективної й фактичної потужності — і чому саме цей розрив не можна перевести у формулу CAP-01?

Розрив тут концептуально той самий, що й коефіцієнт використання потужності з теми 1 (CAP-01): заявлена потужність — це паспортне число постачальника лінії, фактичний обсяг — те, що справді пройшло через мережу. Але порахувати сам коефіцієнт за цими даними не можна: «2 млн відправлень на добу» — заявлена потужність у відправленнях будь-якого типу (посилки, листи, періодика), тоді як 42,7 млн — обсяг лише за рік і лише посилок, тобто вужчий за складом показник за ширший період. Ділити одне на інше означало б рахувати частку від чужого цілого.

Межі кейсу: усі показники потужності сортувальних ліній («2 млн/добу», «у 8 разів швидше») — позиція компанії, навіть коли їх передруковує міністерство; незалежного аудиту цих цифр немає, і, як і в темі 1, у розрахункових задачах курсу вони не використовуються. Офіційно верифіковані державним джерелом лише мережа логістичних центрів і річний обсяг посилок.

Показник «у 8 разів швидше» стосується лише операції сортування, а не наскрізного строку доставки, і переносити його на весь цикл не можна.

Підсумок розділу. Планування операцій — ієрархія трьох горизонтів: довгостроковий задає потужність і розміщення, середньостроковий узгоджує наявну потужність із сезонним попитом через агрегатний план, короткостроковий диспетчерує конкретні роботи. Кожен нижчий рівень працює в межах, які задав вищий, і жодне рішення короткого горизонту не компенсує помилки довгого.

6.2 Прогнозування в операційному менеджменті — методи та оцінка точності прогнозу

Перш ніж планувати потужність чи запас, операційному менеджеру потрібне число, від якого відштовхуватися, — прогноз. Прогнозування попиту — оцінка майбутнього обсягу попиту на основі минулих даних і застосованого методу. Методи прогнозування діляться на якісні — експертні оцінки, метод «мозкової атаки», побудова «дерева цілей» — і кількісні, що спираються на числовий ряд минулих

періодів. Якісні методи незамінні, коли статистики бракує: новий продукт, новий ринок, разова подія. Але розрахунковий курс працює з кількісними методами, бо саме вони дають перевірне число і перевірну похибку.

Найпростіший кількісний метод — ковзна середня: прогноз на наступний період дорівнює середньому фактичному попиту за кілька останніх періодів. Що ширше вікно, то стабільніший прогноз і повільніша реакція на зміну тренду; що вужче — то чутливіший до випадкового коливання останнього періоду.

ПРОСТА КОВЗНА СЕРЕДНЯ FC-01

$$F_t = (D_{t-1} + D_{t-2} + \dots + D_{t-n}) / n$$

n — кількість періодів вікна; що ширше вікно, то повільніша реакція прогнозу на зміну тренду.

Зважена ковзна середня усуває головну ваду простої: остання й найдавніша фактичні цифри в ній рахуються порівну. Зважена версія приписує більшу вагу ближчим періодам, тому реагує на зміну тренду швидше, лишаючись такою ж простою у розрахунку.

ЗВАЖЕНА КОВЗНА СЕРЕДНЯ FC-02

$$F_t = \sum (w_i \cdot D_{t-i})$$

Сума ваг дорівнює 1; більша вага — ближчому до прогнозованого періоду.

Приклад. Прогноз методом простої та зваженої ковзної середньої

FC-01

Гевко І. Операційний менеджмент, 2017, тема 9 «Прогнозування в операційному менеджменті», п. 9.3 «Методи часових серій», с. 95, змінна середня

ДАНО

Попит на комплектувальну деталь за вісім тижнів, шт.: тиждень 1 — 120, 2 — 132, 3 — 126, 4 — 138, 5 — 132, 6 — 144, 7 — 138, 8 — 150. Потрібен прогноз на тиждень 9 простою ковзною середньою

(вікно 3) і зваженою ковзною середньою з вагами 0,5 (найближчий тиждень), 0,3 і 0,2 (найdaleший).

ФОРМУЛА

Проста: $F_t = (D_{t-1} + D_{t-2} + D_{t-3})/3$ (FC-01); **Зважена:** $F_t = 0,5 \cdot D_{t-1} + 0,3 \cdot D_{t-2} + 0,2 \cdot D_{t-3}$ (FC-02)

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Проста ковзна середня на тиждень 9: $(150 + 138 + 144)/3 = 144,0$.
2. Зважена ковзна середня на тиждень 9: $0,5 \cdot 150 + 0,3 \cdot 138 + 0,2 \cdot 144 = 75,0 + 41,4 + 28,8 = 145,2$.
3. Різниця між прогнозами — 1,2 шт.: зважена сильніше враховує сплеск попиту в тиждні 8, бо цей тиждень має найбільшу вагу.

ВІДПОВІДЬ

Проста ковзна середня прогнозує 144,0 шт., зважена — 145,2 шт.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Обидва прогнози близькі, бо ряд зростає плавно, без різких стрибків. Різниця стане суттєвою, якщо один з останніх тижнів дасть аномальний викид: проста середня «розмаже» його на всі три періоди вікна порівну, а зважена — переважно врахує в найближчому прогнозі, тому й повільніше «забуде» його в наступних періодах.

Експоненційне згладжування розв'язує ту саму задачу економнішим способом: не потрібно тримати вікно з кількох останніх фактичних значень, досить попереднього прогнозу і однієї константи згладжування α . Що більше α , то сильніше новий прогноз підлаштовується під останню похибку; що менше — то стабільніший, але повільніший прогноз.

ЕКСПОНЕНЦІЙНЕ ЗГЛАДЖУВАННЯ FC-03

$$F_t = F_{t-1} + \alpha \cdot (D_{t-1} - F_{t-1})$$

α — константа згладжування, $0 < \alpha < 1$; більше α — швидша реакція на останню похибку прогнозу.

Приклад. Експоненційне згладжування попиту

FC-03

Гевко І. Операційний менеджмент, 2017, тема 9 «Прогнозування в операційному менеджменті», п. 9.3 «Методи часових серій», с. 96, експоненційне згладжування

ДАНО

Той самий ряд попиту за вісім тижнів (120, 132, 126, 138, 132, 144, 138, 150). Константа згладжування $\alpha = 0,3$. Початковий прогноз на тиждень 1 дорівнює фактичному попиту тижня 1 — 120 (звичайне припущення за відсутності попередньої історії). Прогнози показано з округленням до сотих, але кожен наступний рахується від неокругленого попереднього, тому в окремих кроках підстановка округлених чисел може розходитися з показаним результатом на 0,01.

ФОРМУЛА

$$F_t = F_{t-1} + \alpha \cdot (D_{t-1} - F_{t-1}) \text{ (FC-03)}$$

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. $F_2 = 120 + 0,3 \cdot (120 - 120) = 120,00$.
2. $F_3 = 120,00 + 0,3 \cdot (132 - 120,00) = 123,60$.
3. $F_4 = 123,60 + 0,3 \cdot (126 - 123,60) = 124,32$.
4. $F_5 = 124,32 + 0,3 \cdot (138 - 124,32) = 128,42$.
5. $F_6 = 128,42 + 0,3 \cdot (132 - 128,42) = 129,50$.
6. $F_7 = 129,50 + 0,3 \cdot (144 - 129,50) = 133,85$.
7. $F_8 = 133,85 + 0,3 \cdot (138 - 133,85) = 135,09$.
8. $F_9 = 135,09 + 0,3 \cdot (150 - 135,09) = 139,57$.

ВІДПОВІДЬ

Прогноз на тиждень 9 методом експоненційного згладжування — 139,57 шт.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Прогноз стабільно відстає від зростаючого фактичного попиту: кожне F_t менше за D_t , бо метод підтягує прогноз до факту лише частково (на частку α), а попит увесь час зростає. Це системне відставання й покаже сигнал відстеження нижче — і саме тому оцінку точності не можна пропускати: сам собою прогноз не каже, наскільки він зміщений.

Прогноз без оцінки точності — це просто число: щоб ним можна було керувати, потрібно виміряти, наскільки він розходиться з фактом, і зробити це так, щоб похибка прогнозу — різниця між фактичним попитом і прогнозом того самого періоду — не губилася під час усереднення. Середнє абсолютне відхилення бере модуль кожної похибки, тому додатні й від'ємні відхилення не скасовують одне одного і дають реальний середній розмір помилки в тих самих одиницях, що й сам попит.

СЕРЕДНЄ АБСОЛЮТНЕ ВІДХИЛЕННЯ (MAD) FC-04

$$MAD = (1/n) \cdot \sum |D_t - F_t|$$

Модуль кожної похибки не дає додатним і від'ємним відхиленням скасувати одне одного.

Середньоквадратична похибка йде далі: підносить кожну похибку до квадрата перед усередненням, тому великий одноразовий промах важить у показнику непропорційно більше, ніж кілька дрібних. Середня абсолютна відсоткова похибка робить те, чого не вміють MAD і MSE, — виражає похибку у відсотках від самого попиту, тому придатна для порівняння точності прогнозу різних товарів із різним масштабом попиту.

СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНА ПОХИБКА (MSE) FC-05

$$MSE = (1/n) \cdot \sum (Dt - Ft)^2$$

Квадрат похибки надає більшої ваги великим одноразовим промахам порівняно з MAD.

СЕРЕДНЯ АБСОЛЮТНА ПОХИБКА У ВІДСОТКАХ (MAPE) FC-06

$$MAPE = (100/n) \cdot \sum (|Dt - Ft| / Dt)$$

Єдиний з трьох показників у відсотках — придатний для порівняння точності прогнозів різного масштабу.

Жоден із трьох показників не каже, чи прогноз системно занижений або завищений, — для цього служить окремий інструмент. Сигнал відстеження ділить накопичену (не абсолютну!) похибку на MAD: якщо додатні й від'ємні похибки чергуються випадково, накопичена сума лишається малою відносно MAD; якщо прогноз стабільно відстає в один бік, сигнал відстеження зростає й попереджає про потребу переглянути метод чи його параметри.

СИГНАЛ ВІДСТЕЖЕННЯ (TRACKING SIGNAL) FC-07

$$TS = \sum (Dt - Ft) / MAD$$

Чисельник — накопичена (зі знаком) похибка прогнозу RSFE, а не сума модулів.

Приклад. Точність прогнозу: MAD, MSE, MAPE і сигнал відстеження

FC-04

Гевко І. Операційний менеджмент, 2017, тема 9 «Прогнозування в операційному менеджменті», п. 9.3 «Методи часових серій», с. 96, середнє абсолютне відхилення (СAB)

ДАНО

Прогнози методом експоненційного згладжування з попереднього прикладу за тижні 3–8 і фактичний попит тих самих тижнів: тиждень 3 — факт 126, прогноз 123,60; тиждень 4 — факт 138, прогноз 124,32; тиждень 5 — факт 132, прогноз 128,42; тиждень 6 — факт 144, прогноз 129,50; тиждень 7 — факт 138, прогноз 133,85; тиждень 8 — факт 150, прогноз 135,09. Тижні 1–2 виключено з оцінки як стартовий період без попередньої історії.

ФОРМУЛА

$MAD = (1/n) \cdot \sum |Dt - Ft|$ (FC-04); $MSE = (1/n) \cdot \sum (Dt - Ft)^2$ (FC-05); $MAPE = (100/n) \cdot \sum (|Dt - Ft| / Dt)$ (FC-06); $TS = \sum (Dt - Ft) / MAD$ (FC-07)

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Похибки (факт – прогноз): 2,40; 13,68; 3,58; 14,50; 4,15; 14,91 — усі додатні: прогноз жодного разу не перевищив факт.
2. Сума модулів похибок: $2,40 + 13,68 + 3,58 + 14,50 + 4,15 + 14,91 = 53,22$;
 $MAD = 53,22 / 6 \approx 8,87$.
3. Сума квадратів похибок:
 $5,76 + 187,14 + 12,82 + 210,25 + 17,22 + 222,31 = 655,50$; $MSE = 655,50 / 6 \approx 109,25$.
4. Похибки у відсотках від факту: 1,90%; 9,91%; 2,71%; 10,07%; 3,01%; 9,94%; сума 37,54%; $MAPE \approx 6,26\%$.
5. Накопичена похибка (RSFE) = сума похибок зі знаком = 53,22 (та сама сума, бо всі похибки додатні); $TS = 53,22 / 8,87 \approx 6,00$.

ВІДПОВІДЬ

$MAD \approx 8,87$ шт.; $MSE \approx 109,25$ шт.²; $MAPE \approx 6,26\%$; сигнал відстеження $\approx 6,00$.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

MAPE 6,26% сам собою виглядає непогано — прогноз у середньому відхиляється менш ніж на десятку частку попиту. Але сигнал відстеження $\approx 6,00$ — це шість «стандартних» похибок накопиченого зміщення в один бік, надійна ознака систематичного заниження, а не випадкового розкиду: усі шість

похибок додатні, тобто факт жодного разу не був нижчим за прогноз. Причина видна з попереднього прикладу — попит стабільно зростає, а експоненційне згладжування з $\alpha = 0,3$ підтягується до нього лише частково. Висновок для менеджера: точність (MAPE) і зміщення (TS) — це різні питання, і низька похибка не звільняє від перевірки зміщення.

Підсумок розділу. Кількісне прогнозування спирається на числовий ряд минулого попиту: ковзна середня і зважена ковзна середня прості, але чутливі до ширини вікна; експоненційне згладжування економне і його швидкість реакції задає константа α . Точність прогнозу оцінюють MAD, MSE і MAPE, кожен по-своєму; сигнал відстеження перевіряє не точність, а системне зміщення прогнозу в один бік.

6.3 Агрегатне планування: стратегічні й тактичні аспекти, стратегії погоні та рівномірного виробництва

Агрегатне планування — це середньостроковий план випуску, персоналу й запасів на горизонт від кількох місяців до півтора року, побудований на агрегованому попиті (сумарний обсяг за родиною продуктів, а не за кожним артикулом окремо) і без зміни самої потужності. Задача агрегатного плану — розподілити наперед відомий, але нерівномірний попит по періодах горизонту так, щоб сумарні витрати на його виконання були мінімальними. Класичний інструментарій дає дві крайні стратегії й діапазон компромісів між ними.

Стратегія погоні за попитом встановлює обсяг випуску кожного періоду рівним прогнозованому попиту цього самого періоду: запасу не накопичується, а персонал і понаднормовий час підлаштовуються під коливання попиту наймом і звільненням.

СТРАТЕГІЯ ПОГОНІ ЗА ПОПИТОМ (CHASE STRATEGY) AGG-01

Виробництво_t = Попит_t

Випуск і чисельність персоналу кожного періоду відповідають прогнозу попиту саме цього періоду.

Стратегія рівномірного виробництва діє навпаки: темп випуску сталий на весь горизонт і дорівнює середньому попиту, а розбіжність між сталим випуском і фактичним попитом кожного періоду покриває запас — накопичується, коли випуск перевищує попит, і витрачається, коли попит перевищує випуск.

СТРАТЕГІЯ РІВНОМІРНОГО ВИРОБНИЦТВА (LEVEL STRATEGY) AGG-02

$$\text{Виробництво} = \Sigma \text{Попит}_t / n$$

Сталий темп випуску за весь горизонт; відхилення попиту період за періодом покриває запас.

Жодна із стратегій не «правильніша» абстрактно — кожна просто переносить коливання попиту в іншу статтю витрат: погоня платить наймом, звільненням і плинністю персоналу, рівномірне виробництво платить зберіганням запасу. Порівняти їх можна лише через сумарні витрати плану, які об'єднують усі статті одразу.

СУМАРНІ ВИТРАТИ АГРЕГАТНОГО ПЛАНУ AGG-03

$$\text{Витрати} = \text{Регулярний час} + \text{Понаднормовий час} + \text{Найм} + \text{Звільнення} + \text{Зберігання запасу} + \text{Дефіцит}$$

Усі складові рахуються за той самий горизонт планування, у гривнях.

Крива попиту й дві стратегії агрегатного плану

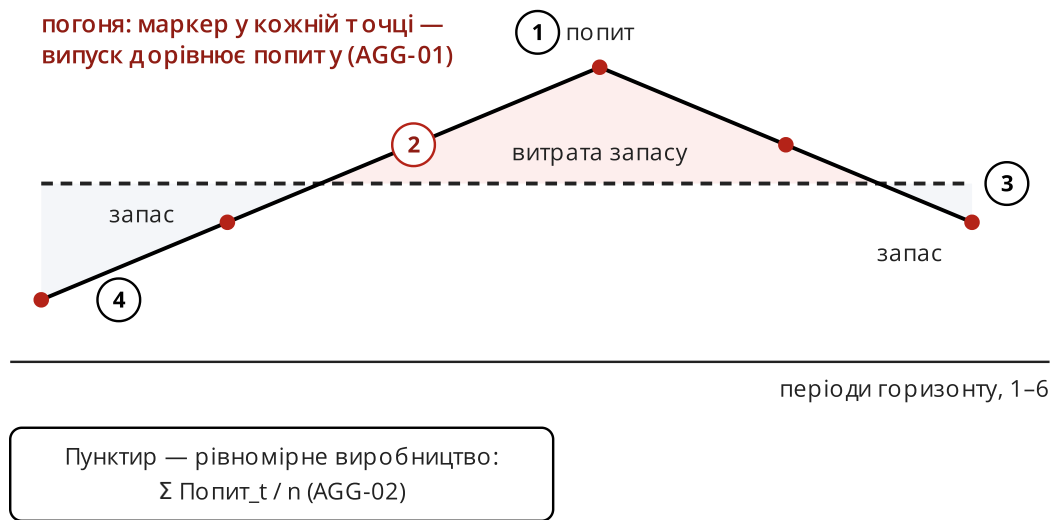


Рисунок 2. Стратегія погоні йде за кожним коливанням попиту, стратегія рівномірного виробництва тримає сталий темп і покриває різницю запасом.

- ① Крива попиту по періодах горизонту — задана прогнозом
- ② Стратегія погоні: випуск точно повторює криву попиту, персонал наймають і звільняють
- ③ Стратегія рівномірного виробництва: сталий темп на рівні середнього попиту
- ④ Різниця між сталим темпом і кривою попиту — накопичення запасу (темп вищий за попит) або його витрата (попит вищий за темп)

Графік із трьома лініями по горизонтальній осі періодів. Хвиляста лінія попиту йде вгору й вниз. Лінія стратегії погоні точно повторює хвилю попиту — під нею підписано «найм і звільнення персоналу». Пряма горизонтальна лінія на рівні середнього попиту — стратегія рівномірного виробництва; заштриховані ділянки між нею і кривою попиту підписані «запас», де пряма лінія вища за хвилю, і «витрата запасу», де нижча.

Приклад. Агрегатний план на шість місяців: стратегія погоні

AGG-01

Heizer J., Render B., Munson C. Operations Management, 2016, розділ 13 «Aggregate Planning and S&OP», підрозділ «Aggregate Planning Strategies», chase-стратегія

ДАНО

Прогноз попиту на шість місяців, виробів: 700, 900, 1100, 1300, 1100, 900 (середній попит — 1000/міс.). Продуктивність — 20 виробів на робітника за місяць. Початкова чисельність персоналу — 40 робітників. Регулярна оплата праці — 3000 грн на робітника за місяць. Вартість найму одного робітника — 2000 грн, звільнення — 4000 грн (вихідна допомога дорожча за найм).

ФОРМУЛА

Виробництво_t = Попит_t (AGG-01); Потрібно робітників_t = Попит_t / 20; Витрати = Регулярний час + Найм + Звільнення (AGG-03)

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Потрібна чисельність персоналу за місяцями: $700/20=35$; $900/20=45$; $1100/20=55$; $1300/20=65$; $1100/20=55$; $900/20=45$.
2. Зміна персоналу місяць до місяця від початкових 40: М1 — звільнити 5 ($40 \rightarrow 35$); М2 — найняти 10 ($35 \rightarrow 45$); М3 — найняти 10 ($45 \rightarrow 55$); М4 — найняти 10 ($55 \rightarrow 65$); М5 — звільнити 10 ($65 \rightarrow 55$); М6 — звільнити 10 ($55 \rightarrow 45$).
3. Разом найнято 30 робітників, звільнено 25 робітників за півроку — і це при тому, що на кінець горизонту чисельність персоналу (45) відрізняється від початкової (40) лише на п'ять робітників.
4. Регулярна оплата: $(35+45+55+65+55+45) \cdot 3000 = 300 \cdot 3000 = 900\,000$ грн.
5. Витрати найму: $30 \cdot 2000 = 60\,000$ грн. Витрати звільнення: $25 \cdot 4000 = 100\,000$ грн.
6. Разом за AGG-03 (без запасу — погоня його не накопичує): $900\,000 + 60\,000 + 100\,000 = 1\,060\,000$ грн.

ВІДПОВІДЬ

**Сумарні витрати стратегії погоні за шість місяців —
1 060 000 грн.**

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Регулярна оплата тут точно дорівнює сумі «попит/продуктивність × ставка» — це не випадковість, а властивість стратегії погоні: персонал завжди рівно стільки, скільки потрібно для випуску точно на рівні попиту, тому регулярні витрати мінімальні. Ціна цього мінімуму — 55 операцій найму-звільнення за півроку, хоча чисельність персоналу на кінець горизонту відрізняється від початкової лише на п'ять робітників.

Приклад. Агрегатний план на шість місяців: стратегія рівномірного виробництва

AGG-02

Heizer J., Render B., Munson C. Operations Management, 2016, розділ 13 «Aggregate Planning and S&OP», підрозділ «Aggregate Planning Strategies», level-стратегія

ДАНО

Той самий прогноз попиту (700, 900, 1100, 1300, 1100, 900 виробів, середнє 1000/міс.), та сама продуктивність 20 виробів/робітника, та сама початкова чисельність 40 робітників, ті самі ставки оплати й найму. Вартість зберігання запасу — 50 грн за виріб за місяць (на кінець місяця). Початковий запас на складі — 100 виробів.

ФОРМУЛА

Виробництво = Σ Попит_t / 6 = 1000/міс. (AGG-02); Запас_t = Запас_(t-1) + Виробництво – Попит_t; Витрати = Регулярний час + Найм + Зберігання (AGG-03)

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Сталий темп випуску: $(700+900+1100+1300+1100+900)/6 = 6000/6 = 1000$ виробів/міс.; потрібно $1000/20 = 50$ робітників, сталих на весь горизонт.
2. Одноразовий найм на початку горизонту: $50-40 = 10$ робітників; далі найму й звільнень немає.
3. Запас на кінець кожного місяця (початковий 100): $M1 = 100+1000-700 = 400$; $M2 = 400+1000-900 = 500$; $M3 = 500+1000-1100 = 400$; $M4 = 400+1000-1300 = 100$; $M5 = 100+1000-1100 = 0$; $M6 = 0+1000-900 = 100$. Жоден місяць не йде в дефіцит.
4. Регулярна оплата: $50 \cdot 3000 \cdot 6 = 900\,000$ грн (та сама сума, що й у погоні, — інакше й бути не може: обидві стратегії виробляють однакові 6000 виробів за той самий період).
5. Витрати найму: $10 \cdot 2000 = 20\,000$ грн. Витрати зберігання: $(400+500+400+100+0+100) \cdot 50 = 1500 \cdot 50 = 75\,000$ грн.
6. Разом за AGG-03: $900\,000 + 20\,000 + 75\,000 = 995\,000$ грн.

ВІДПОВІДЬ

Сумарні витрати стратегії рівномірного виробництва за шість місяців — 995 000 грн.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

995 000 проти 1 060 000 у стратегії погоні — рівномірне виробництво дешевше на 65 000 грн за цих параметрів. Перевага не універсальна: вона тримається, доки вартість зберігання невисока, а найм-звільнення дорогі й повільні. Якщо продукт швидко псується або зберігання коштує дорожче за різницю у вартості найму-звільнення, порівняння могло б дати протилежний результат — тому кожен агрегатний план перераховують під власні ставки витрат, а не переносять готовий висновок з іншого підприємства.

Крайні стратегії рідко застосовують у чистому вигляді: реальний план найчастіше змішує їх — тримає базовий рівномірний темп під основний обсяг і наздоганяє пікові місяці понаднормовим часом чи короткостроковим субпідрядом, а не повним циклом найму й звільнення. Те саме протиставлення «випускати точно під попит без запасу» проти «випускати рівномірно, а коливання гасити буфером» видно й на прикладі виробничої філософії, яка свідомо обрала першу крайність.

Кейс. Toyota: «виробляти лише потрібне, тоді, коли потрібно» проти буфера запасу

Кейс за офіційною сторінкою компанії; якісний опис без кількісних метрик

Офіційна сторінка Toyota визначає just-in-time як виробництво «лише потрібного, тоді, коли потрібно, і в потрібній кількості», з синхронізацією всіх заводів і процесів у безперервний потік. Кіічіро Тойода сформулював цей принцип, виходячи з того, що автомобіль складається більш ніж із 30 000 деталей і тримати запас кожної з них окремо неможливо.

Чому формулювання just-in-time від самої Toyota — це фактично крайня форма стратегії погоні, перенесена з рівня персоналу на рівень запасу постачання?

Just-in-time — це логіка стратегії погоні, застосована не до персоналу агрегатного плану, а до запасу постачання: система свідомо відмовляється від буфера й натомість вимагає, щоб темп постачання точно збігався з темпом споживання, як у AGG-01. Пряма протилежність — модель EOQ з наступного розділу, яка, навпаки, свідомо тримає запас, бо витрати на часті дрібні замовлення переважають витрати на зберігання. Межа кейсу: офіційний опис TPS не наводить жодної кількісної метрики — ні рівня запасів, ні частоти поставок, — тому кількісне порівняння «JIT дешевший за EOQ» цим джерелом не підтверджується; успіх Toyota не доводить, що відмова від буфера запасу виправдана для будь-якого підприємства, бо система будувалася десятиліттями разом із власною базою постачальників.

Наскільки складно втримати обраний темп на практиці, добре видно на прикладі підприємства, яке саме визнало, що недооцінило труднощі нарощування виробництва до цільового темпу.

Кейс. Tesla, Model 3: крива нарощування темпу і визнана складність прогнозу

Кейс за первинними розкриттями компанії (SEC, форма 8-K); заяви емітента, не аудовані виробничі показники

За кварталними розкриттями компанії у формі 8-K, випуск Model 3 зростав так: 3 кв. 2017 — 260 автомобілів, 4 кв. 2017 — 2425, 1 кв. 2018 — 9766, 2 кв. 2018 — 28 578, 3 кв. 2018 — 53 239, 4 кв. 2018 — 61 394. У формі 8-K від 09.02.2018 компанія назвала цілі темпу — 2500 автомобілів/тиждень до кінця 1 кв. 2018 і 5000/тиждень до кінця 2 кв. 2018 — і водночас застереження: «наш попередній досвід нарощування Model 3 показав складність точного прогнозування конкретних темпів виробництва». У листі акціонерам від 02.05.2018 компанія визнала: «ми зробили помилку, додавши забагато автоматизації занадто швидко», і тимчасово повернула частину ліній до напівавтоматичного й ручного режиму.

Про що каже офіційне визнання компанії «наш попередній досвід нарощування Model 3 показав складність точного прогнозування конкретних темпів виробництва» для планування на середньому горизонті?

Крива 260 → 61 394 автомобілі за квартал — це не гладке нарощування до планового темпу, а типова крива освоєння нової потужності, і сама компанія прямо визнає систематичну складність прогнозування власного темпу нарощування, попри повний доступ до власних виробничих даних. Для середньострокового плану це означає: закладати точковий прогноз темпу нарощування без запасу на відхилення — ризиковано навіть для компанії з найповнішою інформацією про власний процес. Межі кейсу: 5031 автомобіль за останній тиждень 2 кв. 2018 — це піковий тижневий показник, а не середній темп кварталу (середній становив приблизно $28\,578/13 \approx 2200$ /тиждень); плутати піковий показник із середнім — типова помилка при оцінюванні досягнутої потужності. Затримку цілей компанія пояснює водночас кількома причинами — вузьким місцем на лінії батарейних модулів і надмірною автоматизацією, — тому зводити її до однієї причини є спрощенням.

Підсумок розділу. Агрегатний план узгоджує наявну потужність із сезонним попитом на середньому горизонті через персонал, понаднормовий час і запаси, не змінюючи саму потужність. Стратегія погоні тримає нульовий запас ціною найму й звільнення; стратегія рівномірного виробництва тримає сталий персонал ціною зберігання запасу; яка дешевша — питання конкретних ставок витрат, а не абстрактної переваги однієї стратегії.

6.4 Функції, завдання та основні вимоги до оперативного управління; організація диспетчерування виробництва

Оперативне управління виробництвом — це найкоротший горизонт операційного менеджменту: перетворення агрегатного плану і плану потреби в матеріалах на конкретні змінні завдання конкретним робочим місцям і контроль їх виконання щодня, а часто й щогодини. Його завдання: довести план до кожного робочого місця, розподілити роботи так, щоб потужність не простоювала й не була перевантажена, і зафіксувати відхилення факту від плану достатньо швидко, щоб на нього ще можна було відреагувати.

Диспетчерування виробництва — оперативний розподіл конкретних робіт між конкретними виконавцями та обладнанням і контроль за ходом їх виконання в реальному часі: диспетчер вирішує, яке замовлення піде на яке робоче місце просто зараз, з урахуванням завантаженості, наявності матеріалу й пріоритету. Диспетчерська служба працює на найдрібнішому рівні короткострокового горизонту: сам горизонт вимірюється днями й тижнями (рисунк 1), і там, де агрегатний план оперує місяцями, а MRP — тижнями, диспетчерування всередині нього оперує змінами й годинами.

Наскільки нетривіальним є, здавалося б, механічне завдання «яке замовлення на яку потужність», показує приклад підприємства, яке автоматизувало саме цей розподіл.

Кейс. Укрзалізниця: автоматизований розподіл вагонів у чергу на ремонт

Кейс за галузевим виданням із переказом офіційного повідомлення компанії

За повідомленням від 24.12.2025, Укрзалізниця впровадила автоматизовану систему розподілу вагонів у ремонт між власними ремонтними потужностями: система враховує завантаженість ремонтних підприємств, їхні виробничі можливості й територіальну близькість, щоб уникнути нерівномірного завантаження депо і мінімізувати вплив людського фактора. Тестова експлуатація почалася 01.01.2026, а заявлена мета — «єдина прозора черга на ремонт, що працює за зрозумілими цифровими правилами однаково для всіх клієнтів». За даними того самого видання, у 2024 році на власних потужностях і заводах відремонтовано 24 233 вантажні вагони — на 18,7% більше, ніж роком раніше.

Що саме автоматизує ця система — і чому «черга на ремонт» ремонтних потужностей є задачею диспетчерування, а не оперативно-календарного планування самого ремонту?

Система вирішує класичну задачу диспетчерування: не «скільки ремонтувати» (це вже задане річним планом) і не «в якому порядку виконувати роботи на одному робочому місці» (це задача правил пріоритетів з останнього розділу теми), а «яке саме депо отримає конкретний вагон просто зараз», з урахуванням завантаженості й географії — рішення, яке доти ухвалював диспетчер вручну. Межі кейсу: зростання обсягу ремонту на 18,7% не доводить, що дефіцит ремонтних потужностей закрито (обсяг ремонту й достатність потужностей — різні речі), а результати роботи самої автоматизованої системи (показники простою до і після) ще не публікувалися, оскільки вона працює менш ніж рік.

Вимірним відображенням якості диспетчерування служить показник завантаження: наскільки час, який роботи справді провели в обробці, близький до часу, який вони провели в системі загалом, від надходження до завершення. Різниця — це час, проведений у черзі в очікуванні вільного робочого місця, а не в самій роботі.

КОЕФІЦІЄНТИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ SCH-04

Завантаження = Сумарний час обробки / Сумарний час проходження · 100%

Сумарний час проходження включає і обробку, і очікування в черзі між операціями.

Приклад. Коефіцієнт завантаження ділянки за тиждень

SCH-04

Heizer J., Render B., Munson C. Operations Management, 2016, розділ 15 «Short-Term Scheduling», підрозділ «Priority Rules for Sequencing Jobs», utilization metric

ДАНО

За тиждень діляниця обробила партію замовлень. Сумарний час, який усі роботи фактично провели під обробкою на робочих місцях, — 126 годин. Сумарний час, який ті самі роботи провели в системі від надходження до завершення, включно з очікуванням у черзі, — 180 годин.

ФОРМУЛА

Завантаження = Сумарний час обробки / Сумарний час проходження · 100% (SCH-04)

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Завантаження = $126 / 180 = 0,700$.
2. У відсотках: $0,700 \cdot 100\% = 70,0\%$.

ВІДПОВІДЬ

Коефіцієнт завантаження діляниці за тиждень — 70,0%.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Решта 30% сумарного часу проходження — це не обробка, а очікування в черзі перед робочими місцями. Підвищити цей показник можна або скоротивши час обробки (це вже питання технології, не диспетчерування), або переглянувши правило, за яким диспетчер визначає, яка робота йде на вільне робоче місце першою, — саме цьому присвячено останній розділ теми.

Підсумок розділу. Оперативне управління доводить план до кожного робочого місця й контролює факт у режимі днів і годин — найкоротший горизонт із трьох, розглянутих у темі. Диспетчерування розподіляє конкретні роботи між конкретними потужностями в реальному часі; коефіцієнт завантаження вимірює, яку частку часу проходження робота справді провела в обробці, а не в черзі.

6.5 Матеріально-технічне забезпечення підприємства — функції та характеристика

Жоден план — ні агрегатний, ні оперативний — не виконується без матеріалу на робочому місці вчасно. Диспетчерування розподіляє вже наявні ресурси; матеріально-технічне забезпечення (МТЗ) відповідає за те, щоб ці ресурси взагалі опинилися на підприємстві до того, як їх запросить план. МТЗ — вид діяльності з постачання підприємства матеріальними ресурсами до початку виробництва: визначення потреби в сировині, матеріалах, паливі, енергії й обладнанні, їх закупівля, доставка, складування й розподіл між підрозділами.

Функції МТЗ поділяють на основні й допоміжні. Основні: визначення потреби в матеріальних ресурсах, їх закупівля, доставка, складування, розподіл між робочими місцями, укладання договорів із постачальниками й контроль виконання поставок. Допоміжні: маркетингові (вибір і оцінка постачальників) і юридичні (правове оформлення угод і захист прав власності). Обсяг завдань МТЗ складається з двох груп: матеріальне забезпечення самого виробничого процесу потрібною кількістю ресурсів належної якості у потрібний час і місце, і закупівля, складування та розподіл товарів для господарської діяльності підприємства загалом.

Вибір форми постачання — самостійне операційне рішення. Транзитна форма постачає ресурс безпосередньо від виробника споживачу, минаючи посередника: вона економічніша й швидша, але вимагає більших партій постачання, узгоджених наперед. Складська форма постачає через посередника: партії й строки менш жорсткі, але додаються витрати на зберігання на складі посередника. Вибір постачальника при цьому враховує не лише ціну, а й якість, умови доставки, фінансовий стан і здатність швидко змінювати обсяг чи асортимент постачання — саме ці критерії визначають, наскільки надійним буде вхід у розрахунки запасів наступного розділу теми.

Де закінчується МТЗ і починається управління запасами

МТЗ відповідає на питання «звідки взяти матеріал і як довести його до підприємства». Управління запасами, якому присвячено наступний розділ, відповідає на інше питання: «скільки матеріалу тримати на складі й коли подавати чергове замовлення постачальнику». Перше — про постачальника й логістику, друге — про політику складу; параметри МТЗ (надійність постачальника, час доставки) входять у розрахунок запасів як вхідні дані, а не навпаки.

Підсумок розділу. МТЗ забезпечує підприємство матеріальними ресурсами до початку виробництва: визначення потреби, закупівля, доставка, складування й розподіл, плюс маркетингові та юридичні допоміжні функції. Вибір транзитної чи складської форми постачання і вибір постачальника задають вхідні параметри — насамперед час постачання, — якими оперує наступний розділ теми.

6.6 Управління запасами — системи з фіксованим розміром замовлення і фіксованим інтервалом, ABC-аналіз

Виробничі запаси — товарно-матеріальні цінності, що очікують надходження до виробничого чи особистого споживання: запаси сировини й матеріалів, запаси незавершеного виробництва та запаси готової продукції. Мета управління запасами суперечлива за конструкцією: тримати запас достатньо високим, щоб виробництво не зупинилося через дефіцит, і водночас достатньо низьким, щоб не заморожувати обіговий капітал у витратах на зберігання. Управляти запасами означає свідомо обирати компроміс між двома групами витрат — витратами на оформлення замовлення (що дорожчі, коли замовляють часто дрібними партіями) і витратами на зберігання (що дорожчі, коли тримають великий запас рідкісними партіями).

Система з фіксованим розміром замовлення постійно контролює рівень запасу і подає чергове замовлення щоразу, коли запас опускається до наперед розрахованої точки замовлення, — при цьому обсяг замовлення завжди той самий.

Оптимальний розмір замовлення (EOQ) — це саме той фіксований обсяг, за якого сума витрат на оформлення замовлень і витрат на зберігання запасу за рік мінімальна: більший обсяг замовлення означає рідші замовлення (менші витрати на оформлення), але й більший середній запас на складі (більші витрати на зберігання), і навпаки.

ОПТИМАЛЬНИЙ РОЗМІР ЗАМОВЛЕННЯ (EOQ) EOQ-01

$$Q^* = \sqrt{(2DS / H)}$$

D — річний попит; S — вартість одного замовлення; H — вартість зберігання одиниці запасу за рік.

Приклад. Оптимальний розмір замовлення

EOQ-01

Капінос Г.І., Бабій І.В. Операційний менеджмент, 2013, розділ 6.2.4 «Системи управління запасами при незалежному попиті», с. 170–171, оптимальний розмір замовлення Q_{opt}

ДАНО

Річний попит на комплектувальну деталь — 7200 шт. Вартість оформлення одного замовлення — 450 грн. Вартість зберігання однієї одиниці запасу за рік — 18 грн.

ФОРМУЛА

$$Q^* = \sqrt{(2DS / H)} \text{ (EOQ-01)}$$

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. $2DS = 2 \cdot 7200 \cdot 450 = 6\,480\,000$.
2. $2DS / H = 6\,480\,000 / 18 = 360\,000$.
3. $Q^* = \sqrt{360\,000} = 600$ шт.
4. Перевірка кількості замовлень за рік: $D/Q^* = 7200/600 = 12$, тобто одне замовлення щомісяця.

ВІДПОВІДЬ

Оптимальний розмір замовлення — 600 шт., 12 замовлень на рік.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

При такому розмірі замовлення річні витрати на оформлення ($D/Q \cdot S = 12 \cdot 450 = 5400$) точно дорівнюють річним витратам на зберігання середнього запасу ($Q/2 \cdot H = 300 \cdot 18 = 5400$) — це не збіг, а визначальна властивість точки мінімуму EOQ: у ній обидві криві витрат перетинаються. Сумарні річні витрати на управління запасом у цій точці — 10 800 грн, і будь-яке відхилення розміру замовлення від 600 шт. в обидва боки цю суму лише збільшить.

Сам EOQ визначає лише скільки замовляти. Коли саме подавати замовлення, визначає інший параметр. Точка замовлення — рівень запасу, при досягненні якого потрібно подати чергове замовлення на поповнення, щоб нова партія надійшла точно до вичерпання наявного запасу; вона залежить від середнього попиту за період постачання та самого часу постачання.

ТОЧКА ЗАМОВЛЕННЯ (ROP) EOQ-03

$$ROP = \bar{d} \cdot L$$

$\bar{d}$ — середній попит за період; L — час постачання (lead time).

Формула точки замовлення без поправки справедлива лише за незмінного попиту й незмінного часу постачання. У реальності і попит, і час постачання коливаються, тому запас на рівні «голоного» ROP не захищає від дефіциту, якщо саме в цей цикл попит виявився вищим за середній. Страховий запас — додатковий обсяг понад розрахунковий ROP, який тримають саме на випадок такого відхилення; його розмір задає бажаний рівень обслуговування через коефіцієнт z (з таблиці нормального розподілу) і мінливість попиту за час постачання.

СТРАХОВИЙ ЗАПАС EOQ-04

$$SS = z \cdot \sigma_{dLT}$$

z — коефіцієнт рівня обслуговування; σ_{dLT} — стандартне відхилення попиту за час постачання.

Приклад. Точка замовлення зі страховим запасом

EOQ-03

Капінос Г.І., Бабій І.В. Операційний менеджмент, 2013, розділ 6.2.4 «Системи управління запасами при незалежному попиті», с. 171, точка повторного замовлення $R = d_{av} \cdot L$

ДАНО

Та сама деталь: річний попит 7200 шт., 300 робочих днів на рік, час постачання (lead time) — 6 днів. Стандартне відхилення попиту за час постачання — 20 шт. Бажаний рівень обслуговування — 95%, якому відповідає коефіцієнт $z = 1,65$.

ФОРМУЛА

$$ROP = \bar{d} \cdot L \text{ (EOQ-03); } SS = z \cdot \sigma_{dLT} \text{ (EOQ-04)}$$

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Середній попит за день: $\bar{d} = 7200/300 = 24$ шт./день.
2. Точка замовлення без страхового запасу: $ROP = 24 \cdot 6 = 144$ шт.
3. Страховий запас: $SS = 1,65 \cdot 20 = 33$ шт.
4. Точка замовлення зі страховим запасом: $144 + 33 = 177$ шт.

ВІДПОВІДЬ

Замовлення слід подавати, коли запас на складі опускається до 177 шт.; з них 33 шт. — страховий запас на випадок сплеску попиту під час постачання.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Без страхового запасу система забезпечила б рівень обслуговування рівно 50% — стільки випадків, скільки попит за час постачання виявиться нижчим за середній, стільки й вищим. Страховий запас у 33 шт. підіймає цей рівень до 95%, тобто дефіцит до надходження нової партії стається лише приблизно в одному циклі поповнення з двадцяти. Вищий бажаний рівень обслуговування (99%, $z \approx 2,33$) вимагав би ще більшого страхового запасу — рівень обслуговування і розмір запасу завжди рухаються в одному напрямку.

Система з фіксованим розміром замовлення — не єдина. Система з фіксованим інтервалом поставки контролює запас не безперервно, а лише в моменти, віддалені один від одного на сталий інтервал T , і щоразу замовляє не сталий обсяг, а поповнення до наперед заданого рівня «поповнення до» S , який має покрити попит на весь інтервал плюс час постачання, плюс страховий запас.

СИСТЕМА З ФІКСОВАНИМ ІНТЕРВАЛОМ ПОСТАВКИ (ORDER-UP-TO) EOQ-06

$$S = \bar{d} \cdot (T + L) + SS$$

S — рівень «поповнення до»; T — інтервал між замовленнями; L — час постачання; SS — страховий запас на весь період $T + L$: $z \cdot \sigma$ за $T + L$, а не лише за L .

Приклад. Замовлення в системі з фіксованим інтервалом поставки

EOQ-06

Капінос Г.І., Бабій І.В. Операційний менеджмент, 2013, розділ 6.2.4 «Системи управління запасами при незалежному попиті», с. 177–178, система з фіксованою періодичністю замовлення $q = d_{av} \cdot (T + L) + z \cdot \sigma_{T+L} - I$

ДАНО

Та сама деталь: $\bar{d} = 24$ шт./день, час постачання $L = 6$ днів, рівень обслуговування 95% ($z = 1,65$). Інтервал між замовленнями зафіксовано на $T = 30$ днів. Стандартне відхилення попиту за весь період $T + L = 36$ днів — 49 шт. (більше за 20 шт. за сам час постачання, бо період довший). На день чергового перегляду на складі є 210 шт., раніше розміщених і ще не отриманих замовлень немає.

ФОРМУЛА

$$S = \bar{d} \cdot (T + L) + SS; SS = z \cdot \sigma \text{ за } T + L \text{ (EOQ-06)}$$

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Страховий запас на період $T + L$: $SS = 1,65 \cdot 49 \approx 80,9 \approx 81$ шт.
2. Рівень «поповнення до»: $S = 24 \cdot (30 + 6) + 81 = 24 \cdot 36 + 81 = 864 + 81 = 945$ шт.
3. Обсяг замовлення в цей перегляд: $Q = S - \text{Наявний запас} = 945 - 210 = 735$ шт.

ВІДПОВІДЬ

Потрібно замовити 735 шт., щоб довести запас до рівня «поповнення до» 945 шт.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

На відміну від EOQ-моделі, тут обсяг замовлення щоразу різний — сталий лише інтервал між замовленнями T , а не розмір партії. Рівень S тут вищий за просту точку замовлення (945 проти 177), бо він має покрити не лише час постачання L , а весь інтервал між переглядами T плюс час постачання: запас витрачається довше, доки надійде наступна партія, тому й страховий запас потрібен більший — 81 шт. проти 33 шт. у системі з фіксованим розміром замовлення. Система з фіксованим інтервалом зручна, коли постачальник фізично приймає замовлення лише за розкладом (наприклад, раз на місяць), навіть якщо математично EOQ-модель дала б менший середній запас.

Не всі позиції запасу заслуговують на однаково ретельний облік: позицій завжди багато, а управлінської уваги мало. ABC-аналіз запасів ранжує позиції за спадом частки у вартісному споживанні й розподіляє їх кумулятивно на групи: невелика кількість позицій із найбільшою вартісною часткою (група А) отримує найретельніший контроль — точний облік, часті перегляди, індивідуальний розрахунок EOQ; позиції з найменшою вартісною часткою (група С) — спрощений облік і рідкісні перегляди великими партіями.

ABC-АНАЛІЗ ЗАПАСІВ EOQ-05

ранжування позицій за спадом частки у вартісному споживанні, кумулятивно

Позиції ранжують за спадом частки у вартісному річному споживанні, кумулятивно; конкретні порогові відсотки груп різняться між джерелами й підприємствами.

Приклад. ABC-аналіз восьми позицій запасу EOQ-05

Омельяненко Т.В., Осокіна А.В. Операційний менеджмент, 2016, розділ 6 «Управління запасами», п. 6.2, слайд 6.14 «Модель ABC-аналізу», с. 114

ДАНО

Річне вартісне споживання восьми позицій складу, грн: №1 — 500 000; №2 — 250 000; №3 — 100 000; №4 — 60 000; №5 — 40 000; №6 — 20 000; №7 — 15 000; №8 — 15 000. Разом — 1 000 000 грн.

ФОРМУЛА

ранжування за спадом частки у вартісному споживанні, кумулятивно (EOQ-05)

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Позиції вже впорядковані за спадом вартості; рахуємо частку кожної й кумулятивну суму часток.
2. №1: 50,0% (кум. 50,0%). №2: 25,0% (кум. 75,0%). №3: 10,0% (кум. 85,0%).
3. №4: 6,0% (кум. 91,0%). №5: 4,0% (кум. 95,0%). №6: 2,0% (кум. 97,0%).
4. №7: 1,5% (кум. 98,5%). №8: 1,5% (кум. 100,0%).

ВІДПОВІДЬ

Три позиції (№1–№3, 37,5% асортименту) дають 85,0% вартісного споживання; позиції №4–№6 додають ще 12,0%; №7–№8 — останні 3,0%.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

У цьому прикладі перші три позиції дають переважну частку вартості — типова для ABC-аналізу картина концентрації, хоча точні порогові відсотки груп А, В і С різняться між джерелами й підприємствами, тому єдиного універсального порогу (наприклад, рівно 80/15/5) курс не стверджує. Управлінський висновок не залежить від точних порогів: позиції №1–№3 виправдовують індивідуальний розрахунок EOQ і точку замовлення з частим переглядом, а позиції №7–№8 — спрощений облік і замовлення великими рідкісними партіями, бо помилка в їх управлінні коштує підприємству відносно мало.

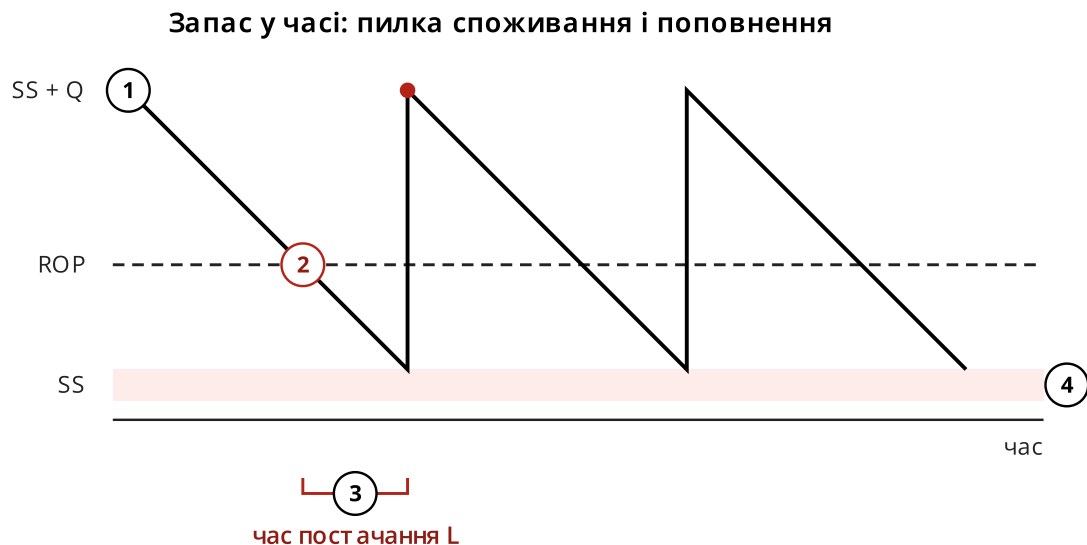


Рисунок 3. Цикл EOQ: запас спадає з постійним темпом споживання, у точці замовлення подається нова партія, яка надходить через час постачання L.

- ① Запас спадає лінійно з постійним темпом споживання між поставками
- ② Точка замовлення ROP: рівень запасу, при якому подають нове замовлення
- ③ Час постачання L: інтервал між поданням замовлення і надходженням партії
- ④ Страховий запас SS: буфер під лінією ROP на випадок сплеску попиту під час L

Графік запасу в часі у вигляді пилки. Рівень запасу спадає прямою лінією зверху вниз з постійним нахилом — темпом споживання, доки не досягне горизонтальної пунктирної лінії точки замовлення ROP. У цей момент подається замовлення; через інтервал L, позначений дужкою на осі часу, надходить нова партія розміром Q, і рівень запасу різко підстрибує вгору, після чого спад повторюється. Під лінією ROP — вузька кармінова смуга страхового запасу SS, яку лінія запасу в нормі не перетинає.

Кейс сезонного зберігання зерна показує, як буфер запасу працює не проти рівномірного постачання, а проти рівномірної переробки за вкрай нерівномірного надходження сировини.

Кейс. Kernel: елеватор як буфер між сезонним урожаєм і цілорічною переробкою

Кейс за аудованим річним звітом компанії FY2025 — найвищий рівень верифікації серед кейсів курсу

За аудованим річним звітом Kernel за фінансовий рік, що завершився 30.06.2025, мережа налічує 29 елеваторів; приймання врожаю починається пшеницею в липні й завершується кукурудзою в листопаді–грудні, що дає сезонний оборот понад 1,0 ємності мережі за сезон. Зернові запаси групи на кінець звітнього року становили 209 тис. т. У вересні 2026 року компанія повідомила про закупівлю модульного зерносховища: перша одиниця місткістю 3400 т заповнена за два дні, а всього замовлено 40 000 т такого зберігання — на тлі обмежень чорноморського експорту, коли альтернативні маршрути пропускали істотно менше вантажу на місяць, ніж Великий Одеський вузол у першому півріччі 2026 року.

Яку саме функцію запасу виконує елеватор — і чим модульне зерносховище відрізняється від звичайного поповнення запасу?

Елеватор тут виконує ту саму функцію, що страховий запас у розрахунках цього розділу, — тільки в масштабі цілого підприємства: сировина надходить у край нерівномірно (під липень–грудень), а переробні заводи працюють цілорічно рівномірно, тому елеватор поглинає різницю темпів, як запас поглинає різницю між сталим виробництвом і коливним попитом у стратегії рівномірного виробництва. Модульне зерносховище — аварійне розширення цього буфера під логістичний шок, а не звичайне поповнення за розрахунком ROP: компанія прямо називає його реакцією на обмеження експортних маршрутів, а не на плановий цикл поставок. Межі кейсу: купівля 40 000 т модульного зберігання не «розв'язує» проблему експортної блокади — це буфер лише на кілька днів для компанії, що оперує мільйонами тонн, а 87% завантаження переробних потужностей групи не можна переносити на галузь: у масштабі України розрив між потужністю переробки і врожаєм сягає 8,5 млн т.

Наскільки короткий цикл поповнення запасу задає масштаб буфера в роздрібній точці продажу, показує модель поповнення магазинів у мережі швидкої моди.

Кейс. Zara/Inditex: поповнення двічі на тиждень як параметр циклу запасу магазину

Кейс за офіційним пресрелізом FY2025 і недатованою сторінкою поширених запитань компанії

За офіційною сторінкою поширених запитань Inditex (дата на сторінці не вказана), розподіл товару в магазини мережі відбувається двічі на тиждень, і від моменту надходження замовлення в розподільчий центр до доставки товару в магазин минає в середньому 36 годин для європейських магазинів і до 48 годин для магазинів Америки й Азії. За пресрелізом підсумків FY2025 (11.03.2026), компанія окремо назвала суму вкладень у логістичну потужність — по 900 млн євро на рік у 2024 і 2025 фінансових роках саме на нарощування потужності розподілу.

Як частота поповнення й час постачання до магазину напряду задають, який запас потрібно тримати в торговій точці?

Частота «двічі на тиждень» — це фактично інтервал T системи з фіксованим інтервалом поставки, застосований до поповнення магазину; 36–48 год — це час постачання L у тій самій формулі. Короткий T і короткий L разом дозволяють тримати менший рівень «поповнення до» S у самому магазині, ніж знадобився б за рідкіснішого циклу поповнення, — саме за це підприємство свідомо платить 900 млн євро на рік у логістичну потужність, яка й уможливорює такий короткий цикл. Межі кейсу: 36–48 годин описують відрізок «розподільчий центр → магазин», а не весь шлях «від дизайну до полиці» — поширене «два тижні від ескізу до вішака» на цій сторінці й у пресрелізі відсутні і в цьому дослідженні не підтверджене; сторінка з даними про постачальників і час доставки не датована, тому впевнено віднести цифри до конкретного звітного року не можна.

Підсумок розділу. Управління запасами балансує витрати на замовлення проти витрат на зберігання. EOQ дає оптимальний розмір замовлення в системі з фіксованим розміром; точка замовлення й страховий запас визначають, коли замовляти і скільки

тримати про запас; система з фіксованим інтервалом поставки замовляє не сталий обсяг, а поповнення до заданого рівня через сталий проміжок часу. ABC-аналіз спрямовує управлінську увагу на позиції, що дають найбільшу частку вартості, а не на всі позиції порівну.

6.7 Планування потреби в матеріалах — специфікація виробу, бруто- і нетто-потреба, розмір партії

Планування потреби в матеріалах (MRP) розв'язує задачу, яку модель EOQ у принципі розв'язати не може: EOQ і точка замовлення працюють для незалежного попиту (готовий виріб, продаж якого не залежить від інших позицій), а попит на комплектувальні й вузли залежний — він виводиться напряду з плану випуску готового виробу. MRP переводить план випуску готових виробів (основний план-графік, MPS) у план замовлень на кожну деталь і вузол, з якого цей виріб складається, з урахуванням наявного запасу й уже запланованих надходжень.

Основа розрахунку — специфікація виробу (BOM): ієрархічний перелік усіх деталей, вузлів і матеріалів, з яких складається готовий виріб, із зазначенням, скільки одиниць кожного компонента потрібно на одну одиницю виробу вищого рівня. Специфікація багаторівнева: готовий виріб (рівень 0) складається з вузлів (рівень 1), кожен вузол — зі своїх деталей (рівень 2), і розгортання потреби йде рівень за рівнем, згори вниз.

На кожному рівні розрахунок проходить два кроки. Бруто-потреба — повна кількість компонента, потрібна для виконання плану виробництва рівня вище, без урахування того, що вже є на складі; вона визначається основним планом-графіком і специфікацією виробу.

БРУТТО-ПОТРЕБА MRP-01

Визначається основним планом-графіком виробництва (MPS) і специфікацією виробу (BOM)

Визначається основним планом-графіком виробництва (MPS) і специфікацією виробу (BOM).

Нетто-потреба — те, що справді потрібно замовити чи виготовити понад те, що вже є: бруто-потреба за вирахуванням наявного запасу й уже запланованих надходжень, з поправкою на резервування. Якщо різниця виходить від'ємною, нетто-потребу прирівнюють до нуля — замовляти «в мінус» немає сенсу.

НЕТТО-ПОТРЕБА MRP-02

Нетто = Брутто + Резервування – (Наявний запас + Заплановані надходження)

Від'ємне значення прирівнюється до нуля.

Найпростіший спосіб перевести нетто-потребу в конкретне замовлення — розмір партії «партія за партією»: замовляти рівно стільки, скільки показала нетто-потреба цього періоду, без запасу понад неї.

РОЗМІР ПАРТІЇ «ПАРТІЯ ЗА ПАРТІЄЮ» (LOT-FOR-LOT) MRP-03

Qзамовлення = Нетто-потреба періоду

Без страхового запасу понад поточну потребу — мінімізує запас, але максимізує кількість замовлень.

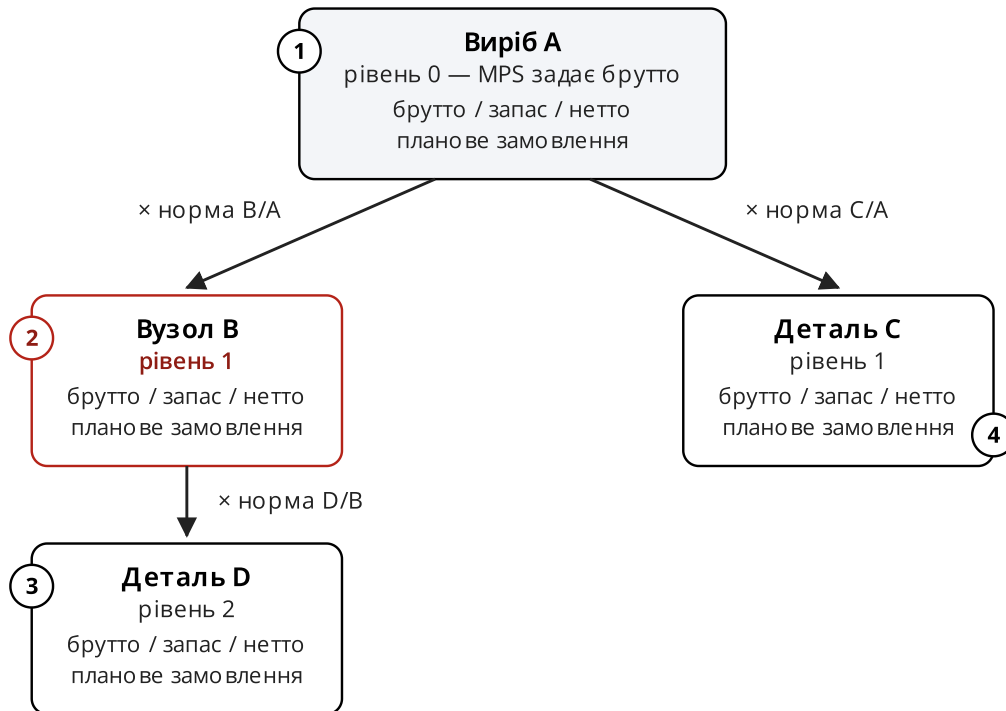


Рисунок 4. Розгортання потреби за триярусною специфікацією: брутто-потреба нижчого рівня виводиться з планового замовлення вищого.

- ① Рівень 0 — готовий виріб: брутто-потреба задана основним планом-графіком (MPS)
- ② Рівень 1 — вузли: брутто-потреба = планове замовлення рівня 0 × норма витрати на виріб
- ③ Рівень 2 — деталі: брутто-потреба = планове замовлення свого батьківського вузла × норма витрати
- ④ На кожному рівні: нетто = брутто – наявний запас; планове замовлення виходить з урахуванням часу постачання

Дерево специфікації виробу з трьох рівнів. Угорі один блок готового виробу А — рівень 0, з підписом «MPS задає брутто-потребу». Від нього дві стрілки вниз до вузлів В і С рівня 1, кожна стрілка підписана нормою витрати (кількість В і С на один виріб А). Від вузла В ще одна стрілка вниз до деталі D рівня 2, підписана нормою витрати D на один В. Під кожним блоком — міні-таблиця з чотирма рядками: брутто-потреба, наявний запас, нетто-потреба, планове замовлення. Стрілки показують, що планове замовлення батьківського рівня стає множником для брутто-потреби дочірнього рівня.

Приклад. Розгортання потреби за триярусною специфікацією виробу

MRP-01

Гевко І. Операційний менеджмент, 2017, тема 12 «Планування потреби в матеріалах і ресурсах», п. 12.1 «Модель потреби залежних запасів», с. 109–110, повна потреба

ДАНО

Виріб А (рівень 0) складається з 2 вузлів В і 3 деталей С (рівень 1). Вузол В, своєю чергою, складається з 4 деталей D (рівень 2). Основний план-графік вимагає випустити 100 виробів А. Наявний запас: А — 10 шт., В — 30 шт., С — 0 шт., D — 100 шт. Запланованих надходжень і резервувань немає. Розмір партії на всіх рівнях — «партія за партією».

ФОРМУЛА

Брутто = MPS або планове замовлення батьківського рівня × норма витрати (MRP-01); **Нетто** = Брутто – Наявний запас (MRP-02); **Qзамовлення** = Нетто-потреба (MRP-03)

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Рівень 0 (А): брутто-потреба = MPS = 100 шт. Нетто = $100 - 10 = 90$ шт. Планове замовлення (виробництво) А = 90 шт.
2. Рівень 1 (В): брутто-потреба = планове замовлення А × норма В/А = $90 \times 2 = 180$ шт. Нетто = $180 - 30 = 150$ шт. Планове замовлення В = 150 шт.
3. Рівень 1 (С): брутто-потреба = $90 \times 3 = 270$ шт. Нетто = $270 - 0 = 270$ шт. Планове замовлення С = 270 шт.
4. Рівень 2 (D, дочірній вузла В): брутто-потреба = планове замовлення В × норма D/B = $150 \times 4 = 600$ шт. Нетто = $600 - 100 = 500$ шт. Планове замовлення D = 500 шт.

ВІДПОВІДЬ

Планові замовлення: А — 90 шт., В — 150 шт., С — 270 шт., D — 500 шт.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Брутто-потреба кожного дочірнього рівня виводиться не з попиту ринку напряму, а з планового замовлення свого батьківського рівня, помноженого на норму витрати, — це і є залежний попит із розділу про управління запасами: попит на D залежить від попиту на В, а не від власного прогнозу продажів D. Саме тому запас 100 шт. D, який виглядав солідним порівняно із запасом 30 шт. В, насправді закриває менше половини нетто-потреби рівня В, помноженої на норму витрати: 600 потрібно, 100 є, 500 доведеться замовити чи виготовити.

Попередній приклад розгортає потребу лише на один момент часу: він відповідає на питання «скільки», але не на питання «коли саме подати замовлення». У реальному плануванні MRP веде часовий графік — «time-phased record» — окремо для кожної позиції специфікації: скільки потрібно щотижня, скільки вже в дорозі, який прогнозований запас лишається на кінець тижня, і, головне, коли саме запускати замовлення, щоб воно надійшло точно до моменту потреби, а не пізніше й не намарно раніше.

Виріб А (рівень 0, час постачання (виробництва) — 1 тиждень, розмір партії «партія за партією», початковий запас 20 шт.) потрібен за основним планом-графіком у кількості 50 шт. на тижні 4 і 70 шт. на тижні 6.

Показник, тиждень	1	2	3	4	5	6
Брутто-потреба	0	0	0	50	0	70
Заплановані надходження	0	0	0	0	0	0
Прогнозований запас	20	20	20	0	0	0
Нетто-потреба	0	0	0	30	0	70
Планове надходження замовлення	0	0	0	30	0	70
Запуск замовлення (зсув на 1 тиждень)	0	0	30	0	70	0

Вузол В (рівень 1, 2 шт. на один виріб А, час постачання — 2 тижні, початковий запас 40 шт.) отримує бруutto-потребу не з MPS, а з рядка «запуск замовлення» вузла А, помноженого на норму витрати: тиждень 3 — $30 \cdot 2 = 60$ шт., тиждень 5 — $70 \cdot 2 = 140$ шт. Розмір партії В — не «партія за партією», а фіксований лот, узятий з EOQ-01: за річного попиту 600 шт., вартості замовлення 100 грн і вартості зберігання 12 грн за рік $EOQ = \sqrt{(2 \cdot 600 \cdot 100 / 12)} = \sqrt{10\,000} = 100$ шт. Кожне замовлення В кратно цьому 100 шт.

Показник, тиждень	1	2	3	4	5	6
Брутто-потреба	0	0	60	0	140	0
Заплановані надходження	0	0	0	0	0	0
Прогнозований запас	40	40	80	80	40	40
Нетто-потреба	0	0	20	0	60	0
Планове надходження замовлення (лот 100 шт.)	0	0	100	0	100	0
Запуск замовлення (зсув на 2 тижні)	100	0	100	0	0	0

Приклад. Часовий графік MRP: запуск замовлення з фіксованим лотом і зсувом на час постачання

MRP-02

Heizer J., Render B., Munson C. Operations Management, 2016, розділ 14 «Material Requirements Planning (MRP) and ERP», підрозділ «MRP Structure», net requirements

ДАНО

Дані з таблиць вище: для В на тижні 3 прогнозований запас до надходження — 40 шт., бруutto-потреба тижня 3 — 60 шт.; фіксований лот — 100 шт. (EOQ-01); час постачання В — 2 тижні.

ФОРМУЛА

Нетто = Брутто + Резервування – (Прогнозований запас + Заплановані надходження), тут резервувань і запланованих надходжень немає (MRP-02); Планове надходження = найближче

кратне лота $\geq$ нетто-потреби; Запуск = надходження, зсунуте назад на час постачання

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Нетто-потреба тижня 3: $60 - 40 = 20$ шт. — запасу не вистачає.
2. Лот В дорівнює 100 шт., тож навіть 20 шт. нетто-потреби покриває ціле замовлення в 100 шт., а не рівно 20, як було б за правилом «партія за партією» (MRP-03): планове надходження тижня 3 = 100 шт.
3. Час постачання В — 2 тижні, тому запуск цього замовлення зсувають на 2 тижні назад від тижня надходження: $3 - 2 = 1$, тобто запускають на тижні 1.
4. Те саме на тижні 5: бруто 140, запас на початок тижня 80, нетто = $140 - 80 = 60$ шт.; лот 100 шт. покриває й цю потребу; запуск зсувають на $5 - 2 = 3$, тобто на тиждень 3.

ВІДПОВІДЬ

Замовлення В запускають на тижнях 1 і 3, кожне по 100 шт., щоб надходження прийшли рівно на тижні 3 і 5 — саме тоді, коли їх вимагає запуск замовлення А.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Фіксований лот (тут — розмір EOQ, порахований для В окремо від його ролі компонента) економить на оформленні замовлень, але залишає надлишок запасу там, де «партія за партією» лишила б нуль: після тижня 3 в запасі В залишається $40 + 100 - 60 = 80$ шт. понад потребу цього тижня. Другий висновок — про час: запуск замовлення В на тижні 1 випереджає запуск замовлення А на тижні 3 на два тижні рівно тому, що час постачання В (2 тижні) довший за виробничий цикл, у який воно має встигнути. Це та сама логіка, яку показує рисунок 4: планове замовлення виходить не в момент потреби, а зі зсувом назад на час постачання, і чим глибший рівень специфікації, тим раніше, у календарі, треба було вже почати.

Підсумок розділу. MRP переводить план випуску готового виробу в план замовлень на кожен компонент через специфікацію виробу, рівень за рівнем: брутто-потреба задається планом вищого рівня, нетто-потреба віднімає наявний запас, а розмір партії — «партія за партією» чи фіксований лот — визначає, скільки замовити. Часовий графік додає третій вимір: запуск кожного замовлення зсувають назад від дати потреби рівно на час постачання, і на нижчих рівнях специфікації зсуви всіх рівнів вище накопичуються, тому замовлення доводиться запускати ще раніше.

6.8 Контроль в операційному менеджменті; правила пріоритетів у складанні черг робіт

Контроль в операційному менеджменті — систематичний процес, яким менеджер регулює діяльність системи, забезпечуючи її відповідність планам, цілям і нормативним показникам: вимірює факт, порівнює з планом і діє на розбіжність. На найкоротшому горизонті теми контроль звужується до конкретної задачі: коли на одному робочому місці одночасно чекають кілька завдань, у якому порядку їх виконувати.

Правила пріоритетів — формальні правила, за якими визначають порядок виконання завдань у черзі на одну потужність; вибір правила напряду визначає, який критерій черги буде оптимізовано, а який — принесено в жертву.

Найпростіше правило — черговість за порядком надходження (FCFS, first come — first served): жодного сортування, завдання виконують у тому порядку, у якому вони прийшли в чергу. Саме з ним порівнюють усі змістовні правила пріоритетів, бо FCFS не оптимізує жодного критерію — він лише фіксує те, що сталося б без диспетчерського втручання. Правило SPT (найкоротша операція першою) сортує завдання за зростанням тривалості обробки: спочатку виконують те, що займе найменше часу. Правило EDD (найближчий строк першим) сортує завдання за зростанням директивного строку: спочатку виконують те, що має бути готове найшвидше. Усі три правила дають ту саму суму часу обробки на одну й ту саму чергу, але по-різному її розподіляють у часі, і тому по-різному впливають на чотири показники якості обслуговування черги: середній час виконання, середню кількість завдань у системі, завантаження робочого місця і середнє запізнєння. Запізнєння завдання рахують лише тоді, коли воно справді запізнилося: $\max(0; \text{момент завершення} - \text{директивний строк})$, тобто завдання, виконане раніше строку, має запізнєння 0, а не від'ємне; середнє запізнєння — сума таких днів запізнєння, поділена на кількість усіх завдань черги.

ПРАВИЛО SPT (НАЙКОРОТША ОПЕРАЦІЯ ПЕРШОЮ) SCH-01

сортування завдань за зростанням тривалості обробки

Мінімізує середній час виконання і середнє число завдань у черзі.

ПРАВИЛО EDD (НАЙБЛИЖЧИЙ СТРОК ПЕРШИМ) SCH-02

сортування завдань за зростанням директивного строку

Мінімізує максимальне запізнення серед усіх завдань черги.

Приклад. Черга з п'яти завдань: FCFS, SPT і EDD за повним набором показників

SCH-01

Heizer J., Render B., Munson C. Operations Management, 2016, розділ 15 «Short-Term Scheduling», підрозділ «Priority Rules for Sequencing Jobs», SPT

ДАНО

На одному робочому місці одночасно чекають п'ять завдань (тривалість обробки і директивний строк у днях від початку відліку, у порядку надходження): А — 4 дні, строк 14; В — 7 днів, строк 9; С — 2 дні, строк 19; D — 6 днів, строк 12; Е — 3 дні, строк 6. Сумарний час обробки всіх п'яти завдань (і, отже, makespan за будь-якою послідовністю) — $4+7+2+6+3 = 22$ дні.

ФОРМУЛА

SPT — за зростанням тривалості (SCH-01); EDD — за зростанням строку (SCH-02); Завантаження = Σ обробки / Σ проходження (SCH-04); Середня кількість завдань у системі $L = \lambda \cdot W$, де $\lambda = n / \text{makespan}$, $W = \Sigma$ проходження / n , тобто $L = \Sigma$ проходження / makespan (закон Літтла, CAP-04); Запізнення завдання = $\max(0; \text{завершення} - \text{строк})$; Середнє запізнення = Σ запізнень / n

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. FCFS-послідовність (порядок надходження): A(4), B(7), C(2), D(6), E(3). Моменти завершення: 4, 11, 13, 19, 22; сума проходження $\Sigma = 69$. Середній час виконання $= 69/5 = 13,8$ дня. Запізнення $\max(0; \text{завершення} - \text{строк})$: A: 0; B: 2; C: 0; D: 7; E: 16; сума = 25, середнє запізнення $= 25/5 = 5,0$ дня; максимальне = 16 днів.
2. SPT-послідовність: C(2), E(3), A(4), D(6), B(7). Моменти завершення: 2, 5, 9, 15, 22; $\Sigma = 53$. Середній час виконання $= 53/5 = 10,6$ дня. Запізнення: C: 0; E: 0; A: 0; D: 3; B: 13; сума = 16, середнє $= 16/5 = 3,2$ дня; максимальне = 13 днів.
3. EDD-послідовність: E(3, строк 6), B(7, строк 9), D(6, строк 12), A(4, строк 14), C(2, строк 19). Моменти завершення: 3, 10, 16, 20, 22; $\Sigma = 71$. Середній час виконання $= 71/5 = 14,2$ дня. Запізнення: E: 0; B: 1; D: 4; A: 6; C: 3; сума = 14, середнє $= 14/5 = 2,8$ дня; максимальне = 6 днів.
4. Завантаження (SCH-04) і середня кількість завдань у системі (CAP-04) для кожної послідовності: FCFS — $22/69 \approx 31,9\%$, $69/22 \approx 3,14$ завдання; SPT — $22/53 \approx 41,5\%$, $53/22 \approx 2,41$ завдання; EDD — $22/71 \approx 31,0\%$, $71/22 \approx 3,23$ завдання.

ВІДПОВІДЬ

FCFS: середній час 13,8 дня, середнє запізнення 5,0 дня, максимальне 16 днів, завантаження 31,9%, у системі 3,14 завдання. SPT: 10,6 дня, 3,2 дня, 13 днів, 41,5%, 2,41 завдання. EDD: 14,2 дня, 2,8 дня, 6 днів, 31,0%, 3,23 завдання.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Жодна послідовність не виграє за всіма показниками одразу, і FCFS не виграє за жодним: SPT дає найкоротший середній час виконання, найвище завантаження й найменшу середню кількість завдань у черзі (наслідок закону Літтла — коротший середній час перебування при тому самому темпі надходження завжди означає менше завдань у системі одночасно), але його максимальне запізнення — 13 днів, більш ніж удвічі більше, ніж у EDD. EDD у цьому прикладі мінімізує і максимальне запізнення (6 днів), і середнє (2,8 дня проти 3,2 у SPT і 5,0 у FCFS), хоча має

найдовший середній час виконання. FCFS не мінімізує жодного з чотирьох показників: він програє SPT за швидкістю й завантаженням, а EDD — за запізненням, і залишається на ділянці лише там, де диспетчер не має ресурсу сортувати чергу свідомо.

Коли ті самі завдання мають пройти не одне, а два робочих місця по черзі в одному порядку, задачу мінімізації сумарного часу виконання всієї партії розв'язує правило Джонсона: завдання з мінімальним часом обробки на першому верстаті ставлять на початок черги, а з мінімальним часом на другому верстаті — у кінець, і так по спадній, доки всі завдання не впорядковано.

ПРАВИЛО ДЖОНСОНА (2 ВЕРСТАТИ) SCH-03

завдання з мінімальним часом на 1-му верстаті — на початок черги, з мінімальним часом на 2-му — у кінець

Мінімізує сумарний час виконання (makespan) усієї партії завдань на двох послідовних верстатах.

Приклад. Правило Джонсона для п'яти завдань на двох верстатах

SCH-03

Гевко І. Операційний менеджмент, 2017, тема 13 «Оперативно-календарне планування виробництва», п. 13.3 «Встановлення послідовності робіт», с. 118, правило Джонсона

ДАНО

П'ять завдань проходять два верстати в одному порядку; час обробки, днів: J1 — верстат1: 5, верстат2: 4; J2 — 3 і 6; J3 — 8 і 2; J4 — 2 і 9; J5 — 7 і 5.

ФОРМУЛА

Мінімум часу на 1-му верстаті — на початок черги; мінімум на 2-му — у кінець (SCH-03)

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Найменший час серед усіх 10 значень — 2 дні, і належить J4 на верстаті 1: J4 ставимо першим.
2. Наступний найменший — 2 дні, J3 на верстаті 2: J3 ставимо останнім.
3. З решти (J1, J2, J5) найменший — 3 дні, J2 на верстаті 1: J2 ставимо другим (наступна вільна позиція з початку).
4. З решти (J1, J5) найменший — 4 дні, J1 на верстаті 2: J1 ставимо передостаннім (наступна вільна позиція з кінця).
5. Лишається J5 — ставимо в єдину вільну позицію, третю. Послідовність: J4, J2, J5, J1, J3.
6. Сумарний час виконання (makespan) за цією послідовністю — 28 днів, проти 32 днів у довільному порядку J1–J5 — на 4 дні, або 12,5%, менше.

ВІДПОВІДЬ

Оптимальна послідовність за правилом Джонсона: J4, J2, J5, J1, J3; сумарний час виконання всієї партії — 28 днів.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Правило працює лише тоді, коли всі завдання проходять верстати в тому самому порядку (перший, потім другий) — це «протокова» задача двох верстатів, а не довільний маршрут. Виграш у 4 дні тут дає той самий ресурс — послідовність обробки, — без жодного додаткового обладнання чи понаднормового часу: чисто організаційне рішення, як і диспетчерування загалом.

Обидва попередні правила спираються лише на один параметр завдання — або тривалість, або строк. Правило критичного відношення поєднує обидва одразу в динамічному показнику, який змінюється щодня в міру наближення строку.

ПРАВИЛО КРИТИЧНОГО ВІДНОШЕННЯ (CR) SCH-05

CR = (Директивний строк – Поточна дата) / Час, що залишився на обробку

CR < 1 — завдання відстає від графіка; CR > 1 — випереджає; найменший CR виконують першим.

Приклад. Черговість за критичним відношенням

SCH-05

Гевко І. Операційний менеджмент, 2017, тема 13 «Оперативно-календарне планування виробництва», п. 13.3 «Встановлення послідовності робіт», с. 118, метод критичного відношення

ДАНО

Сьогодні — умовний день 0. Чотири завдання очікують на робочому місці: X — строк через 10 днів, залишилось 5 днів обробки; Y — строк через 6 днів, залишилось 6 днів обробки; Z — строк через 4 дні, залишилось 8 днів обробки; W — строк через 15 днів, залишилось 3 дні обробки.

ФОРМУЛА

CR = (Директивний строк – Поточна дата) / Час, що залишився на обробку (SCH-05)

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. $CR(X) = (10 - 0) / 5 = 2,0$.
2. $CR(Y) = (6 - 0) / 6 = 1,0$.
3. $CR(Z) = (4 - 0) / 8 = 0,5$.
4. $CR(W) = (15 - 0) / 3 = 5,0$.
5. Сортуюмо за зростанням CR (найменший — найтерміновіший): Z (0,5), Y (1,0), X (2,0), W (5,0).

ВІДПОВІДЬ

Черговість виконання: Z, Y, X, W.**ІНТЕРПРЕТАЦІЯ**

$CR(Z) = 0,5$ означає, що часу на обробку залишилось удвічі більше, ніж часу до строку, — завдання вже відстає від графіка і йде першим. $CR(Y) = 1,0$ означає точний збіг — завдання йде за графіком без запасу й без відставання. $CR(W) = 5,0$ — час до строку вп'ятеро перевищує потрібний на обробку, тобто запас часу великий, і завдання може почекати. На відміну від SPT і EDD, які фіксують порядок один раз, критичне відношення перераховують щодня: завдання, яке сьогодні мало запас часу, завтра може стати терміновим, якщо чекатиме в черзі занадто довго.

Наскільки дорого коштує колапс саме підсистеми планування, а не операційної переваги загалом, показує зрив у компанії, чия бізнес-модель роками вважалася зразком операційної ефективності.

Кейс. Southwest Airlines: колапс планування екіпажів під піковим навантаженням

Кейс за формою 10-K компанії (SEC) і пресрелізом Міністерства транспорту США

За формою 10-K компанії, використання єдиного типу літака Boeing 737 і мережа «точка-точка» дають спрощене планування, обслуговування й навчання персоналу та високу утилізацію активів, бо літак проводить менше часу на землі. Проте за зимового шторму Elliott у грудні 2022 року компанія не змогла відновити операції так само швидко, як конкуренти: за пресрелізом Міністерства транспорту США від 18.12.2023, скасовано 16 900 рейсів і залишено без обслуговування понад два мільйони пасажирів; врегулювання встановило цивільний штраф 140 млн дол., з яких 90 млн дол. — на систему компенсацій майбутнім пасажиром, а компанія додатково вже виплатила понад 600 млн дол. повернень і відшкодувань. За свідченнями представника профспілки пілотів на слуханні Сенату США 09.02.2023, компанія використовувала дві непов'язані IT-системи

для оптимізації рейсів і для планування екіпажів, які під час кризи давали суперечливі рекомендації, тому до 27.12.2022 екіпажі розподіляли вручну.

Чому уніфікований парк літаків і високий показник утилізації не захистили компанію від колапсу саме в грудні 2022 року — і до якої підсистеми належав збій?

Уніфікований парк і швидкий розворот — структурні рішення теми 2, оптимізовані під нормальне навантаження; вони не рятують, коли зривається зовсім інша підсистема — планування черги призначень екіпажів на рейси під піковим навантаженням, тобто задача того самого класу, що й правила пріоритетів цього розділу, тільки на масштабі тисяч рейсів і десятків тисяч працівників одночасно. Операційна перевага в одній підсистемі не компенсує відмову іншої: без надійного правила чи інструмента розподілу ресурсів у пік ручне вирішення чергу лише накопичує. Межі кейсу: штраф DOT — це регуляторний наказ про порушення прав споживачів (комунікація, повернення коштів), а не незалежний технічний аудит причини збою; технічне пояснення через дві IT-системи має статус позиції профспілки, а не висновку регулятора; 140 млн дол. штрафу — лише його частина, а не повна вартість збою.

Підсумок розділу. Контроль в операційному менеджменті на найкоротшому горизонті звужується до правил пріоритетів у черзі завдань. FCFS не оптимізує нічого і служить точкою відліку; SPT мінімізує середній час виконання й середню кількість завдань у системі та дає найвище завантаження, EDD — максимальне запізнення (у прикладі теми — і середнє), і жодне правило не оптимізує всі показники одразу; правило Джонсона мінімізує сумарний час виконання партії на двох послідовних верстатах; критичне відношення поєднує строк і залишок часу обробки в один динамічний показник, який перераховують щодня.

6.9 Підсумок теми

Тема звела в одну логіку п'ять розрахункових задач, кожна на своєму горизонті. Довгостроковий план задає потужність; агрегатний план середнього горизонту узгоджує цю потужність із сезонним попитом через персонал, понаднормовий час і запаси, обираючи між стратегією погоні (нуль запасу, дорога плинність персоналу) і стратегією рівномірного виробництва (сталий персонал, витрати на зберігання) — або їх поєднанням. В основі агрегатного плану лежить прогноз: ковзна середня, зважена ковзна середня й експоненційне згладжування дають число, а MAD, MSE, MAPE і сигнал відстеження перевіряють, наскільки цьому числу можна довіряти і чи не зміщене воно системно в один бік.

Управління запасами відповідає на питання, яке лишає нерозв'язаним будь-який прогноз, хай яким точним: що робити з різницею між прогнозом і фактом. EOQ дає оптимальний розмір замовлення в системі з фіксованим розміром, точка замовлення й страховий запас визначають момент і буфер, система з фіксованим інтервалом поставки замовляє поповнення до заданого рівня за розкладом, а ABC-аналіз спрямовує управлінську увагу на позиції, які цього справді варті. MRP розв'язує суміжну, але іншу задачу — залежний попит: розгортає план випуску готового виробу в план замовлень на кожен компонент специфікації, рівень за рівнем, через бруutto- і нетто-потребу.

Матеріально-технічне забезпечення постачає ресурси, потрібні для виконання будь-якого з цих планів, а оперативне управління і диспетчерування доводять план до кожного робочого місця на найкоротшому горизонті — днями й годинами. Коли на одному робочому місці одночасно опиняються кілька завдань, правила пріоритетів вирішують порядок: SPT, EDD, правило Джонсона і критичне відношення оптимізують різні критерії, і жодне не є універсально кращим за решту — вибір залежить від того, який саме показник дорожчий для конкретної системи.

Спільний урок теми: п'ять задач — прогноз, агрегатний план, запаси, MRP, черговість — не працюють ізольовано одна від одної. Помилка прогнозу переноситься в агрегатний план і в запаси; агрегатний план задає межі, у яких диспетчер розподіляє роботи; специфікація виробу перетворює план готового виробу на залежний попит комплектувальних, якого жодна модель незалежного попиту не розв'яже. Операційний менеджер, який рахує лише одну з п'яти задач і ігнорує решту, отримує точний розрахунок у частині системи і неконтрольований результат у цілому.

Самоперевірка

Питання без балів — лише щоб переконатися, що прочитане склалося в картину.
Повний тренувальний тест — після теми.

Диспетчер визначає, скільки людей вивести в нічну зміну на конкретний вузол сьогодні. До якого горизонту планування належить це рішення?

- А** До довгострокового: воно стосується використання наявної потужності

Довгостроковий горизонт — це рішення про саму потужність (роками), а не про використання вже створеної потужності сьогодні.

- Б** До середньострокового: воно узгоджує персонал із сезонним попитом

Середньостроковий горизонт — це агрегатний план на місяці, а не оперативне рішення на одну зміну.

- В** До короткострокового: воно диспетчерує конкретну зміну в межах, які вже задав агрегатний план

Так. Диспетчерування — найкоротший горизонт: воно розподіляє ресурси в реальному часі всередині меж, які задали довгостроковий і середньостроковий рівні.

Прогноз методом експоненційного згладжування шість періодів поспіль дає прогноз нижчий за факт. Що це показує?

- А** Метод порахований з арифметичною помилкою, бо похибка не може повторюватися

Систематична одностороння похибка — нормальний і поширений результат, а не ознака арифметичної помилки; саме для цього існує окремий показник.

- Б** Високий сигнал відстеження: прогноз системно зміщений в один бік, а не просто неточний

Так. Сигнал відстеження ділить накопичену (зі знаком) похибку на MAD; шість односторонніх похибок поспіль дають високе значення, яке сигналізує саме про зміщення, а не про розкид.

- В** Високий MAPE: похибка велика у відсотках незалежно від напрямку, а сигнал відстеження про напрямок зміщення нічого не показує

MAPE вимірює середній розмір похибки у відсотках, а не її напрямок; він може лишатися помірним навіть за системного зміщення.

За однакового сумарного попиту стратегія погоні та стратегія рівномірного виробництва дали однакову суму регулярної оплати праці. Чому так вийшло не випадково?

- А** Обидві стратегії виробляють однаковий сумарний обсяг за той самий горизонт, а регулярна оплата пропорційна випуску

Так. Хоч персонал і темп по періодах різні, сумарний випуск за горизонт однаковий в обох стратегіях, тому й сумарні регулярні витрати праці на одиницю продуктивності збігаються.

- Б** Тому що обидві стратегії тримають однаковий запас на кінець горизонту планування

Запас — це саме те, чим стратегії відрізняються: погоня тримає нульовий запас, рівномірне виробництво накопичує й витрачає його по періодах.

- В** Тому що вартість найму й звільнення персоналу в обох стратегіях виявилася однаковою

Навпаки: саме тут стратегії розходяться найбільше — погоня наймає й звільняє щомісяця, рівномірне виробництво — щонайбільше один раз на весь горизонт.

Товар щойно перейшов із системи управління запасами з фіксованим розміром замовлення на систему з фіксованим інтервалом поставки за тих самих параметрів попиту й часу постачання. Що зміниться?

- А** Розмір кожного замовлення стане сталим, а інтервал між замовленнями — змінним і плаватиме залежно від темпу споживання, як і раніше

Навпаки. У системі з фіксованим розміром сталий саме розмір замовлення (EOQ), а інтервал між замовленнями плаває залежно від темпу споживання.

- Б** Інтервал між замовленнями стане сталим, а розмір кожного замовлення — змінним, бо рахується як поповнення до рівня S

Так. У системі з фіксованим інтервалом замовляють у сталі моменти часу T , а обсяг щоразу різний: різниця між рівнем «поповнення до» S і фактичним запасом на момент перегляду.

- В** Страховий запас стане непотрібним, бо систему переглядають регулярно за розкладом

Страховий запас потрібен ще більше: рівень S у системі з фіксованим інтервалом мусить покривати весь інтервал T плюс час постачання L , а не лише L , як у точці замовлення.

Специфікація виробу показує, що деталь D входить лише до складу вузла B , а вузол B — до складу готового виробу A . Як розрахувати бруutto-потребу D ?

- А** Помножити основний план-графік випуску A на норму витрати D на один виріб A напряду

Це проігнорує проміжний рівень B : якщо на складі вже є запас B , бруutto-потреба D має враховувати саме планове замовлення B , а не весь випуск A без поправки.

- Б** Помножити планове замовлення B (з урахуванням запасу B) на норму витрати D на один вузол B

Так. Залежний попит розгортається рівень за рівнем: бруто-потреба дочірнього компонента виводиться з планового замовлення свого безпосереднього батьківського рівня, а не напряду з MPS.

- В** Взяти нетто-потребу A як бруто-потребу D , бо в специфікації всі рівні пов'язані лінійно

Нетто-потреба A і бруто-потреба D — показники різних рівнів специфікації з різними нормами витрати; прирівнювати їх напряду не можна.

Диспетчер обрав правило EDD для черги завдань на робочому місці. Яким буде типовий побічний ефект порівняно з правилом SPT?

- А** Середній час виконання завдань, найімовірніше, зросте порівняно з SPT, а максимальне запізнення — скоротиться

Так. EDD мінімізує саме максимальне запізнення, жертвуючи середнім часом виконання, який мінімізує SPT; це типовий, а не завжди гарантований компроміс двох різних критеріїв.

- Б** Обидва показники — і середній час виконання, і максимальне запізнення — одночасно покращатимуться порівняно з SPT

SPT за визначенням дає мінімальний середній час виконання серед усіх послідовностей; жодне інше правило, зокрема EDD, не може покращити цей показник одночасно з максимальним запізненням.

- В** Обидва показники лишаються без змін, бо правила відрізняються лише порядком сортування вхідних даних, а не критерієм оптимізації

Порядок виконання завдань напряду визначає моменти їх завершення, тому зміна правила сортування завжди змінює і середній час виконання, і максимальне запізнення.

6.10 Самостійна робота

- СРС 6.1** Прочитайте лонгрід теми 6 і пройдіть самоперевірку. Виписуючи конспект, для кожного з восьми розділів сформулюйте одне речення про те, яку розрахункову задачу він розв'язує і на якому горизонті (5 год).
- СРС 6.2** За рядом попиту з 24 періодів побудуйте прогноз трьома методами — простою ковзною середньою, зваженою ковзною середньою й експоненційним згладжуванням — порівняйте MAD і MAPE кожного методу й обґрунтуйте вибір найкращого для цього ряду (5 год).
- СРС 6.3** Складіть агрегатний план на шість періодів для стратегії погоні за попитом і стратегії рівномірного виробництва за власним набором даних про попит, ставки оплати, найму, звільнення і зберігання; порівняйте сумарні витрати обох стратегій і поясніть, від яких параметрів залежить, яка з них дешевша (4 год).
- СРС 6.4** Розрахуйте EOQ, точку замовлення та страховий запас для трьох позицій запасу з різними параметрами попиту й часу постачання; перевірте чутливість сумарних річних витрат до відхилення фактичного розміру замовлення від EOQ на $\pm 20\%$ (4 год).
- СРС 6.5** Виконайте розгортання потреби в матеріалах за власною триярусною специфікацією виробу — брутто-потребу, нетто-потребу й планові замовлення на кожному рівні — і побудуйте

графік замовлень у часі з урахуванням часу постачання кожного компонента (4 год).

- СРС 6.6** Пройдіть тренувальний тест теми 6. До кожного питання, на яке відповіли неправильно, знайдіть у лонгріді абзац, що пояснює правильну відповідь, і випишіть із нього одне речення (2 год).

Джерела

1. 1. Капінос Г. І., Бабій І. В.. Операційний менеджмент: навчальний посібник. Центр учбової літератури, 2013. Джерело моделей управління запасами: розділ 6.2.4 «Системи управління запасами при незалежному попиті», с. 170–178 — EOQ, точка замовлення, страховий запас і система з фіксованою періодичністю замовлення (EOQ-01, EOQ-03, EOQ-04, EOQ-06). Складу функцій матеріально-технічного забезпечення (основні й допоміжні, транзитна й складська форми) у виданні немає, тому слайд про функції МТЗ на нього не посилається (звірка повного тексту 2026-09-24). Видання 2013 р. старше порогу 2016 р., застосованого при доборі основної літератури силабусу (course.yaml, розділ literature), тому в перелік літератури курсу не входить; тут використане як першоджерело розрахункової бази формул.
[duikt.edu.ua](https://duikt.edu.ua/uploads/l_1479_22227234.pdf)  (https://duikt.edu.ua/uploads/l_1479_22227234.pdf)
перевірено 24.09.2026
2. 2. Омеляненко Т. В., Осокіна А. В.. Операційний менеджмент: презентаційний курс. КНЕУ, 2016. Джерело ABC-аналізу запасів (EOQ-05): розділ 6 «Управління запасами», п. 6.2, слайд 6.14, с. 114.
[kneu.edu.ua](https://kneu.edu.ua/get_file/8945/.pdf)  (https://kneu.edu.ua/get_file/8945/.pdf) перевірено 23.09.2026
3. 3. Гевко І. Б.. Операційний (виробничий) менеджмент: конспект лекцій. ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. Джерело методів часових рядів і САВ (FC-01–FC-04; тема 9, п. 9.3, с. 95–96), повної потреби й партії «партія за партією» в MRP (MRP-01, MRP-03; тема 12, п. 12.1, с. 109–112), правила Джонсона й методу критичного відношення (SCH-03, SCH-05; тема 13, п. 13.3, с. 118) і закону Літтла (CAP-04; тема 10, п. 10.3, с. 102), використаного для порівняння правил пріоритетів.
[elartu.tntu.edu.ua](https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/21300)  (https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/21300)
перевірено 23.09.2026
4. 4. Heizer J., Render B., Munson C.. Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management. Pearson, 2016. Джерело ієрархії планування й агрегатного планування (розділ 13 «Aggregate Planning and S&OP»: стратегії погоні

й рівномірного виробництва, порівняння за витратами — AGG-01–AGG-03), похибок прогнозу MSE, MAPE і сигналу відстеження (розділ 4 «Forecasting», FC-05–FC-07), нетто-потреби MRP (розділ 14, MRP-02), правил пріоритетів SPT, EDD і показника завантаження (розділ 15 «Short-Term Scheduling», SCH-01, SCH-02, SCH-04) та коефіцієнта використання потужності (Supplement 7, CAP-01) (звірено лише за змістом видавця, без сторінки).

[openlibrary.org](https://openlibrary.org/isbn/9780134163512)  (<https://openlibrary.org/isbn/9780134163512>)

перевірено 23.09.2026

5. 5. Дохід Nova зріс на 21% у 2025-му, мережа «Нової пошти» зросла до 50 000 точок. Forbes.ua, 2026. Пресреліз групи Nova за 2025 р.: 522 млн посилок (+8,8%), 492 млн грн капітальних інвестицій саме в сортувальні лінії та хаби. Позиція компанії, без незалежного аудиту.

[forbes.ua](https://forbes.ua/news/dokhid-nova-zris-na-21-u-2025-rotsi-merezha-novoi-po-shti-zroslo-do-50-000-tochok-21012026-35682)  (<https://forbes.ua/news/dokhid-nova-zris-na-21-u-2025-rotsi-merezha-novoi-po-shti-zroslo-do-50-000-tochok-21012026-35682>)

перевірено 22.09.2026

6. 6. Як працювала Укрпошта у 2025 році. Міністерство розвитку громад та територій України, 2025. Державне джерело: завершення автоматизації сортування у 2025 р., заявлена потужність до 2 млн відправлень/добу, річний обсяг 42,7 млн посилок. Показники потужності ліній — позиція компанії, передрукована міністерством.

[mininfra.gov.ua](https://mininfra.gov.ua/news/yak-pratsiuvala-ukrposhta-u-2025-rotsi-dlia-liudei-biznesu-ta-veteraniv)  (<https://mininfra.gov.ua/news/yak-pratsiuvala-ukrposhta-u-2025-rotsi-dlia-liudei-biznesu-ta-veteraniv>)

перевірено 22.09.2026

7. 7. Укрзалізниця переходить на автоматизовану систему розподілу вагонів у ремонт. Rail.insider, 2025. Галузеве видання з переказом офіційного повідомлення компанії: автоматизований розподіл вагонів у ремонт за завантаженістю депо й географією, тестова експлуатація з 01.01.2026.

[railinsider.com.ua](https://www.railinsider.com.ua/ukrzaliznyczya-perehodyt-na-avtomatyzovanu-systemu-rozpodilu-vagoniv-u-remont)  (<https://www.railinsider.com.ua/ukrzaliznyczya-perehodyt-na-avtomatyzovanu-systemu-rozpodilu-vagoniv-u-remont>)

перевірено 22.09.2026

8. 8. Торік на потужностях Укрзалізниці відремонтовано понад 24 тис. вантажних вагонів. Rail.insider, 2025. Обсяг ремонту 24 233 вагони за 2024 р., +18,7% р/р — контекст до кейсу диспетчеризації черги на ремонт.

[railinsider.com.ua](https://www.railinsider.com.ua/torik-na-potuzhnostyah-ukrzaliznyczi-vi-dremontovano-ponad-24-tys-vantazhnyh-vagoniv/)  (<https://www.railinsider.com.ua/torik-na-potuzhnostyah-ukrzaliznyczi-vi-dremontovano-ponad-24-tys-vantazhnyh-vagoniv/>)

перевірено 22.09.2026

9. 9. Annual Report and Accounts for the year ended 30 June 2025. Kernel Holding S.A., 2025. Аудований річний звіт: 29 елеваторів, сезонний оборот понад 1,0 ємності мережі, запаси 209 тис. т на кінець року. Найвищий рівень верифікації

серед кейсів курсу.

[kernel.ua](https://www.kernel.ua/wp-content/uploads/2025/10/FY2025_Kernel_Annual_Report.pdf)  (https://www.kernel.ua/wp-content/uploads/2025/10/FY2025_Kernel_Annual_Report.pdf)

перевірено 22.09.2026

10. 10. Kernel Adds 40,000 Tons of Modular Grain Storage as Attacks on Logistics Jeopardize Ukraine's Exports. Kyiv Post, 2026. Закупівля 40 000 т модульного зерносховища як аварійне розширення буфера під логістичний шок; перша одиниця 3400 т заповнена за два дні.

[kyivpost.com](https://www.kyivpost.com/post/85027)  (https://www.kyivpost.com/post/85027) перевірено 22.09.2026

11. 11. Toyota Production System. Toyota Motor Corporation. Офіційна сторінка компанії: якісний опис just-in-time — «виробляти лише потрібне, тоді, коли потрібно, і в потрібній кількості». Кількісних виробничих метрик сторінка не наводить.

[global.toyota](https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/index.html)  (https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/index.html)

перевірено 22.09.2026

12. 12. Tesla, Inc. Q1 2018 Update (лист акціонерам). Tesla, Inc., 2018. Форма 8-K, Exhibit 99.1: визнання компанії «ми зробили помилку, додавши забагато автоматизації занадто швидко» і застереження про складність прогнозування темпу нарощування Model 3.

[sec.gov](https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1318605/000156459018010306/tsla-ex991_7.htm)  (https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1318605/000156459018010306/tsla-ex991_7.htm)

перевірено 22.09.2026

13. 13. Tesla, Inc. Q4 2018 Vehicle Production and Deliveries. Tesla, Inc., 2018. Форма 8-K, Exhibit 99.1: квартальні обсяги виробництва Model 3, використані для кривої нарощування потужності 260 → 61 394.

[sec.gov](https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1318605/000156459019000013/tsla-ex991_6.htm)  (https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1318605/000156459019000013/tsla-ex991_6.htm)

перевірено 22.09.2026

14. 14. Southwest Airlines Co. Form 10-K за 2025 фінансовий рік. Southwest Airlines Co. / SEC EDGAR, 2026. Офіційне розкриття: уніфікований парк Boeing 737, мережа «точка-точка», висока утилізація активів через скорочення часу на землі.

[sec.gov](https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/92380/000009238026000004/luv-20251231.htm)  (https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/92380/000009238026000004/luv-20251231.htm)

перевірено 22.09.2026

15. 15. DOT Penalizes Southwest Airlines \$140 Million for 2022 Holiday Meltdown. U.S. Department of Transportation, 2023. Пресреліз регулятора: штраф 140 млн дол., скасовано 16 900 рейсів, понад два мільйони пасажирів без

обслуговування під час колапсу планування екіпажів у грудні 2022 р.

[transportation.gov](https://www.transportation.gov/briefing-room/dot-penalizes-southwest-airlines-140-million-2022-holiday-meltdown)  (<https://www.transportation.gov/briefing-room/dot-penalizes-southwest-airlines-140-million-2022-holiday-meltdown>)

перевірено 22.09.2026

16. 16. FY2025 Results. Inditex, 2026. Офіційний пресреліз: інвестиція 900 млн євро на рік у 2024 і 2025 фінансових роках саме в логістичну потужність.

[inditex.com](https://www.inditex.com/itxcomweb/gp/en/press/news-detail/b870d5ec-6b7e-491d-b38e-340cd69036df/fy2025-results)  (<https://www.inditex.com/itxcomweb/gp/en/press/news-detail/b870d5ec-6b7e-491d-b38e-340cd69036df/fy2025-results>)

перевірено 22.09.2026

17. 17. Frequent Questions. Inditex. Сторінка без дати актуальності: поповнення магазинів двічі на тиждень, 36–48 год від розподільчого центру до магазину.

[inditex.com](https://www.inditex.com/itxcomweb/es/en/press/frequent-questions)  (<https://www.inditex.com/itxcomweb/es/en/press/frequent-questions>)

перевірено 22.09.2026

Джерела

1. 1. Капінос Г. І., Бабій І. В.. Операційний менеджмент: навчальний посібник. Центр учбової літератури, 2013. Джерело моделей управління запасами: розділ 6.2.4 «Системи управління запасами при незалежному попиті», с. 170–178 — EOQ, точка замовлення, страховий запас і система з фіксованою періодичністю замовлення (EOQ-01, EOQ-03, EOQ-04, EOQ-06). Складу функцій матеріально-технічного забезпечення (основні й допоміжні, транзитна й складська форми) у виданні немає, тому слайд про функції МТЗ на нього не посилається (звірка повного тексту 2026-09-24). Видання 2013 р. старше порогу 2016 р., застосованого при доборі основної літератури силабусу (course.yaml, розділ literature), тому в перелік літератури курсу не входить; тут використане як першоджерело розрахункової бази формул.

[duikt.edu.ua](https://duikt.edu.ua/uploads/l_1479_22227234.pdf)  (https://duikt.edu.ua/uploads/l_1479_22227234.pdf)

перевірено 24.09.2026

2. 2. Омеляненко Т. В., Осокіна А. В.. Операційний менеджмент: презентаційний курс. КНЕУ, 2016. Джерело ABC-аналізу запасів (EOQ-05): розділ 6 «Управління запасами», п. 6.2, слайд 6.14, с. 114.

[kneu.edu.ua](https://kneu.edu.ua/get_file/8945/.pdf)  (https://kneu.edu.ua/get_file/8945/.pdf) перевірено 23.09.2026

3. 3. Гевко І. Б.. Операційний (виробничий) менеджмент: конспект лекцій. ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. Джерело методів часових рядів і САВ (FC-01–FC-04; тема 9, п. 9.3, с. 95–96), повної потреби й партії «партія за партією» в MRP (MRP-01, MRP-03; тема 12, п. 12.1, с. 109–112), правила Джонсона й методу критичного відношення (SCH-03, SCH-05; тема 13, п. 13.3, с. 118) і закону

Літтла (CAP-04; тема 10, п. 10.3, с. 102), використаного для порівняння правил пріоритетів.

[elartu.tntu.edu.ua](https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/21300)  (<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/21300>)

перевірено 23.09.2026

4. 4. Heizer J., Render B., Munson C.. Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management. Pearson, 2016. Джерело ієрархії планування й агрегатного планування (розділ 13 «Aggregate Planning and S&OP»: стратегії погоні й рівномірного виробництва, порівняння за витратами — AGG-01–AGG-03), похибок прогнозу MSE, MAPE і сигналу відстеження (розділ 4 «Forecasting», FC-05–FC-07), нетто-потреби MRP (розділ 14, MRP-02), правил пріоритетів SPT, EDD і показника завантаження (розділ 15 «Short-Term Scheduling», SCH-01, SCH-02, SCH-04) та коефіцієнта використання потужності (Supplement 7, CAP-01) (звірено лише за змістом видавця, без сторінки).

[openlibrary.org](https://openlibrary.org/isbn/9780134163512)  (<https://openlibrary.org/isbn/9780134163512>)

перевірено 23.09.2026

5. 5. Дохід Nova зріс на 21% у 2025-му, мережа «Нової пошти» зросла до 50 000 точок. Forbes.ua, 2026. Пресреліз групи Nova за 2025 р.: 522 млн посилок (+8,8%), 492 млн грн капітальних інвестицій саме в сортувальні лінії та хаби. Позиція компанії, без незалежного аудиту.

[forbes.ua](https://forbes.ua/news/dokhid-nova-zris-na-21-u-2025-rotsi-merezha-novoi-po-shti-zroslo-do-50-000-tochok-21012026-35682)  (<https://forbes.ua/news/dokhid-nova-zris-na-21-u-2025-rotsi-merezha-novoi-po-shti-zroslo-do-50-000-tochok-21012026-35682>)

перевірено 22.09.2026

6. 6. Як працювала Укрпошта у 2025 році. Міністерство розвитку громад та територій України, 2025. Державне джерело: завершення автоматизації сортування у 2025 р., заявлена потужність до 2 млн відправлень/добу, річний обсяг 42,7 млн посилок. Показники потужності ліній — позиція компанії, передрукована міністерством.

[mininfra.gov.ua](https://mininfra.gov.ua/news/yak-pratsiuvala-ukrposhta-u-2025-rotsi-dlia-liudei-biznesu-ta-veteraniv)  (<https://mininfra.gov.ua/news/yak-pratsiuvala-ukrposhta-u-2025-rotsi-dlia-liudei-biznesu-ta-veteraniv>)

перевірено 22.09.2026

7. 7. Укрзалізниця переходить на автоматизовану систему розподілу вагонів у ремонт. Rail.insider, 2025. Галузеве видання з переказом офіційного повідомлення компанії: автоматизований розподіл вагонів у ремонт за завантаженістю депо й географією, тестова експлуатація з 01.01.2026.

[railinsider.com.ua](https://www.railinsider.com.ua/ukrzhaliznyczya-perehodyt-na-avtomatyzovanu-systemu-rozpodilu-vagoniv-u-remont)  (<https://www.railinsider.com.ua/ukrzhaliznyczya-perehodyt-na-avtomatyzovanu-systemu-rozpodilu-vagoniv-u-remont>)

перевірено 22.09.2026

8. 8. Торік на потужностях Укрзалізниці відремонтовано понад 24 тис. вантажних вагонів. Rail.insider, 2025. Обсяг ремонту 24 233 вагони за 2024 р., +18,7% р/р — контекст до кейсу диспетчеризації черги на ремонт.

[railinsider.com.ua](https://www.railinsider.com.ua/torik-na-potuzhnostyah-ukrzhaliznychi-vi-dremontovano-ponad-24-tys-vantazhnyh-vagoniv/)  (https://www.railinsider.com.ua/torik-na-potuzhnostyah-ukrzhaliznychi-vi-dremontovano-ponad-24-tys-vantazhnyh-vagoniv/)

перевірено 22.09.2026

9. 9. Annual Report and Accounts for the year ended 30 June 2025. Kernel Holding S.A., 2025. Аудований річний звіт: 29 елеваторів, сезонний оборот понад 1,0 ємності мережі, запаси 209 тис. т на кінець року. Найвищий рівень верифікації серед кейсів курсу.

[kernel.ua](https://www.kernel.ua/wp-content/uploads/2025/10/FY2025_Kernel_Annual_Report.pdf)  (https://www.kernel.ua/wp-content/uploads/2025/10/FY2025_Kernel_Annual_Report.pdf)

перевірено 22.09.2026

10. 10. Kernel Adds 40,000 Tons of Modular Grain Storage as Attacks on Logistics Jeopardize Ukraine's Exports. Kyiv Post, 2026. Закупівля 40 000 т модульного зерносховища як аварійне розширення буфера під логістичний шок; перша одиниця 3400 т заповнена за два дні.

[kyivpost.com](https://www.kyivpost.com/post/85027)  (https://www.kyivpost.com/post/85027) перевірено 22.09.2026

11. 11. Toyota Production System. Toyota Motor Corporation. Офіційна сторінка компанії: якісний опис just-in-time — «виробляти лише потрібне, тоді, коли потрібно, і в потрібній кількості». Кількісних виробничих метрик сторінка не наводить.

[global.toyota](https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/index.html)  (https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/index.html)

перевірено 22.09.2026

12. 12. Tesla, Inc. Q1 2018 Update (лист акціонерам). Tesla, Inc., 2018. Форма 8-K, Exhibit 99.1: визнання компанії «ми зробили помилку, додавши забагато автоматизації занадто швидко» і застереження про складність прогнозування темпу нарощування Model 3.

[sec.gov](https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1318605/000156459018010306/tsla-ex991_7.htm)  (https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1318605/000156459018010306/tsla-ex991_7.htm)

перевірено 22.09.2026

13. 13. Tesla, Inc. Q4 2018 Vehicle Production and Deliveries. Tesla, Inc., 2018. Форма 8-K, Exhibit 99.1: квартальні обсяги виробництва Model 3, використані для кривої нарощування потужності 260 → 61 394.

[sec.gov](https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1318605/000156459019000013/tsla-ex991_6.htm)  (https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1318605/000156459019000013/tsla-ex991_6.htm)

перевірено 22.09.2026

14. 14. Southwest Airlines Co. Form 10-K за 2025 фінансовий рік. Southwest Airlines Co. / SEC EDGAR, 2026. Офіційне розкриття: уніфікований парк Boeing 737, мережа «точка-точка», висока утилізація активів через скорочення часу на землі.

[sec.gov](https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/92380/000009238026000004/luv-20251231.htm)  (https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/92380/000009238026000004/luv-20251231.htm)

перевірено 22.09.2026

15. 15. DOT Penalizes Southwest Airlines \$140 Million for 2022 Holiday Meltdown. U.S. Department of Transportation, 2023. Пресреліз регулятора: штраф 140 млн дол., скасовано 16 900 рейсів, понад два мільйони пасажирів без обслуговування під час колапсу планування екіпажів у грудні 2022 р.

[transportation.gov](https://www.transportation.gov/briefing-room/dot-penalizes-southwest-airlines-140-million-2022-holiday-meltdown)  (<https://www.transportation.gov/briefing-room/dot-penalizes-southwest-airlines-140-million-2022-holiday-meltdown>)

перевірено 22.09.2026

16. 16. FY2025 Results. Inditex, 2026. Офіційний пресреліз: інвестиція 900 млн євро на рік у 2024 і 2025 фінансових роках саме в логістичну потужність.

[inditex.com](https://www.inditex.com/itxcomweb/gp/en/press/news-detail/b870d5ec-6b7e-491d-b38e-340cd69036df/fy2025-results)  (<https://www.inditex.com/itxcomweb/gp/en/press/news-detail/b870d5ec-6b7e-491d-b38e-340cd69036df/fy2025-results>)

перевірено 22.09.2026

17. 17. Frequent Questions. Inditex. Сторінка без дати актуальності: поповнення магазинів двічі на тиждень, 36–48 год від розподільчого центру до магазину.

[inditex.com](https://www.inditex.com/itxcomweb/es/en/press/frequent-questions)  (<https://www.inditex.com/itxcomweb/es/en/press/frequent-questions>)

перевірено 22.09.2026