

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ «КОНСТРУКЦІЙНІ ЕЛЕМЕНТИ СКЛАДІВ»**

для студентів спеціальності
131 Прикладна механіка. Інженерія логістичних систем
денної та заочної форм навчання

Харків 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ «КОНСТРУКЦІЙНІ ЕЛЕМЕНТИ СКЛАДІВ»**

для студентів спеціальності
131 Прикладна механіка. Інженерія логістичних систем
денної та заочної форм навчання

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від. 16.02.2023 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2023

Методичні вказівки до виконання та оформлення курсових робіт з дисципліни «Конструкційні елементи складів» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка. Інженерія логістичних систем денної та заочної форм навчання / уклад. В. П. Рубашка. – Харків: НТУ «ХПІ». – 49 с.

Укладач В.П. Рубашка

Рецензент О. В. Турчин

Кафедра Підйомно-транспортних машин і обладнання

Зміст

ВСТУП.....	4
1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	5
1.1. Опис стелажу.....	5
1.2. Вихідні дані для розрахунку.....	6
2. ПОБУДОВА ЕСКІЗУ СТЕЛАЖУ.....	9
2.1. Визначення габаритних розмірів комірки та стелажу.....	9
2.2. Побудова креслення ескізу стелажу.....	11
3. ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТІВ СТЕЛАЖУ.....	14
3.1. Стійка.....	14
3.2. Балка стелажу.....	20
3.3. Кронштейн балки.....	23
3.4. Розкиси рами.....	27
4. СТАТИЧНИЙ АНАЛІЗ СТЕЛАЖУ.....	29
4.1. Опис стрижневої моделі стелажу	29
4.2. Моделювання стрижневих моделей балки та розкосу стелажу.....	31
4.3. Моделювання стрижневої моделі стійки стелажу.....	31
4.4. Визначення згинальної кутової жорсткості підп'ятника.....	33
4.5. Визначення кутової згинальної жорсткості кронштейна.....	34
5. СХЕМИ НАВАНТАЖЕННЯ СТЕЛАЖУ.....	36
5.1. Навантаження, що діють на стелаж.....	36
5.2. Визначення діючих навантажень.....	36
5.3. Схеми навантаження стелажу.....	37
6. МОДЕЛЮВАННЯ З'ЄДНАНЬ СХЕМ НАВАНТАЖЕННЯ.....	41
7. ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКІВ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	42
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	43
ДОДАТКИ	44

Вступ

Склади є найважливішою складовою сучасної логістики, тому що саме ці приміщення дають змогу зосередити в одному місці великий обсяг вантажів, здійснити зберігання доставленого товару та своєчасно постачати їм споживача. Склади дозволяють зменшити терміни доставки продукції, також оптимізувати роботу логістичних центрів. Для забезпечення безпеки, ефективної організації вантажно-розвантажувальних робіт складування вантажів проводиться на стелажах – спеціальних конструкціях, зібраних із укріплених на вертикальних стійках багатоярусних настилів. Ці конструкції оптимально пристосовані до мінімально можливого розміру займаної ними корисної площі приміщення, а також забезпечення зручного доступу до товарів, що зберігаються.

Найбільшого поширення набули палетні стелажі, що максимально забезпечують автоматизацію приймання і видачі великої кількості вантажів шляхом розміщення їх на стандартних піддонах. Необхідність розміщення максимального числа вантажів на мінімальній складській території висуває високі вимоги до методів проектування та розрахунку стелажних систем.

Дані методичні вказівки призначені для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка. Інженерія логістичних систем». Вони допоможуть студентам оволодіти знаннями з курсу «Конструкційні елементи складів». У цих вказівках надана методика проектування та розрахунку стелажних систем сучасних складських комплексів.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1. Опис стелажу



Рис.1. - Палетний фронтальний стелаж

Палетні фронтальні стелажі (рис. 1) - це одно-або багаторівневі структурні системи зберігання безтарних матеріалів. Вони підтримують штабелювання окремих предметів чи вантажів на піддонах, які зазвичай залишаються в оригінальній упаковці транспортних контейнерів чи ящиків. Стелажні системи зазвичай виготовляються із сталі та максимально збільшують простір на підприємстві, спрощуючи відстеження запасів.

Фронтальні палетні стелажі є збірно-розбірною металевою конструкцією, що складається з вертикальних стійок, з'єднаних між собою діагональними і горизонтальними зв'язками (рами) і горизонтальних балок (траверси). Рами та траверси утворюють секції стелажів, які збираються в один або кілька рядів будь-якої довжини з необхідною кількістю ярусів.

Основні елементи конструкції:

Рама стелажу — вертикальний елемент конструкції на основі двох стійок із спеціального профілю, з'єднаних системою горизонтальних та діагональних зв'язків. Для зміни висоти ярусів зберігання у стійках передбачена перфорація з кроком 50 мм. Залежно від необхідного навантаження на стелаж, стійки виготовляються з профілю різної ширини (70, 85, 90, 100, 110, 120, 140 мм), при цьому товщина металу також може змінюватись в діапазоні від 1,5 до 3 мм. Така різноманітність варіантів виконання дозволяє максимально оптимізувати параметри конструкції та, відповідно, її вартість, не переплачуючи за надмірну металомісткість.

Між собою дві стійки з'єднуються зв'язками профілями (розкосами), які кріпляться до стійок за допомогою болтів. Залежно від ширини профілю, товщини металу та висоти першого ярусу зберігання навантаження на раму може змінюватись в межах від 5 до 40 тон. Розкоси зазвичай виконуються з коробчастого або С-подібного профілю.

Балка (Траверса) – горизонтальна балка прямокутного профілю, в торцях якої приварені кронштейни із зубами для кріплення до рами. Ярус зберігання утворює пара траверс, несуча здатність яких залежить від довжини, розміру профілю та товщини металу балки. Стандартна довжина траверс: 1800, 2200, 2700, 3000, 3300, 3600 мм. Навантаження на пару траверс: від 1000 кг до 4800 кг.

1.2. Вихідні дані для розрахунку

Необхідно розробити передню стійку піддону для європалети.

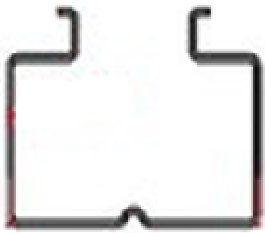

Вихідні дані проекту представлені в таблиці 1.

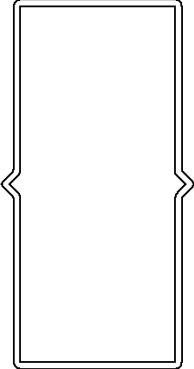
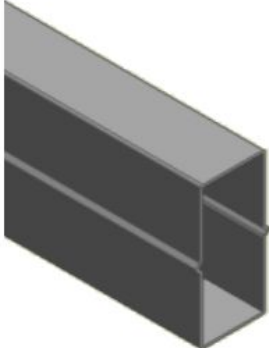



Таблиця 1 - Дані для розрахунку стелажа

Параметр	Значение	Обозначение
Кількість ярусів зберігання (включаючи підлогу)	5	$N_{я}$
Кількість секцій	5	N_c
Кількість європіддонів в комірці	2	K_n
Вага вантажу на 1 палету, кг (разом з піддоном)	1520	Q_u
Висота вантажу без піддону, мм	800	h_z
Поперечний переріз стійки	№2 (Додаток 1).	
Переріз балки (поперечини)	№1 (Додаток 2).	
Поперечний переріз розкосу рами	№1 (Додаток 3).	
Кронштейн балки	№1 (Додаток 4).	
Європоддон ШхГхВ, мм	800x1200x150	

Загальні вигляди перерізів основних елементів стелажів для даної задачі представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Перерізи елементів стелажу

Стойка		
--------	---	--

Балка		
Розкос		
Кронштейн (4 зацепи)		

2. ПОБУДОВА ЕСКІЗУ СТЕЛАЖУ

2.1. Визначення габаритних розмірів комірки та стелажу

Розрахунок габаритних розмірів комірки.

Геометрія осередку визначається її довгою по фронту стелажу, висотою та глибиною. Ці розміри визначаються з вихідних даних, геометрії європіддону та стандарту, що визначає допустимі зазори між вантажами в комірці стелажу [1, стор. 23]. (Рис 2.1, табл. 2.1.)

Європіддон має такі розміри:

Ширина (на фронті стелажу) – $l_n=800$ мм; глибина – $s_n=1200$ мм; висота – $h_n=150$ мм.

Відповідно до ДСТУ EN 15620:2015 зазори між палетами X_6 , X_4 та зазори між палетою та стійкою стелажу по фронту стелажу X_3 не повинні бути меншими за 75 мм, зазор між верхньою гранню вантажу та верхньою балкою Y_3 менше 100 мм для стелажів не вище 9 м.

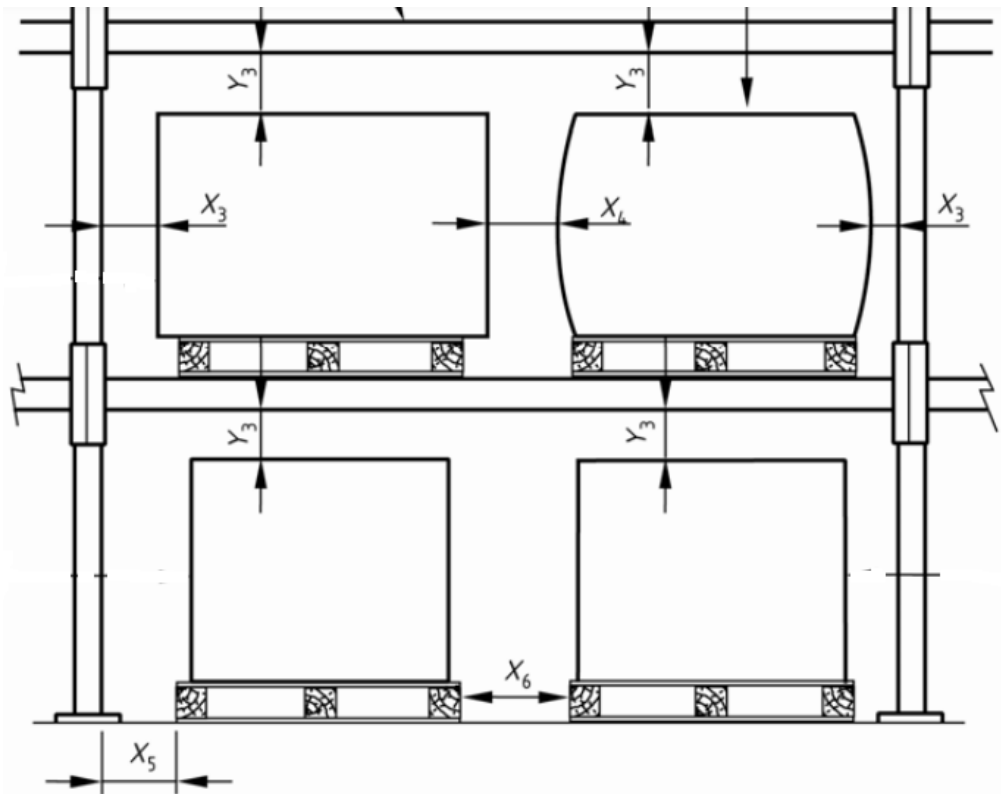


Рис.2.1 - Допустимі зазори при розміщенні вантажів у комірці палетного стелажу.

Таблиця 2.1 - Допустимі зазори

Відстань від основи стелажу до комірки, мм	X_3, X_4, X_5, X_6 мм	Y_3 мм
3000	75	75
6000	75	100
9000	75	125
13000	100	150

З наведених даних можна розрахувати мінімальну ширину комірки по фронту стелажу $L_я$, яка визначає довжину балки стелажу $L_б$.

$$L_я = K_n \cdot l_n + 2 \cdot X_3 + X_6 = 2 \cdot 800 + 2 \cdot 75 + 75 = 1825 \text{ мм.}$$

Промисловість випускає балки довжиною 1800 мм. Тому приймаємо

$$L_б = 1800 \text{ мм.}$$

Визначаємо висоту комірки $H_я$.

$$H_я = h_z + h_n + Y_3 = 800 + 125 + 100 = 1025 \text{ мм.}$$

Остаточно приймаємо висоту комірки

$$H_я = 1100 \text{ мм.}$$

Глибину комірки $S_я$ (відстань між балками, що забезпечує стійке спирання палети на балки стелажу) приймаємо, виходячи з глибини палети $s_п = 1200$ мм. Приймаємо

$$S_я = 1000 \text{ мм.}$$

Таким чином виходячи з вихідних даних та вимог нормативних документів отримали такі розміри осередку стелажу:

довжина балки $L_б = 1800$ мм, висота комірки $H_я = 1100$ мм, глибина комірки $S_я = 1000$ мм.

Цих даних достатньо для розрахунку загальних габаритних розмірів стелажу

Загальна довжина стелажу дорівнює добутку довжини балки $L_б$ на кількість секцій стелажу N_c . У результаті довжина стелажу (на фронті) дорівнює $1800 \cdot 5 = 9000$ мм (9 м).

Висота стелажу розраховується як висота комірки помножені на $N_{я}$ число ярусів зберігання $N_{я}$. Таким чином, висота стелажу виходить дорівнює $1100 \cdot 5 = 5500$ мм. Оскільки верхній ярус є відкритим ярусом, немає необхідності осередку верхнього ярусу робити висотою 1100 мм. Достатньо верхні осередки обмежити короткими стійками, наприклад довжиною 600 мм.

Тоді загальна висота стелажу дорівнюватиме 5000 мм (5 м). У результаті, для забезпечення вимог умови проекту знадобиться стелаж загальною довжиною 9000 мм, висотою 5000 мм та глибиною 1000 мм. У стелажі 5 секцій та 5 ярусів зберігання вантажів (перший ярус – розташування вантажів на підлозі складського приміщення).

За отриманими даними потрібно побудувати ескіз стелажу та отримати його креслення.

2.2. Побудова креслення ескізу стелажу

При побудові ескізу стелажу необхідно набути вигляду рами стелажу. ДСТУ [2] пропонує такі типові форми рам (рис. 2.2.)

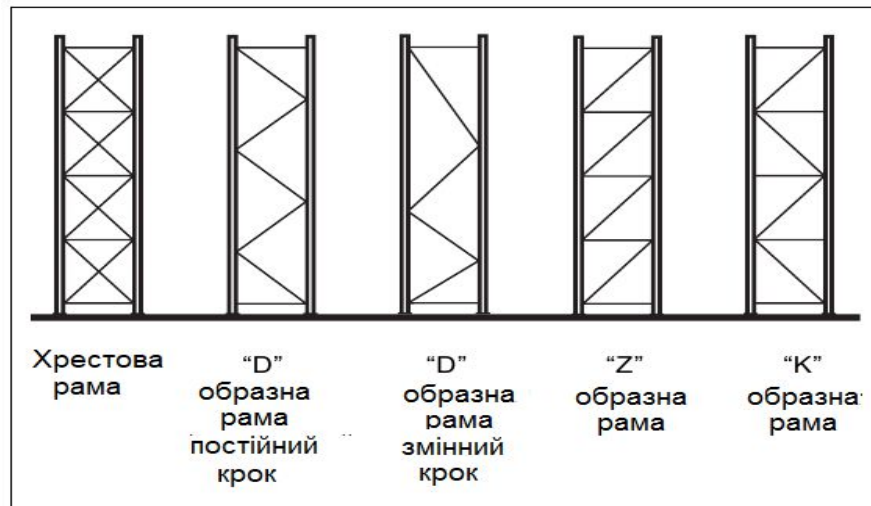


Рис. 2.2 - Типові форми рам стелажів

У нашому випадку приймаємо "Z" образну раму. Такі рами мають високу жорсткість у площині вигину і невисоку матеріаломісткість.

При формуванні ескізу стелажу необхідно його прив'язати до системи координат. [2, с. 17]. ДСТУ передбачена така система координат:

вісь X – спрямована по довжині стелажу,

вісь Y – спрямована в глибину стелажу,

вісь Z – за висотою стелажу.

Таким чином, стійки стелажу на ескізі повинні розташовуватися паралельно осі Z, балки - паралельно осі X, рами стелажу повинні розташовуватися паралельно площині YOZ, фронтальна площина стелажу - паралельно площині XOZ.

Проведемо побудову ескізу стелажу у системі автоматизованого проектування САПР Autodesk Inventor Professional. Технологія побудови плоского ескізу рами та просторового ескізу всього стелажу представлена у відео INVENTOR- Побудова ескізу стелажу за посиланням <https://youtu.be/33pQsKyQyZs>

Креслення ескізу стелажу наведено на рис. 2.3.

Примітка. При побудові ескізу для завершення 3-D моделювання для всіх елементів було обрано коробчастий переріз розміром 40x40 мм.

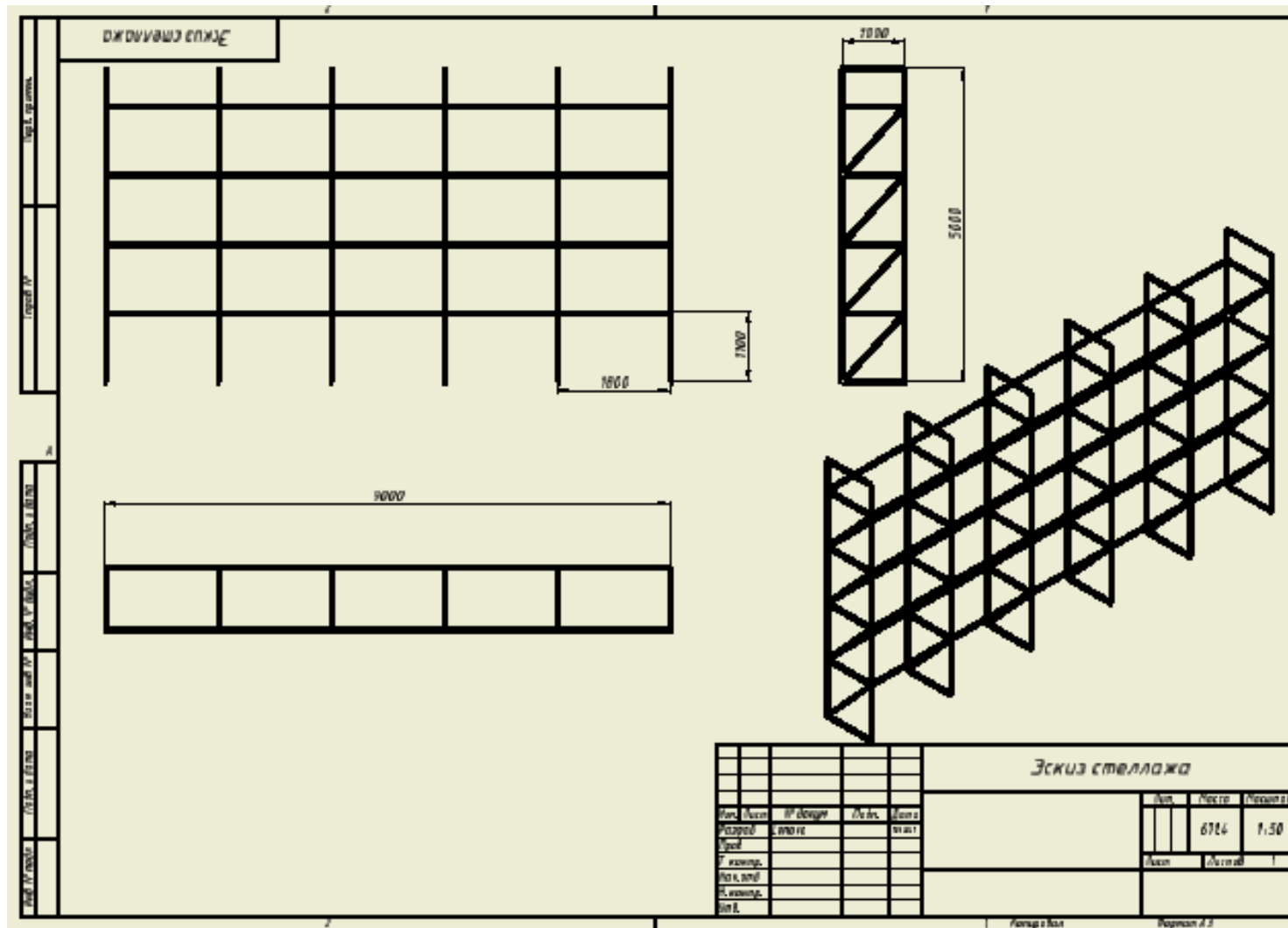


Рис. 2.3 - Креслення ескізу стелажу.

3. ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТЕЛАЖУ

3.1. Стійка

Стійки стелажів є основними елементами стелажу. За допомогою стійок стелаж кріпиться до основи. До стійки за допомогою кронштейнів кріпляться балки (траверси), на яких розташований вантаж.

Конструкція стійки повинна забезпечувати можливість легкого складання-розбирання стелажу, зміни висоти ярусу зберігання. З цією метою стійки виконуються з перфорацією по всій довжині, що забезпечує легку перестановку балок без демонтажу стелажу. Стійки сприймають всі навантаження, що виникають у процесі експлуатації стелажу і насамперед вертикальні навантаження від ваги вантажу. Тому конструкція стійки має забезпечувати стійкість від вертикальних навантажень. Це досягається застосуванням стійок зі складним гнутим профілем поперечного перерізу з великою кількістю ребер жорсткості. Все це суттєво ускладнює процес проектування та прийняття рішення про найбільш раціональне конструктивне рішення стійок стелажу. У разі конфігурація поперечного перерізу стійки, представлена на рис.3.1.

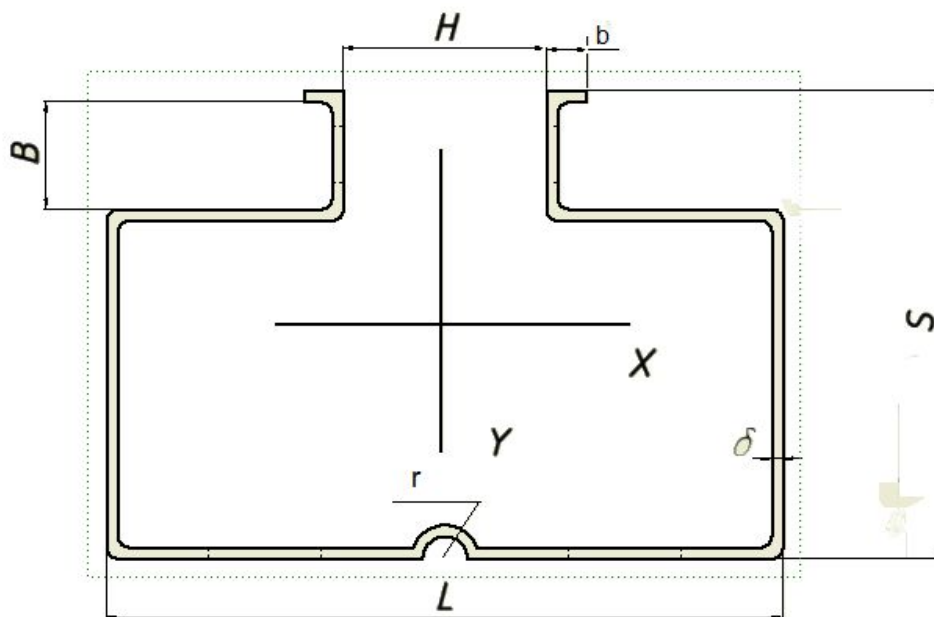


Рис. 3.1 - Конфігурація поперечного перерізу стійки

На цьому малюнку L – ширина профілю, S – глибина профілю, d – товщина профілю. Необхідно звернути увагу на орієнтацію профілю щодо осей X та Y . Розімкнена грань профілю звернена в глибину стелажу.

Прийmemo рішення по ширині та глибині профілю. При виборі профілю перетину стійок на палетні стелажі можна орієнтуватися на дані, представлені в таблиці 3.1 [7,8]/

Таблиця 3.1.

Размеры сечения стойки в зависимости от нагрузки на секцию стеллажа

Навантаження на секцію, кГ	L	S	d
До 5800	80	80	1,5
До 11300	80	80	2
До 8300	105	80	1,5
До 16000	105	80	2
До 21000	120	80	2

У цій таблиці наведено орієнтовні значення основних розмірів перерізу залежно від навантажень, що сприймає секція стелажу.

У нашому випадку навантаження на секцію стелажу складає:

Вага вантажу з піддоном $Q_n = 1520$ кг.

Навантаження на одну комірку (2 піддони) $1520 \times 2 = 3040$ кг.

Секція стелажу містить 5 ярусів ($N_y = 5$). Але перший ярус розташований на підлозі. Тому номінальне навантаження на секцію стелажу становитиме

$$Q_n = (N_y - 1) * 3040 = 12160 \text{ кг.}$$

Розрахункове навантаження розраховується з номінального, шляхом множення Q_n на коефіцієнт надійності за навантаженням $\gamma_Q = 1.4$ [2, стор. 34].

У результаті розрахункове навантаження на секцію стелажу складає

$$Q_p = 1.4 * Q_n = 12160 * 1.4 = 17024 \text{ кг}$$

Враховуючи, що в цьому розрахунку не враховується власна вага стелажу, який збільшує розрахункове навантаження на секцію, приймаємо перетин з розмірами $L = 120$ мм, $S = 80$ мм, $d = 2$ мм (перетин 120x80x2).

Після визначення габаритних розмірів перерізу приймаємо рішення за розмірами H і B

Розмір B характеризує 2 полиці, які одночасно є ребрами жорсткості стійки та гранями, до яких кріпляться розкоси рами. Розкоси кріпляться до стійки за допомогою болтових з'єднань. Прийmemo для болтового з'єднання кріплення Болт 2АГОСТ 15591-70 М10. Для такого кріплення на обох полицях необхідно розмістити отвори діаметром 11 мм. Тому приймамо $B = 19$ мм.

Розмір H визначає переріз розкосу рами. Як розкос у нашому випадку необхідно прийняти елемент квадратного перерізу. Приймаємо $H = 40$ мм. Таким чином, розкіс матиме квадратний переріз зі стороною 40 мм.

Для двох ребер жорсткості (на рис. 3.1. позначені розміром b) приймамо $b=5$ мм. На межі довжиною 120 мм є ще одне ребро жорсткості у вигляді напівкруглої канавки. Приймаємо радіус цього ребра $r = 4$ мм. Розміри b і r найчастіше призначають із технологічних умов та можливостей обладнання, яке буде використовуватися при виробництві стійки.

Для забезпечення необхідної жорсткості та виключення втрати стійкості розміри як самого гнутого поперечного перерізу, так і його ребер жорсткості повинні бути в таких межах [3, табл. 5.1 стор.21]:

$$L/d \leq 60; \quad b/d \leq 50; \quad 0.2 \leq b/B \leq 0.6$$

У нашому випадку $L=120$ мм, $d=2$ мм, $b=5$ мм, $B=19$ мм. Тоді

$$L/d=60 \leq 60; \quad b/d=2.5 \leq 50; \quad b/B=0.26 \leq 0.6.$$

Таким чином, вимоги стандарту [3] повністю виконані.

Для з'єднання стійки з балками стелажу та розкосами рами у конструкції стійки передбачаються перфораційні отвори.

На передній грані (довжиною 120 мм) передбачимо прямокутні отвори розміром 40x20 мм, у які входитимуть зачепи кронштейнів балок. На обох полицях довжиною 19 мм передбачимо круглі отвори діаметром 11 мм для з'єднання болтового розкосу рами зі стійкою. Перфораційні отвори виконуються по довжині стійки з кроком щонайменше 50 мм.

При моделюванні перерізу стійки необхідно враховувати, що він є гнутим профілем. Тому необхідно передбачити в місцях згину сполучення граней, що з'єднуються. Мінімальний радіус сполучення приймається рівним товщині металу профілю [3]. У нашому випадку радіус сполучення елементів перерізу дорівнює 2 мм.

Проведемо моделювання фрагмента стійки заввишки 60 мм у системі автоматизованого проектування САПР Autodesk Inventor Professional.

Порядок побудови представлений у відео **INVENTOR Побудова фрагмента стійки 60 мм** <https://youtu.be/Xwm8krGmyOY>

Зображення фрагмента стійки представлено рис. 3.2, а креслення фрагментів стійки представлено рис. 3.3, рис. 3.4.

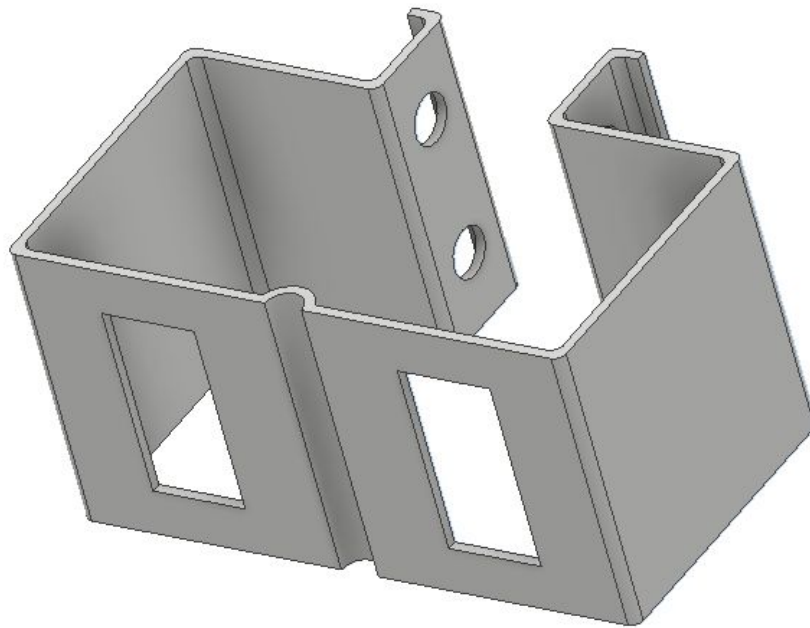


Рис. 3.2 - Фрагмент стійки 60 мм

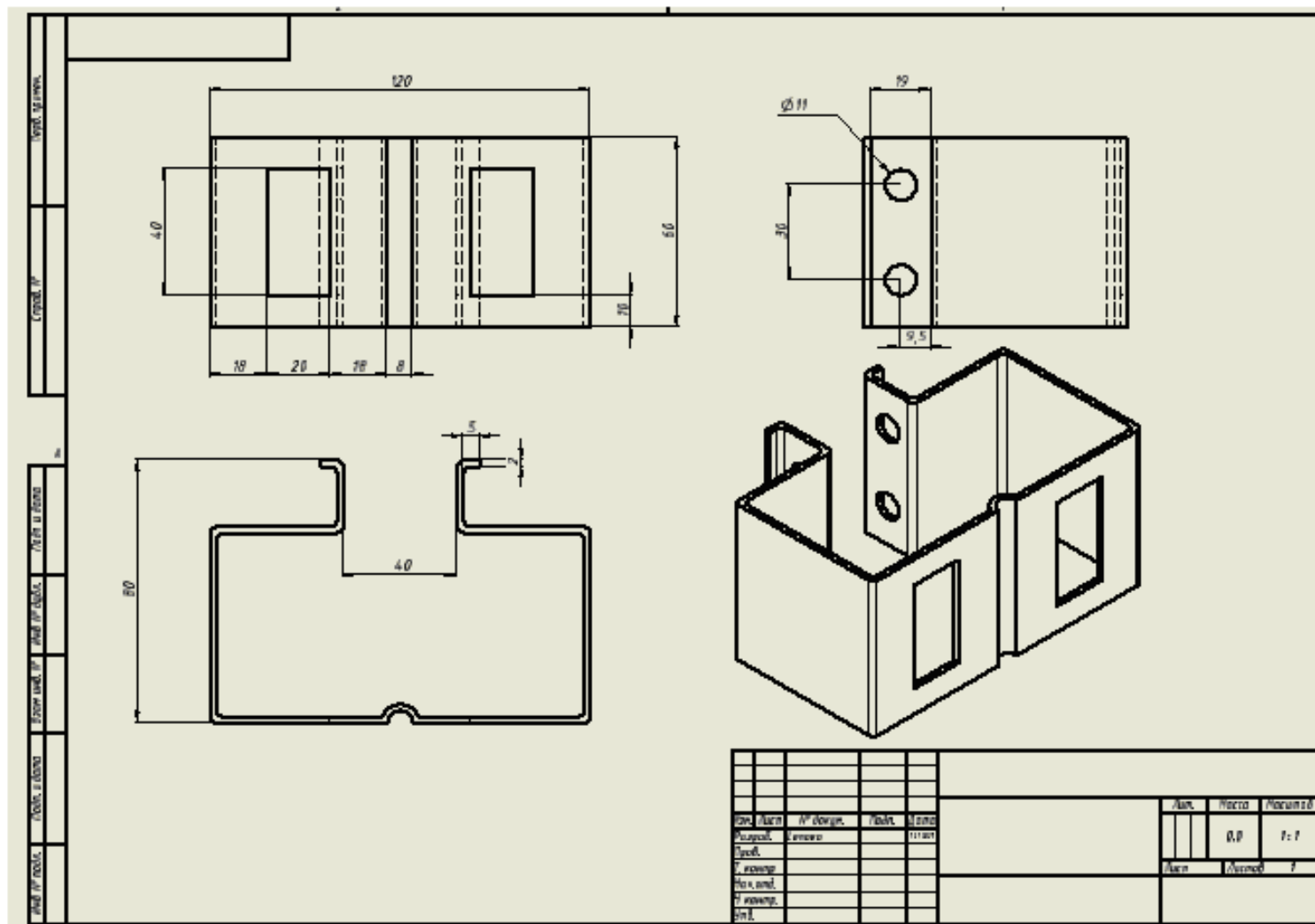


Рис. 3.3 Креслення фрагмента стійки 60 мм.

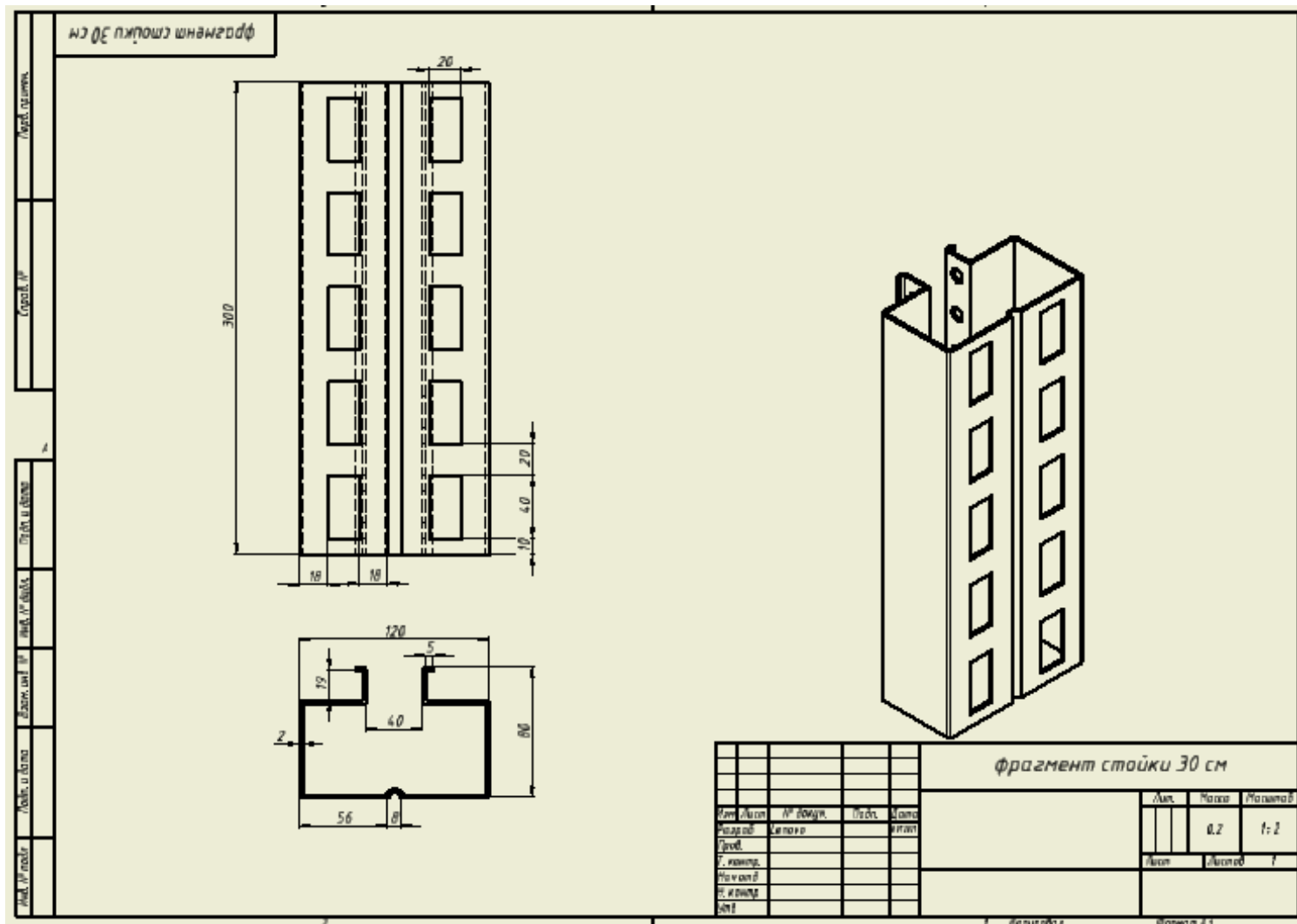


Рис.3.4 - Креслення фрагмента стійки 300 мм.

3.2. Балка стелажу

Вантаж, який розташовується в осередку палетного стелажу, спирається на дві балки, які утворюють ярус зберігання. Балки схильні до згинальних деформацій. Прогини балки повинні не перевищувати деякого граничного значення. Це значення називається гнучкість балки. Вимога граничної гнучкості виглядає так

$$Z_{max} \leq L_6/200,$$

Тут Z_{max} - максимальний прогин балки під дією вертикальних сил, L_6 - довжина балки.

У стелажах зазвичай використовуються балки коробчатого поперечного перерізу з ребрами жорсткості на гранях. Для вибору перерізу балки в залежності від її довжини та сумарного вагового навантаження в комірці, яка задовольняє умову гнучкості, можна скористатися табл. 3.2.

Таблиця 3.2 -Максимальні вагові навантаження (т) у комірках стелажу

Товщина профілю, мм	Розміри профілю, мм	Довжина балки, мм		
		1800	2700	3600
1.5	70x50	0.8	0.5	
	90x50	1.4	0.6	
	110x50	2	1	
	130x50	3	1.8	
2	70x50	1	0.5	0.2
	90x50	2	0.8	0.4
	110x50	3.1	1.5	0.8
	130x50	4	2.5	1.5
2.5	70x50	1.4	0.8	0.3
	90x50	1.8	1	0.5
	110x50	4	1.8	1
	130x50	4.8	2.8	1.8

У нашому випадку, довжина балки 1800 мм, вагове навантаження на одну комірку визначено раніше у п. 3.1. та становить 3040 кг. З

використанням табл. 3.2. необхідно враховувати, що в ній не враховуються ребра жорсткості, які обов'язково присутні у балках стелажу та дають їй додаткову жорсткість. Тому для нашого випадку вибираємо балку із перетином 110x50x2 мм. Тут 110 – висота профілю, 50 – ширина профілю, 2- товщина листа металу профілю.

Оскільки використовується гнутий переріз, приймаємо радіус сполучення гнутих граней, що дорівнює товщині профілю – 2 мм.

Проведемо моделювання фрагмента балки довжиною 500 мм у системі автоматизованого проектування **САПР Autodesk Inventor Professional**.

Порядок побудови представлений у відео ***INVENTOR. Моделювання балки та розкошу стелажу*** <https://youtu.be/W6i-dTVe7MI>

Побудова креслення балки стелажу <https://youtu.be/SAdB3fCb58I>

Зображення фрагмента балки подано на рис 3.5, а креслення балки представлено на рис. 3.6.

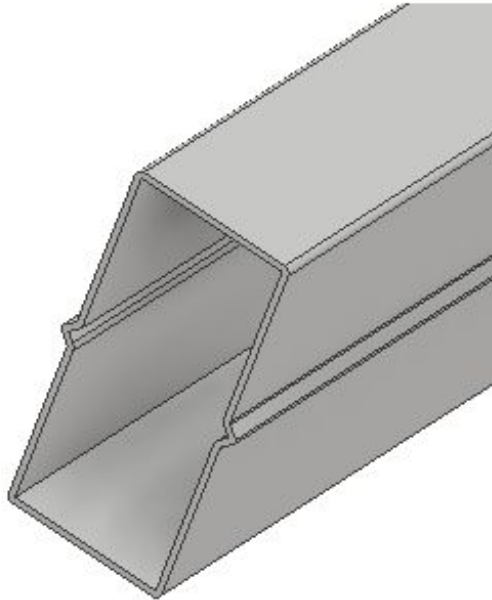


Рис. 3.5 - Фрагмент балки стелажу. .

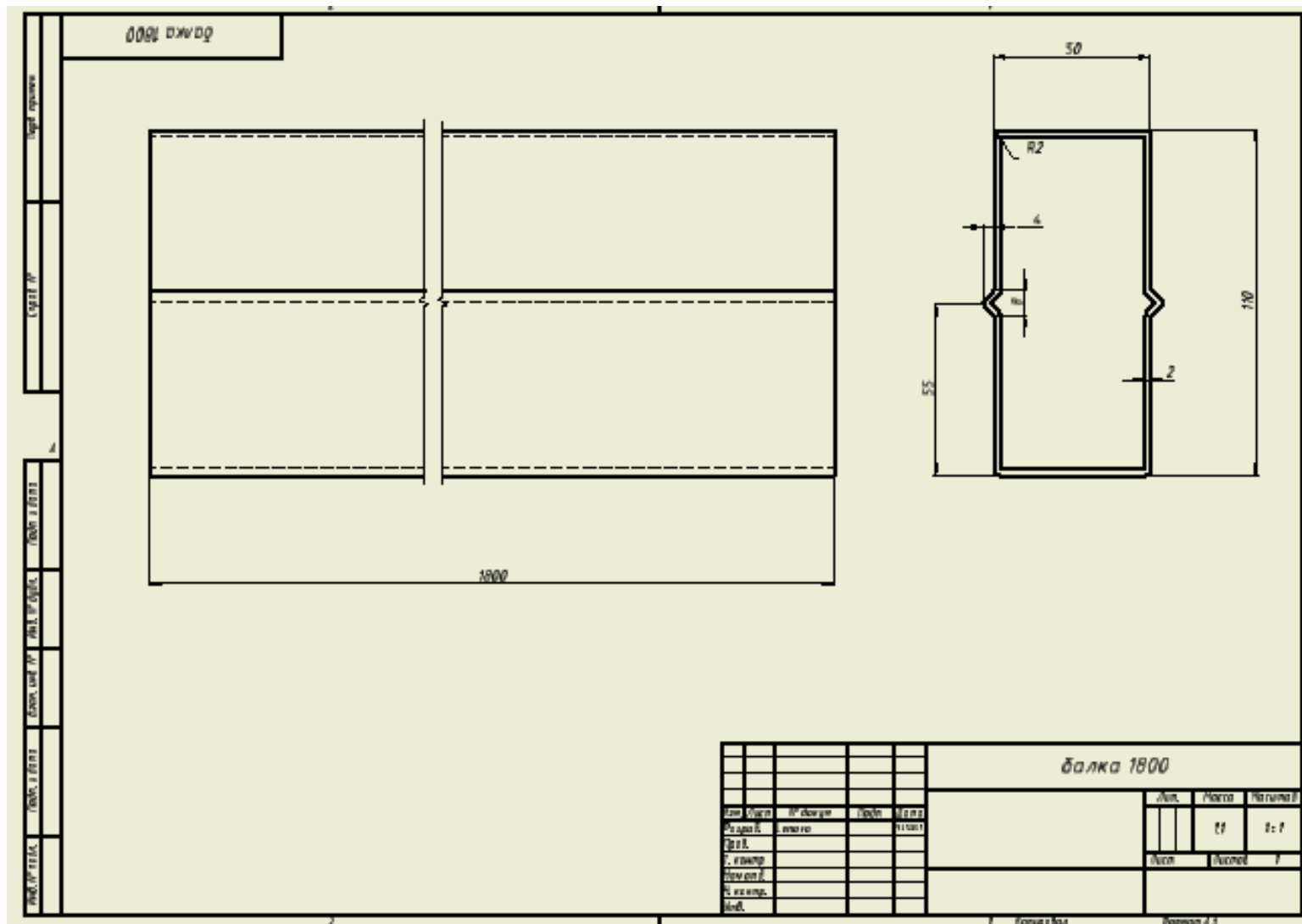


Рис. 3.6 - Креслення балки стелажу.

3.3. Кронштейн балки

Кронштейн призначений для приєднання балки до стійки стелажу. На рис.3.7. показано схему входження зачепів кронштейна в перфораційні отвори стійки. . Виходить досить міцна та надійна конструкція, відмінністю якої є простота в експлуатації. А її застосування може гарантувати те, що балки будуть знаходитися на своєму місці до їхньої планової заміни або для їх демонтажу при перестановці стелажного ярусу.

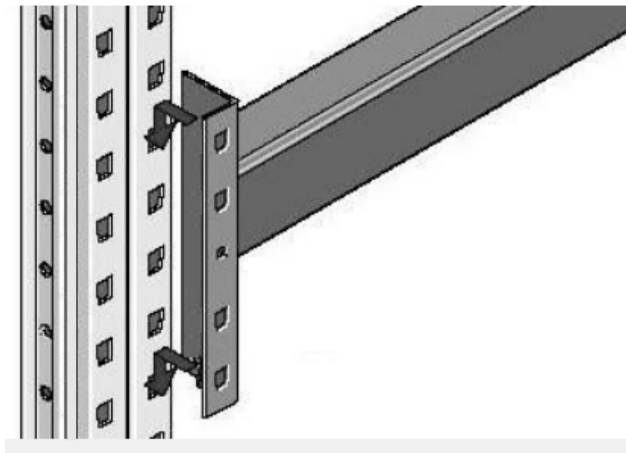


Рис. 3.7. Схема входження зачепів кронштейна в перфораційні отвори стійки

Кронштейн є гнутим куточком на одній із полиць якого виконані кутові зачепи за допомогою яких кронштейн входить у зачеплення зі стінками отворів на стійці. Тому розміри кронштейна, розташування зачепів, їх розміри повинні бути обов'язково узгоджені з розмірами стійки та розташуванням отворів перфораційних на ній. Крім цього до кронштейна приєднується балка стелажу, тому ширина полиці кронштейна до якої приєднується балка повинна бути не менше ширини профілю балки.

Визначимо основні розміри рис. 3.8.

Оскільки кронштейн - гнута деталь, його товщина повинна лежати не більше 1.5 мм -3 мм. Як правило, кронштейн виконують тієї ж товщини, що й

балка стелажу. Тому приймаємо товщину листа, з якого виконаний кронштейн 2 мм.

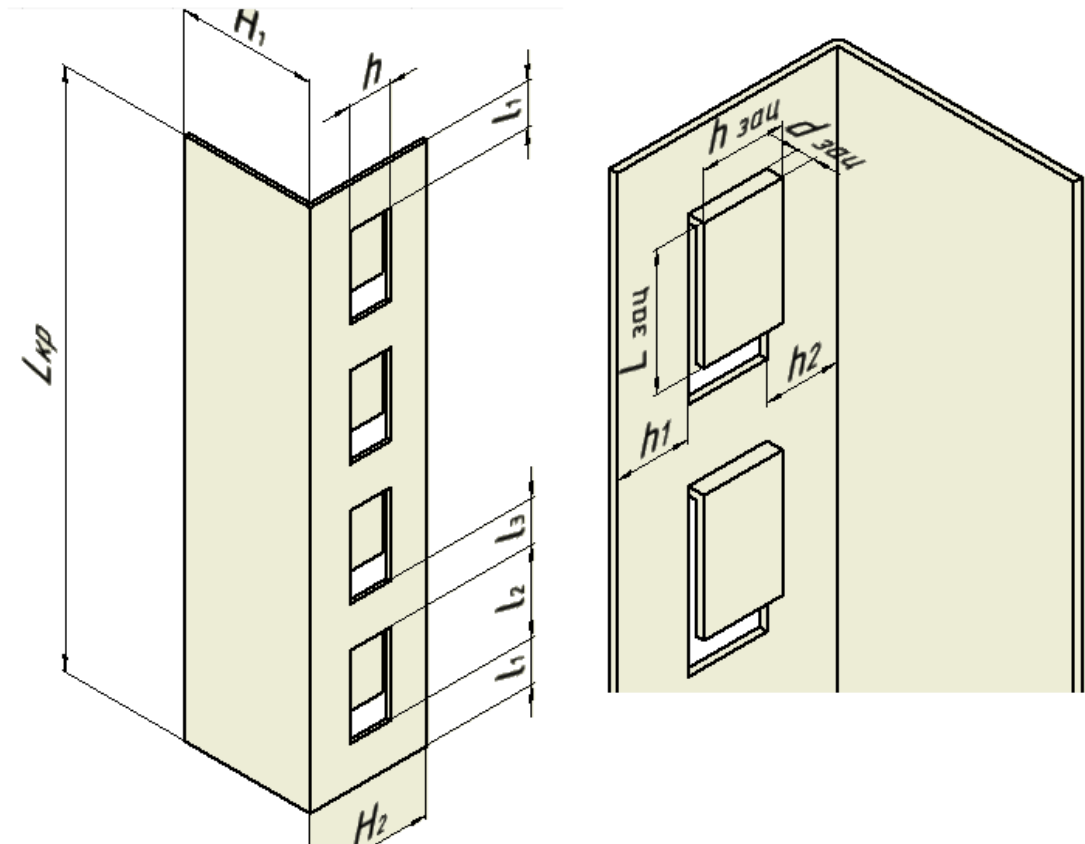


Рис. 3.8 - Визначення розмірів кронштейна

Приймаємо, що зачепи виконуються шляхом видавлювання на полиці кронштейна отворів, аналогічних отворам на стійці стелажу з одночасним загином видавленої частини у вигляді гака плоского як показано на рис 3.8. Виходячи з даної технології, визначаємо розміри зачепу:

$$h_{\text{зац}} = 20 \text{ мм}, l_{\text{зац}} = 32 \text{ мм}.$$

Глибина видавлювання $d_{\text{зац}}$ приймається рівною сумі товщин стійки та зачепа. Таким чином $d_{\text{зац}} = 4 \text{ мм}$.

Розміри $h, l_1, l_2, l_3, h_1, h_2$ визначаємо із креслення стійки на рис. 3.3 та рис. 3.4

$$h=20 \text{ мм}, l_1=20 \text{ мм}, l_2=40 \text{ мм}, l_3=20 \text{ мм}, h_1=18 \text{ мм}, h_2=18 \text{ мм}.$$

Ширина полиці кронштейна, на якій розташовані зачепи.

$$H_2 = h_1 + h_2 + h_{зац} + 2,$$

де 2 мм – товщина листа металу. В підсумку $H_2 = 58$ мм.

Ширина полиці кронштейна, до якої прикріплюється балка, повинна бути не менше ширини профілю балки, але і не перевищувати відповідної сторони стійки стелажу. Розміри перерізу балки 110x50x2. Таким чином, ширина профіля балки 50 мм. Приймаємо $H_1 = 60$ мм.

Висота кронштейна L кр визначається за умови розміщення 4-х зачепів.

Тоді

$$L_{кр} = 4 * l_2 + 3 * l_3 + 2 * l_1 = 260 \text{ мм.}$$

Проведемо моделювання розробленого кронштейна у системі автоматизованого проектування **САПР Autodesk Inventor Professional**.
Порядок побудови представлений в відео INVENTOR *Розробка кронштейну балки*. <https://youtu.be/XBtBNMP9sKg>

Зображення кронштейна подано на рис 3.9, а креслення кронштейна на рис. 3.10.

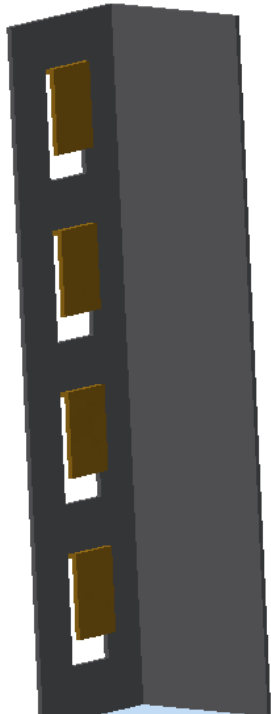


Рис. 3.9. Модель кронштейну

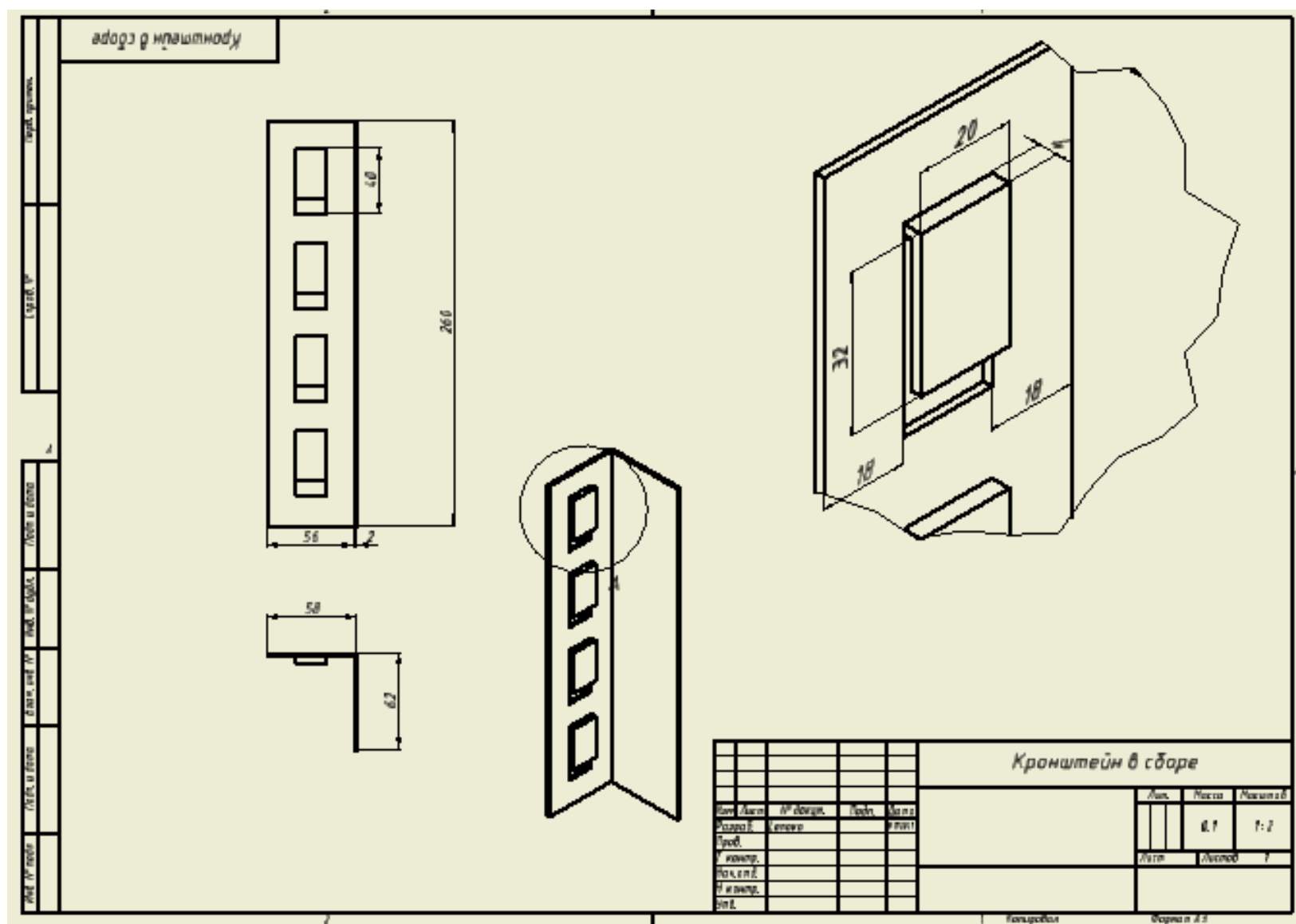


Рис. 3.10 - Креслення кронштейна.

3.4. Розкиси рами

При розрахунку перерізу стійки (п. 3.1.) було визначено, що як розкос у нашому випадку необхідно прийняти елемент квадратного перерізу з гнутим перерізом 40х40 мм. Товщину перерізу приймемо рівною 2 мм, радіус сполучення гнутих граней приймаємо рівним товщині перерізу, тобто 2 мм. На кінцях розкосу необхідно передбачити наскрізний отвір. Діаметр отвору та його розташування на розкосі визначаються параметрами перерізу стійки (див. рис. 3.4). Таким чином приймаємо діаметр отвору 11 мм, відстань від торця розкосу 19 мм.

Моделювання розкосу виконується у системі автоматизованого проектування **САПР Autodesk Inventor Professional**.

Креслення розкосу представлено на рис. 3.11

4. СТАТИЧНИЙ АНАЛІЗ СТЕЛАЖУ

4.1. Опис стрижневої моделі стелажу

Стелаж є просторовою рамною конструкцією, що знаходиться під впливом просторових зовнішніх зусиль. Відповідно до нормативних документів розрахункова модель стелажу може бути представлена стрижневою конструкцією з пружними вставками, що моделюють пружні згинальні властивості кронштейнів балок і пружних згинальних властивостей підп'ятників [2, стор. 75, 81].

Розрахункова модель у площині XOZ представлена на рис. 4.1.

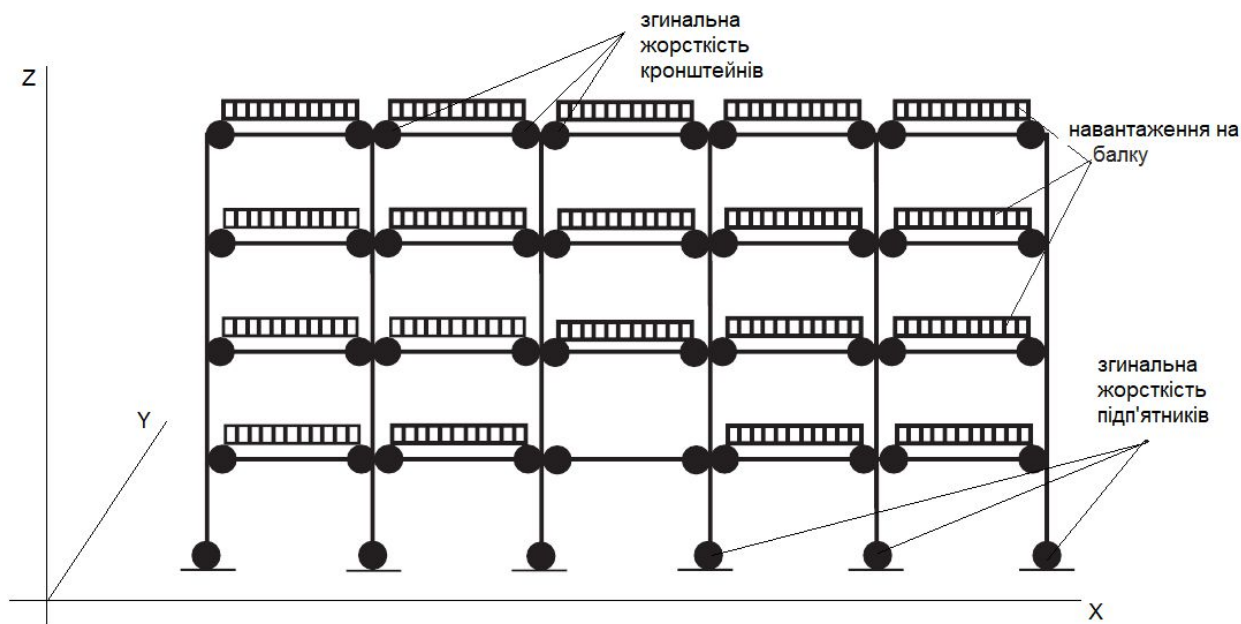


Рис. 4.1 - Розрахункова модель стелажу у площині XOZ .

У цій моделі стійки та балки видаються стрижнями постійного перерізу. У місцях з'єднання балок із стійками присутні пружні включення, за допомогою яких моделюється кутова згинальна жорсткість вузла кріплення кронштейна до стійки. Ця жорсткість характеризується коефіцієнтом пружної жорсткості кронштейна (розмірність н*м) за його згині у площині XOZ (навколо Y) з урахуванням специфіки його зачеплення зі стійкою.

Стійки кріпляться до підлоги складу за допомогою опор – підп'ятників, що володіють певними пружними властивостями при згинанні стійки у

фронтальній площині (XOZ) навколо осі Y. Ця жорсткість характеризується коефіцієнтом кутової жорсткості підп'ятника (розмірність $\text{н}^*\text{м}$).

Розрахункова модель рами стелажу (площина YOZ) представлена на рис. 4.2.

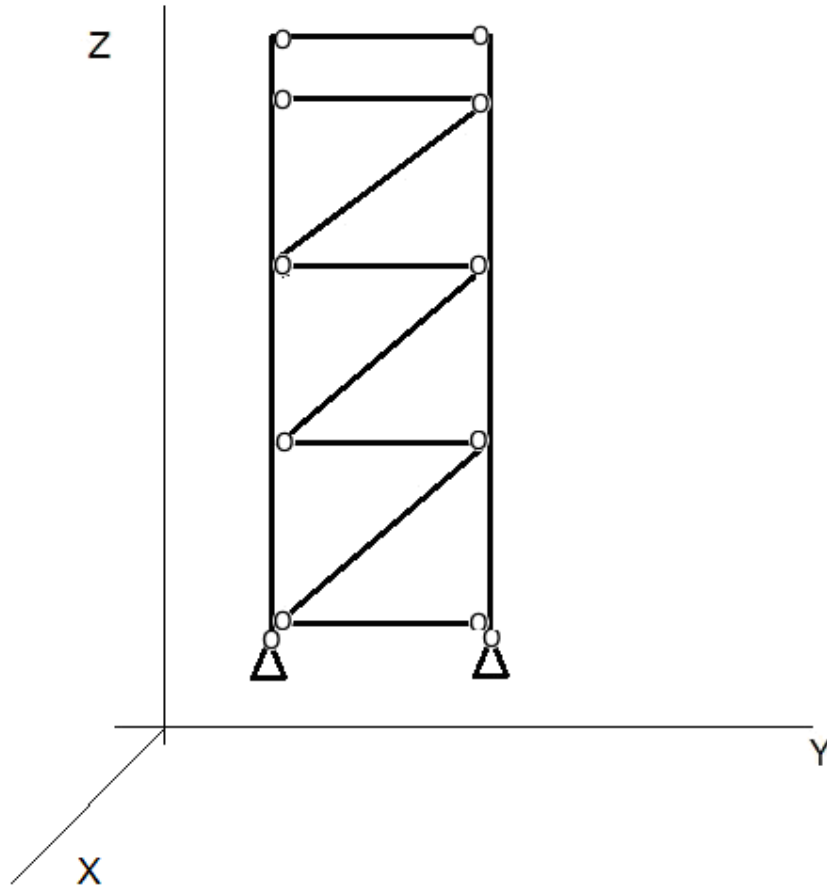


Рис. 4.2 - Розрахункова модель рами стелажу у площині YOZ.

У цій моделі розкоси видаються стрижнями з постійним перерізом по довжині. Болтове з'єднання розкосу зі стійкою враховується введенням шарніра у місці з'єднання розкосу та стійки. Це так звані плоский шарнір, який звільняє кут повороту при згинанні основи стійки тільки навколо осі X.

Аналогічні плоскі шарніри навколо осі X застосовані для моделювання спирання стояків за допомогою підп'ятників.

Таким чином, для побудови розрахункової моделі стелажу необхідно визначити:

- Жорсткісні характеристики стрижневої моделі стійки

- Жорсткісні характеристики стрижневої моделі балки
- Жорсткісні характеристики стрижневої моделі розкосу
- Коефіцієнт кутової згинальної жорсткості вузла кріплення кронштейна зі стійкою
- Коефіцієнт кутової згинальної жорсткості підп'ятника.

4.2. Моделювання стрижневих моделей балки та розкосу

Врахування пружних характеристик стійок, балок і розкосів стелажу в стрижневій моделі проводиться шляхом використання в цій моделі стрижневих моделей перерахованих елементів стелажу.

Для створення стрижневого елемента необхідно у базі даних стрижневих елементів зареєструвати поперечні перерізи цих елементів.

Стрижневий елемент – це пружний прямолінійний елемент із постійним по довжині поперечним перерізом. Причому висота або ширина перерізу повинна бути більш ніж у 8-10 разів меншою від загальної довжини елемента. Таким вимогам у нашому випадку задовольняють балки та розкоси стелажу.

Для реєстрації перерізів балки та розкосу за основу необхідно взяти розроблені моделі цих елементів стелажу. Сама технологія реєстрації перерізу у базі даних стрижневих елементів представлена у відеоуроці <https://youtu.be/KLTFcl2tU9M>.

4.3. Моделювання стрижневої моделі стійки

Стійка стелажу не відповідає вимогам стрижневого пружного елемента, оскільки в її конструкції широко використовуються перфораційні отвори, що використовуються для з'єднання стійки з балками та розкосами. Тому поперечний переріз у місцях цих перфораційних отворів значно відрізняється від виду перерізу, де цих отворів немає.

Нормативними документами передбачена процедура обліку впливу перфораційних отворів на жорсткі властивості стійки введенням так званого

ефективного поперечного перерізу стійки зі значенням площі поперечного перерізу F_{ef} . Це значення визначається на основі експериментальних досліджень, які порівнюють властивості стійки з перфорацією і такою ж стійкою без перфораційних отворів.

Перфораційні отвори послаблюють стійку. Стійка з отворами з площею поперечного перерізу F_{cm} має меншу пружну жорсткість, ніж така ж стійка без отворів. Тому реальну стійку при побудові її стрижневої моделі замінюють стійкою без отворів з такою конфігурацією поперечного перерізу постійною по всій довжині, але меншою (ефективною) площею F_{ef} .

Для того, щоб стрижнева модель була еквівалентна реальній моделі з перфораційними отворами її ефективну площу F_{ef} визначають шляхом зменшення реальної площі F_{cm} коефіцієнт ослаблення $k_{осл}$.

$$F_{ef} = F_{cm} * k_{осл}$$

Значення $k_{осл}$ визначаються або на основі розрахунків або на основі експериментальних досліджень. Цей коефіцієнт залежить від розмірів поперечного перерізу, розмірів отворів перфораційних, кроку перфорації. З експериментальних досліджень, і розрахунків відомо, що це коефіцієнт приймає значення 0,8 – 0,95.

Для нашого випадку приймаємо

$$k_{осл} = 0,85$$

Оскільки стрижнева модель має переріз таких самих основних розмірів і таку ж конфігурацію, що і реальна стійка, то для обліку коефіцієнта ослаблення достатньо товщину реальної стійки з перфорацією (у нашому випадку 2 мм) помножити прийнятий коефіцієнт ослаблення 0,85.

У результаті виходить, що реальну стійку з перфораційними отворами та товщиною листа перерізу 2 мм ми замінюємо стрижневою моделлю постійного по довжині перерізу без перфораційних отворів, але меншою завтовшки листа 1,7 мм ($2 * 0,85 = 1,7$ мм).

Для реєстрації перерізу стрижневого елемента стійки стелажа за основу необхідно взяти модель раніше розробленої стійки з перфораційними отворами. Далі:

1. Зняти копію з цієї моделі
2. В отриманій копії видалити перфораційні отвори
3. Увійти в режим редагування ескізу стійки та змінити товщину листа 2 мм на величину 1,7 мм.
4. Подальші дії, пов'язані з реєстрацією перерізу, виконувати відповідно до технології, яка застосовувалася при реєстрації перерізів балки та розкосу (п. 4.2)..

4.4. Визначення згинальної кутової жорсткості підп'ятника

Відповідно до [2, с. 78] для стійок з торцями, перпендикулярними до осі стійки, кутова жорсткість з'єднання стійки з підлогою (див. рис. 4.1.) може бути розрахована як EI_y / h , де h – висота першого рівня балок (але не менше 1000 мм), EI_y – згинальна жорсткість стійки в напрямку X (тобто навколо осі Y). У нашому випадку: $h = 1100 \text{ мм} = 1,1 \text{ м}$.

Жорсткісні характеристики перерізу стійки можна визначити в INVENTOR. Для цього необхідно відкрити раніше розроблену модель – фрагмент стійки 60 мм (див. рис. 3.2.), увійти в режим редагування ескізу, на якому буде зображено перетин стійки. У рядку основного меню виберіть пункт «**Проверка**», активувати закладку «**Свойства области**». Потім вказівником миші вказати контур перерізу стійки та натиснути кнопку «**Рассчитать**». Внаслідок цього відкриється вікно з характеристиками перерізу. Нас цікавлять параметри:

«Моменты инерции области по отношению к главным осям (мм⁴):»

$$I_x = 628392.6 \quad I_y = 1416011.$$

$$\text{У нашому випадку } I_y = 1416011 \text{ мм}^4 = 1.4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4. \quad E = 2.1 \cdot 10^7 \text{ т/м}^2$$

Остаточно для кутової жорсткості підп'ятника-опори отримуємо

$$I_y E / h = 26.7 \text{ тм}.$$

4.5. Визначення кутової згинальної жорсткості кронштейна

Напружено-деформований стан стелажу багато в чому залежить від згинальної жорсткості кронштейна. Тому визначенню цього параметра нормативної документації [2] приділено велику увагу. Жорсткість з'єднання балки та стійки згідно з нормативним документом визначається на основі натурного експерименту.

Схема експерименту представлена рис. 4.3.

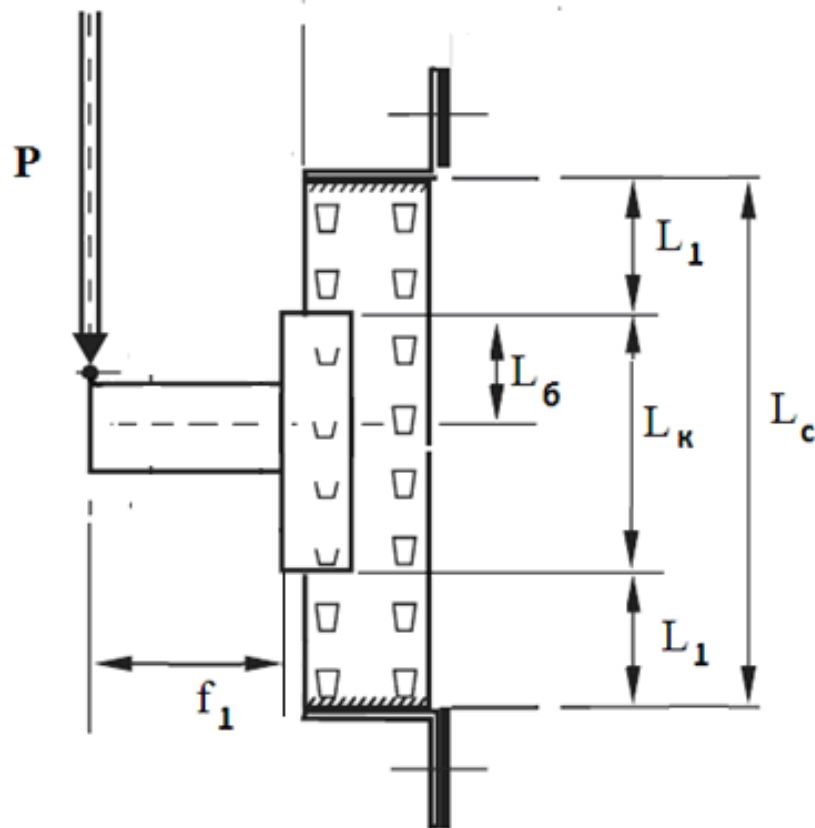


Рис. 4.3 Установка визначення згинальної жорсткості кронштейна.

Суть експерименту полягає в наступному:

Фрагмент стійки довгою L_c абсолютно жорстко заземляється по кінцях.

До стійки за допомогою зачепів приєднується кронштейн довжиною L_k з невеликою ділянкою балки довжиною f_l . До кінця ділянки балки прикладається вертикальне навантаження. Під впливом навантаження

кронштейн прогинається і кінець балки опускається деяку величину. За величиною цього прогину можна визначити коефіцієнт згинальної жорсткості кронштейна. Схема визначення коефіцієнта згинальної жорсткості кронштейна по прогину балки представлена на рис. 4.4.

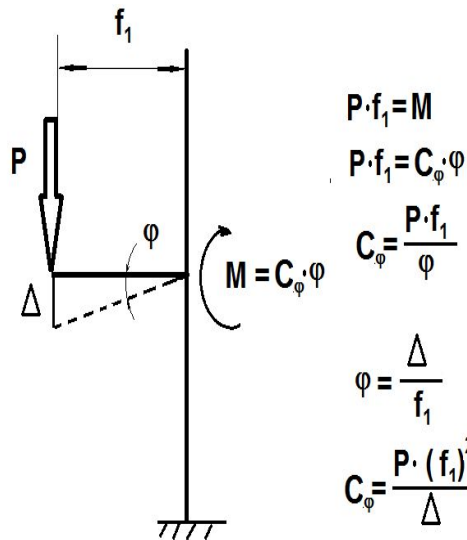


Рис. 4.4 - Схема визначення коефіцієнта згинальної жорсткості кронштейну

За відсутності можливості проведення натурного експерименту визначення жорсткості кронштейна проведемо з урахуванням чисельного експерименту в САПР INVENTOR. Порядок розробки фрагменту стійки, кронштейна, фрагмента балки, умов закріплення та навантаження елементів, а також хід проведення експерименту наведено у відеоурозці *INVENTOR*. **Визначення кутової жорсткості кронштейну**

<https://youtu.be/ORcXrD5SOwM>.

Розрахунки проводилися за наступних значень

$$P = 10000 \text{ Н}$$

$$f_1 = 100 \text{ мм}$$

Величина прогину балки у цьому експерименті становила 0.7155 мм. Кутова згинальна жорсткість кронштейна тоді становить 13,9 т м. Це значення надалі буде використано при побудові стрижневої моделі стелажу.

5. СХЕМИ НАВАНТАЖЕННЯ СТЕЛАЖУ

5.1. Навантаження, що діють на стелаж

Відповідно до [2] на стелаж діють постійні, змінні та випадкові (ударні) навантаження.

1. Постійні навантаження складаються із власної ваги елементів конструкції з урахуванням встановленого на нього допоміжного обладнання (стін, підлог, стель, сходів та ін.) G_k .

2. Змінні навантаження:

- навантаження від тарних та штучних вантажів Q_u ;
- навантаження при розміщенні вантажів, спрямовані вертикально

Q_{pv} ;

- навантаження при розміщенні вантажів, спрямовані горизонтально, Q_{ph} .

3. Випадкові (ударні) навантаження, що виникають при роботі крана штабелера, від яких виникають особливі вібрації або динамічні навантаження:

- Випадкові впливи у вертикальному напрямку A_{pv}
- Випадкові горизонтальні дії A_{ph} .

5.2. Визначення діючих навантажень

Постійне навантаження.

У системі INVENTOR облік сил ваги елементів конструкції G_k виконується автоматично під час створення розрахункової схеми. У браузері у розділі «Навантаження» з'являється рядок «Сила тяжіння».

Змінні навантаження.

Навантаження від тарних та штучних вантажів на один піддон $Q_u = 1520$ кг. Розподілене навантаження на одну балку довжиною 1,8 м $q = 0,844$ т/м

Навантаження, що виникають при розміщенні вантажу в комірку:

Навантаження при розміщенні вантажу, спрямоване вертикально [2, с. 25]

$$Q_{pv} = 0,25 * Q_u = 0,38 \text{ т.}$$

Це навантаження прикладається до краю основи крайньої верхньої комірки стелажу.

Навантаження при розміщенні вантажу, спрямоване горизонтально [2, с. 26]

$$Q_{ph} = 0,4 \text{ кн} = 0,04 \text{ т.}$$

Це навантаження прикладається до краю основи крайньої верхньої комірки стелажу як у напрямку X так і Y одночасно.

Випадкові (ударні) навантаження.

Випадкові дії у вертикальному напрямку A_{pv} які можуть викликати вихід із зачеплення кронштейна балки та стійки стелажу. У цьому розрахунку не враховується.

Випадкові горизонтальні дії [2, с. 31]

$$A_{ph} = 2,5 \text{ кн} = 0,25 \text{ т у напрямку осі } Y$$

$$A_{ph} = 1,25 \text{ кн} = 0,125 \text{ т у напрямку осі } X$$

Сили прикладаються до довільної стійки стелажу з боку проходу на висоті 400 мм від основи.

5.3. Схеми навантаження стелажу

Під час проведення розрахунків нормативними документами передбачені такі схеми навантаження [2].

Навантаження №1.

Поєднання власної ваги всіх елементів конструкції G_k та одного зі змінних навантажень. Як таке навантаження виберемо вагу вантажу у всіх осередках стелажу, що припадає на одну балку Q_u .

$$\Sigma g_G G_k + g_Q Q_u$$

g_G - коефіцієнт надійності для постійного навантаження (власної ваги)

g_Q - коефіцієнт надійності для змінних навантажень (ваги вантажу)

За таблицею 2 [2, с. 34] маємо

$$g_G = 1,3; \quad g_Q = 1,4$$

У цьому випадку сили ваги необхідно помножити на коефіцієнт 1,3

Розподілене навантаження на одну балку стелажу визначається винесенням q на коефіцієнт 1,4

$$g_Q Q_u = 1,4 * 0,844 = 1,18 \text{ т/м}$$

Навантаження №2.

Поєднання всіх постійних та змінних навантажень, які можуть статися одночасно. До таких навантажень відносяться: сили ваги елементів конструкції G_k , вага вантажу у всіх осередках стелажу, що припадає на одну балку Q_u , змінні навантаження Q_{pv} і Q_{ph} у напрямку осей X і Y .

$$\Sigma g_G G_k + 0,9(g_Q Q_u + g_Q Q_{pv} + g_Q Q_{ph})$$

Для цього завантаження сили ваги необхідно помножити на коефіцієнт 1,3

Розподілене навантаження на одну балку стелажу визначається винесенням q на коефіцієнт 1,4 і на понижувальний коефіцієнт 0,9

$$0,844 * 1,4 * 0,9 = 1,06 \text{ т/м}$$

Навантаження при розміщенні вантажів, спрямоване вертикально

$$0,9 * 1,4 * Q_{pv} = 0,9 * 1,4 * 0,38 = 0,48 \text{ т.}$$

Це навантаження прикладається до краю основи крайньої верхньої комірки стелажу у напрямку осі Z .

Навантаження при розміщенні вантажів, спрямоване горизонтально

$$0,9 \cdot 1,4 \cdot Q_{ph} = 0,9 \cdot 1,4 \cdot 0,04 = 0,05 \text{ т.}$$

Це навантаження прикладається до краю основи крайньої верхньої комірки в напрямку осі X і Y одночасно.

Навантаження №3.

Поєднання, що враховує постійні, змінні та випадкові навантаження.

$$\Sigma g_{Ga} G_k + g_{Qa} Q_u + g_{Qa} Q_{pv} + g_{Qa} Q_{ph} + g_a A_{ph}$$

g_a – коефіцієнт надійності для випадкових навантажень. Коефіцієнти g_{Ga}, g_{Qa}, g_a визначаємо за таблицею 2 [2, с. 34] для випадкових навантажень.

$$g_{Ga} = 1; \quad g_{Qa} = 1; \quad g_a = 1$$

Сили ваги елементів конструкції збільшуються на коефіцієнт 1.

Розподілене навантаження на одну балку стелажу

$$q = 0,844 \text{ т/м}$$

Навантаження при розміщенні вантажів, спрямоване вертикально

$$Q_{pv} = 0,38 \text{ т.}$$

Це навантаження прикладається до краю основи крайньої верхньої комірки стелажу.

Навантаження при розміщенні вантажів, спрямоване горизонтально

$$Q_{ph} = 0,04 \text{ т.}$$

Це навантаження прикладається до краю основи крайньої верхньої комірки як у напрямку осі X так і осі Y .

Випадкове навантаження

$A_{ph} = 0,25 \text{ т}$ у напрямку осі Y ; $A_{ph} = 0,125 \text{ т}$ у напрямку осі X

Сили прикладаються до довільної стійки стелажу з боку проходу на висоті 400 мм від основи.

6. МОДЕЛЮВАННЯ З'ЄДНАНЬ СХЕМ НАВАНТАЖЕННЯ

Особливістю палетних фронтальних стелажів і те, що це складові елементи металоконструкції пов'язані друг з одним роз'ємними сполуками. Розкоси рами з'єднані зі стійкою за допомогою болтових з'єднань. Балки стелажу зв'язуються зі стійками за допомогою кронштейнів, зачепи яких вводяться в перфораційні отвори на стійках. Це дозволяє балки легко переставляти по висоті стелажу. Стійки стелажу прикріплені за допомогою болтових з'єднань до під'ятників, які, у свою чергу, жорстко зв'язуються з основою приміщення.

У разі моделювання схеми стелажу з'єднання кронштейнів балок зі стійками, з'єднання стійок з під'ятниками враховуються шляхом введення в розрахункову схему спеціальних коефіцієнтів згинальної жорсткості. Ці параметри були визначені раніше у п. 4.4 та п. 4.5.

Система автоматизованого проектування INVENTOR має розвинені інструменти моделювання різних видів з'єднань та обліку зосереджених пружних включень. У відеофільму за посиланням <https://youtu.be/5F5m63tNfU8> показана технологія моделювання шарнірних та пружних з'єднання для стрижневої моделі палетного стелажу.

У системі INVENTOR передбачено можливість завдання різноманітних видів навантажень. У нашому випадку це будуть сили тяжіння елементів конструкції, розподілені по довжині балок стелажу навантаження від ваги вантажів у комірках та зосереджені навантаження, що виникають у процесі приміщення вантажів у комірки та при їх транспортуванні по складу.

Оскільки нормативними документами передбачено три схеми навантаження, то й у разі необхідно передбачити у розрахунковій схемі три навантаження. У навчальному відеофільмі **????** показано технологію завдання розподілених та зосереджених сил до елементів розрахункової схеми стелажу для трьох розглянутих раніше схем навантаження.

7. ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКІВ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Після того як змодельовані всі три схеми навантаження, переходимо до аналізу напружено-деформованого стану металоконструкції.

Активізуємо першу схему навантаження. Для виконання розрахунку необхідно вибрати режим «???» Система проведе повний розрахунок напруг та переміщень елементів металоконструкції та на екрані буде показаний вигляд деформованого стелажу. Крім цього, передбачена можливість виведення значень напруги та переміщень для будь-якої точки розрахункової схеми.

За допомогою інструмента Датчик необхідно вивести на екран значення переміщення і напруги середини найбільш навантаженої балки. Після цього необхідно перейти до 2-ї схеми навантаження і виконати розрахунок та відобразити напруги та переміщення середини найбільш навантаженої балки. Потім це виконати і для 3-ї схеми навантаження.

В результаті розрахунків визначаються три пари параметрів напружено деформованого стану елементів стелажу.

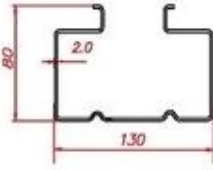

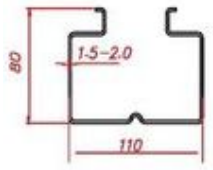

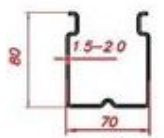
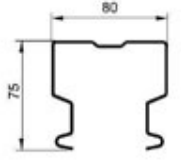
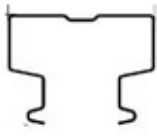

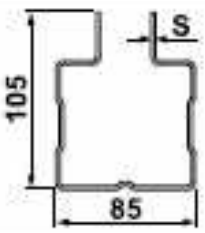
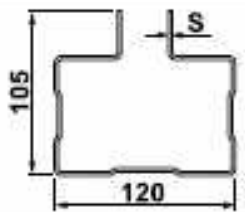
Тепер ці розрахункові значення необхідно порівняти з допустимими значеннями напруги та переміщень. Допустимі значення напруги для сталі становлять 200 – 250 Мпа. Допустимі значення прогинів балок стелажу визначаються за формулою $L\delta/200$. ($L\delta$ - довжина балки стелажу). Порівнюючи знайдені значення напруги і переміщень з граничними значеннями, робиться висновок про виконання умов жорсткості та міцності металоконструкції стелажу.

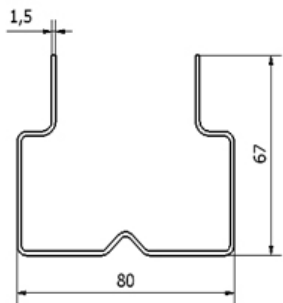

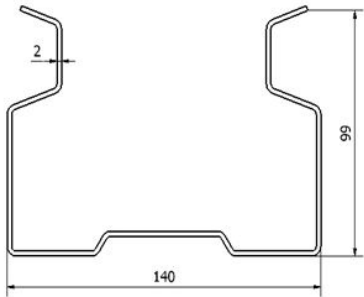
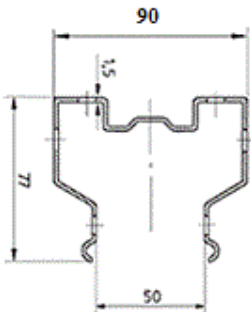
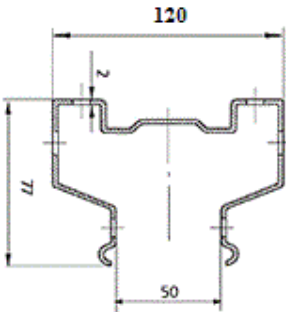
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ EN 15620:2015 Системи складські стаціонарні сталеві. Збірно-розбірні палетні стелажні системи. Допуски, деформації та зазори (EN 15620:2008, IDT)
2. ДСТУ EN 15512:2015 Системи складські стаціонарні сталеві. Збірно-розбірні палетні стелажні системи. Принципи проектування конструкцій (EN 15512:2009, IDT)
3. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:20XX Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-3. Загальні положення. Додаткові правила для холоднодеформованих елементів і пластин (EN 1993-1-3:2006, ЮТ).
4. ДСТУ EN 15635:2016 Системи складські стаціонарні сталеві. Експлуатування та технічне обслуговування складського устаткування (EN 15635:2008, IDT)

ДОДАТКИ

Варіанти перерізів стійок

№ перерізу	Схема поперечного перерізу стійки (Розміри орієнтовні, мм)	Загальний вигляд
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

8		
9		
10		
11		

Перерізи балки

№	1	2	3	4
схеми				

Тип поперечного перерізу				

Перерізи розкосу

№		
1		

Кронштейн балки

№ схеми	1	2
Конструкція кронштейну		

Навчальне видання

Методичні вказівки

до виконання та оформлення курсових робіт
з дисципліни «Конструкційні елементи складів»
для студентів спеціальності
131 Прикладна механіка. Інженерія логістичних систем
денної та заочної форм навчання

Укладач:

РУБАШКА Володимир Петрович

Відповідальний за випуск проф. В. О. Коваленко
Роботу рекомендував до друку проф. О. М. Шовковий

План весінній семестр 2023 р., поз. 299

Гарнітура Times New Roman.

Видавничий центр НТУ «ХПІ».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2
