

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

*«Вдосконалення конструкції та вибір матеріалу для
подвійної основи дитячого автомобільного крісла»*

Рівень вищої освіти перший бакалаврський
Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 132 Матеріалознавство
Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів

Шифр **КвРМТВА. 22134.01.01.00**

Виконав студент 4 курсу група МТВА-22-1


Підпис

Віталій БІДЮК

Керівник к.т.н., доцент каф. ТАМ


Підпис

Сергій ПІОСОНСЬКИЙ

Нормоконтролер к.т.н., доцент каф. ТАМ


Підпис

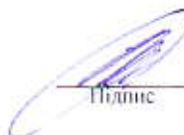
Олег БАБАК

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри ТАМ

11.06.2026 р

Дата


Підпис

Олександр ДИХА

Хмельницький, 2026

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства
Рівень вищої освіти перший бакалаврський
Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 132 Матеріалознавство
Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТАМ


15.04 Духа О.В.
2026 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бідюку Віталію Ігоровичу

Прізвище, ім'я, по батькові

- Тема роботи: *«Вдосконалення конструкції та вибір матеріалу для подвійної основи дитячого автомобільного крісла»*
керівник роботи: *Посонський Сергій Феліксович*, доцент каф. ТАМ.
Затверджено наказом університету від 20.01.2026 р. № 7 (Д 14)
- Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 12.06.2026 р.
- Вихідні дані до проекту (роботи) *Матеріали курсових проектів, практики.*
- Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
 - Аналіз конструкції автомобільного дитячого крісла.*
 - Методи та матеріали для конструювання каркасу.*
 - Результати проектування.*
 - Висновки, рекомендації*
- Перелік графічного матеріалу (презентація):
Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.
- Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 15.04 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1	Аналіз конструкції автомобільного дитячого крісла.	14.04.26	вик
2	Методи та матеріали для конструювання каркасу.	16.05.26	вик
3	Результати проектування.	26.05.26	вик
4	Оформлення роботи, висновки.	12.06.26	вик
5	Захист дипломної роботи	14.06.26	

Студент


Підпис

Віталій БІДЮК

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Сергій ПОСОНСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Студент групи МТВА-22-1: Бідюк В.І.

Структура та обсяг пояснювальної записки. Кваліфікаційна робота на тему *«Вдосконалення конструкції та вибір матеріалу для подвійної основи дитячого автомобільного крісла»* складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 17 найменувань, розміщених на 2 сторінках, та 3 додатків розміщених на 24 сторінках. Роботу викладено на 59 сторінці, з них 52 сторінки основного тексту, на яких розміщено 30 рисунків і 5 таблиць.

Дитячі утримуючі системи використовуються для захисту дитини у разі автомобільної аварії. Було виявлено, що ці системи мають складний процес встановлення, який у багатьох випадках може спричинити більше навантаження на дитину та, як наслідок, призвести до підвищеного ризику травмування та зниження безпеки. Проблеми є ще більш значними у випадках сімей з двома або більше дітьми та в невеликих автомобілях з браком доступного простору.



Запропоновано нову концепцію системи дитячого утримання. Основними цілями є пропозиція проектування подвійної бази ISOFIX для двох дітей, зменшення неправильного використання дитячого автокрісла, покращення користувацького досвіду та досягнення технологічного, соціального та екологічного внеску.

Другий аспект полягає у перевірці структури подвійної бази за допомогою попереднього скінченно-елементного аналізу з використанням випадку лобового зіткнення відповідно до чинних процедур випробувань. Алюмінієвий сплав Т36 обрано для проектування шляхом вибору матеріалу, виконаного з метою оптимізації структури щодо міцності та ваги. Попередній статичний аналіз скінченно-елементного аналізу виконується з використанням оболонкових елементів. Результати аналізуються з точки зору збіжності сітки. Крім того, проводиться лінеаризована перевірка на вигин.

Ключові слова: АВТОМОБІЛЬ, БЕЗПЕКА, СИСТЕМА ДИТЯЧОГО АВТОКРІСЛА, ISOFIX, МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, МОДЕЛЮВАННЯ, МІЦНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП		5
1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ АВТОМОБІЛЬНОГО ДИТЯЧОГО КРІСЛА		8
1.1. Загальні вимоги до конструкції дитячих автомобільних крісел		8
1.2. Матеріали та технологічні особливості виготовлення ДАК		10
1.3. Системи кріплення дитячих крісел		17
1.4. Краш-тести та методи випробувань дитячих автомобільних крісел		20
1.4.1. Загальні вимоги до безпеки дитячих автомобільних крісел		20
1.4.2. Краш-тести: мета, принцип і основні параметри		21
1.4.3. Методика проведення динамічних випробувань		24
1.4.4. Види манекенів для випробувань		25
1.4.5. Лабораторне обладнання для випробувань та критерії оцінки результатів		26
2 МЕТОДИ ТА МАТЕРІАЛИ ДЛЯ КОНСТРУЮВАННЯ КАРКАСУ		28
2.1. Загальні положення		28
2.2. Методи та засоби моделювання		29
2.3. Вибір початкових умов		30
2.3.1. Розміри автомобільних інтер'єрів		30
2.3.2. Вибір матеріалів		33
2.3.3. Специфікації		34
2.4. Попередній концептуальний проект		36
2.5. Аналіз методом скінчених елементів		37
2.5.1. Гіпотези спрощення		38
2.5.2. Граничні умови		39

						КвРМТВА. 22134.01.01.00		
Ім	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата	Вдосконалення конструкції та вибір матеріалу для подвійної основи дитячого автомобільного крісла	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Білюк	Посонський					4	59
Ізконтр.	Бабак	Диха				МТВА-22-1		

Аналіз міцності та вибір матеріалу важеля тяги підвіски вантажного трициклу	
2.5.3 Навантаження	40
2.5.4 Дані про матеріали	42
3 РЕЗУЛЬТАТИ ПРОЄКТУВАННЯ	47
3.1 Аналіз результатів моделювання	47
3.2 Перевірка конструкції на вигин	52
3.3 Обговорення результатів	54
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56
ДОДАТКИ	59

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Дитячі «утримуючі» системи (CRS), такі як «дитячі автокрісла», призначені для захисту пасажера у разі аварії. Однак безпека цих сидінь залежить від правильного використання систем кріплення батьками або опікунами [1]. Як свідчить практика, встановлення дитячого автокрісла може бути складнішим, ніж очікувалося. Ця непередбачена складність може призвести до неправильного використання дитячого автокрісла та відповідного зниження рівня захисту у разі аварії. Ця складність збільшується, коли використовуються два або більше дитячих автокрісла або різні моделі та розміри.

У літературі існує багато аналізів «кінцево-елементних» (CE) систем дитячого автокрісла (CRS); наприклад [2, 3], але більшість цих досліджень присвячені динамічному аналізу механічної поведінки автокрісла та його впливу на дитину у разі аварії. Однак деякі дослідження показують, що в багатьох випадках CRS використовувалися неправильно. Типові помилки включають використання невідповідного автокрісла для відповідного зросту або ваги дитини, медичного стану дитини та проблеми з встановленням. Наприклад, у Європі відсоток неправильного використання становить майже 40% [4].

Неправильне використання не лише знижує захист, але й збільшує ризик травмування. Часто встановлення фізично складніше, ніж очікувалося, і разом з браком доступного простору для правильного маніпулювання автокріслами всередині автомобіля призводить до неправильного встановлення. У деяких випадках конструкція автокрісла ускладнює уникнення помилок під час встановлення. У випадку перевезення двох дітей, таких як близнюки або немовля та малюк, користувач повинен встановити два окремих дитячих автокрісла. У невеликих автомобілях це серйозно

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обмежує доступний простір [5]. Крім того, на ринку, схоже, немає дитячих автокрісел, які можна використовувати для близнюків.

Метою роботи є розробка нової рами ISOFIX для основи системи безпеки немовлят, яка дозволяє безпечно закріпити два кошики для перевезення немовлят однакового або різного розміру відповідно до чинних правил Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй.

Також передбачається покращення користувацького досвіду, зменшенні фізичних вимог до користувача, а також покращенні загальної безпеки шляхом уникнення помилок під час встановлення. Згідно з дослідженням ринку, проведеним відділом розробки продуктів, можна спостерігати, що існують вагомні ознаки того, що відсоток новонароджених близнюків є відносно високим, і щонайменше 30% реальних сімей мають дітей з різницею у віці від 1 до 3 років. Ці факти свідчать про необхідність нового рішення щодо перевезення дітей в автомобілі.

Основні обмеження цієї роботи визначаються аспектами існуючих конструкцій CRS, такими як поточні виробничі процеси, зручність використання, юридичні аспекти та сумісність між автомобілями і кошиками CRS.

Завдання роботи:

- 1) Виконати аналіз конструкцій і методів кріплення дитячих автокрісел.
- 2) Запропонувати нову конструкцію, включаючи вибір матеріалів, для подвійної основи та її кріплення, яка задовольняє всі задані вимоги.
- 3) Виконати попередній аналіз для перевірки структурного каркасу запропонованої конструкції подвійної основи методом кінцевих елементів.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ АВТОМОБІЛЬНОГО ДИТЯЧОГО КРІСЛА

1.1. Загальні вимоги до конструкції дитячих автомобільних крісел.

Автомобільне дитяче крісло (далі – ДАК) є спеціальним утримувальним пристроєм, рис. 1.1, призначеним для безпечного перевезення дітей у транспортному засобі. Його конструкція повинна забезпечувати ефективний захист дитини при фронтальних, бокових та задніх зіткненнях, а також комфортні умови під час руху.

Вимоги до конструкції, матеріалів та випробувань регламентуються міжнародними стандартами ECE R44/04, ECE R129 (i-Size), а також відповідними ДСТУ ISO 13216-1:2016 та ДСТУ ISO 13216-2:2016, які визначають параметри систем кріплення ISOFIX.



Рисунок 1.1 – Автомобільне дитяче крісло.

Основні функціональні вимоги до конструкції ДАК:

- забезпечення фіксації тіла дитини в безпечному положенні;
- ефективне поглинання енергії удару;
- можливість швидкого встановлення та зняття з автомобіля;

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- відповідність антропометричним параметрам дітей певної вікової групи;
- ергономічність, комфорт і вентиляція посадкового місця;
- стійкість до старіння та впливу температурних коливань.

За конструктивними ознаками та масово-віковими групами дітей виділяють типи, наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Класифікація дитячих автомобільних крісел за конструкцією.

Група	Вік дитини	Вага, кг	Тип конструкції
0	до 12 міс	до 10	Люлька, встановлюється проти руху
0+	до 15 міс.	до 13	Автокрісло-колиска з ременями безпеки
I	9 міс. – 4 роки	9–18	Крісло з п'яти точковою системою фіксації
II	3 – 7 років	15–25	Крісло з власною спинкою, дитина фіксується штатним ременем
III	6 – 12 років	22–36	Бустер (сидіння без спинки)

Більшість сучасних конструкцій є універсальними трансформерами, які дозволяють адаптувати крісло до зросту дитини, змінюючи висоту підголівника, кут нахилу спинки та розміри сидіння.

Конструктивно ДАК складається з таких основних вузлів (рис. 1.2):

1. Корпус (каркас) – виготовляється з ударостійкого пластику (поліпропілену, АБС-пластику або армованого поліаміду). Він формує жорстку основу крісла та забезпечує передачу навантажень у разі удару.

2. Енергопоглинаючі елементи – вставки з пінополістиролу або поліуретану, які зменшують прискорення при зіткненні.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Система утримання – ремені безпеки (зазвичай п'ятиточкові), з натягувачем і центральним замком. Для старших дітей використовується фіксація штатним ременем автомобіля.

4. Підголівник і спинка – регульовані елементи, що забезпечують підтримку голови та хребта.

5. М'яке сидіння і чохол – виконуються з гіпоалергенних, знімних текстильних матеріалів із вентиляційними каналами.

6. Система кріплення до кузова автомобіля – реалізується за допомогою ISOFIX, Latch або штатного ременя безпеки.



Рисунок 1.2 – Основні елементи конструкції дитячого автомобільного крісла.

1.2 Матеріали та технологічні особливості виготовлення ДАК.

Конструкція дитячого автомобільного крісла (ДАК) формується з поєднання жорстких, еластичних та енергопоглинаючих матеріалів, кожен з яких виконує окрему функцію в забезпеченні безпеки, комфорту та довговічності виробу. Вибір матеріалів здійснюється відповідно до вимог стандартів ECE R44/04, ECE R129 (i-Size) та ДСТУ ISO 3795:2003 (щодо горючості матеріалів автомобільного салону).

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Матеріали корпусу (каркаса). Каркас є основним силовим елементом, що сприймає ударні навантаження під час зіткнення. До нього висуваються вимоги високої жорсткості, ударостійкості, стабільності геометрії та стійкості до старіння.

Для виготовлення корпусу застосовуються такі матеріали:

- Поліпропілен (PP) – найбільш поширений матеріал для лиття каркасів. Має високу ударну в'язкість, малу густину (0,9 г/см³), добру технологічність.

- АБС-пластик (акрилонітрил-бутадієн-стирол) – забезпечує підвищену жорсткість, стійкість до деформації та температур до 80–100 °С.

- Поліамід (РА6, РА66) з армуванням скловолоконом (15–30%) використовується у кріслах підвищеної безпеки. Такий композит має високу міцність, термостійкість і добру енергопоглинаючу здатність.

- Комбіновані каркаси – металополімерні системи, де несучий каркас виконано зі сталевий труби або алюмінієвого профілю, а оболонка – з литого полімеру.

Технологія виготовлення корпусів переважно базується на методі лиття під тиском. Температура впорскування становить 180–240 °С, тиск пресування – 40–80 МПа. Для складних деталей використовується інжекційне лиття з газовим підтисненням, що дозволяє зменшити масу виробу без втрати міцності.

Енергопоглинаючі елементи. Для зменшення прискорень, які діють на тіло дитини під час удару, у конструкцію крісла вводяться спеціальні енергопоглинаючі вставки.

Основні матеріали:

- Пінополістирол (EPS) – легкий матеріал з комірчастою структурою, який руйнується при ударі, поглинаючи енергію.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- Екструдований поліпропілен (ЕРР) – відрізняється еластичністю і здатністю до багаторазового стискання без руйнування, що важливо при повторних навантаженнях.

- Поліуретанова піна – використовується в зонах контакту тіла з сидінням для пом'якшення навантаження і підвищення комфорту.

Технологія виготовлення:

- формування блоків спінюванням у формах з наступним термічним зварюванням комірок;

- вакуумне формування для отримання тонкостінних елементів складної геометрії.

Матеріали оббивки і м'яких елементів. М'яка частина дитячого сидіння забезпечує комфорт і правильне положення тіла дитини. Вона складається з кількох шарів: піна – підкладка – зовнішній текстиль.

1) Наповнювач – еластичний пінополіуретан (щільність 25–35 кг/м³), який не деформується під тривалим навантаженням.

2) Підкладковий шар – неткані матеріали типу спанбонд або поліестерова повсть.

3) Зовнішня оббивка – гіпоалергенні тканини на основі поліестеру, мікрофібри або сумішей з бавовною. Високоякісні тканини мають:

- дихаючу структуру;

- антибактеріальне просочення;

- знімну конструкцію (для прання);

- стійкість до ультрафіолету та стирання (більше 25000 циклів за методом Мартіндейла).

Оббивка закріплюється до корпусу застібками-липучками, гумками або скритими гачками, що спрощує демонтаж для очищення.

Система ременів безпеки та фурнітура. Ремені безпеки виготовляються з поліестерових стрічок високої міцності (розривне навантаження не менше 15 кН), стійких до ультрафіолетового випромінювання та зносу. Пряжки і

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фіксатори виконуються з ударостійкого нейлону або металевих сплавів (Zn-Al) з антикорозійним покриттям.

Технологічні особливості:

- прошивання ременів нитками з поліаміду з армуванням;
- термообробка країв для запобігання розпусканню;
- контроль сили натягу за допомогою регуляторів довжини та натягувачів.

Система кріплення до кузова автомобіля. Сучасні моделі ДАК оснащуються системою ISOFIX, яка забезпечує жорстке з'єднання з кузовом автомобіля без використання штатного ременя.

Основні елементи системи:

- Металеві напрямні ISOFIX, виготовлені зі сталі класу міцності не нижче 8.8, товщиною 3–4 мм;
- Фіксатори-засувки із загартованої сталі або армованого поліаміду;
- Анкерна лямка Top Tether, що утримує верхню частину крісла при фронтальному зіткненні.

Виготовлення цих компонентів передбачає точне штампування, зварювання точковими швами та гальванічне покриття для захисту від корозії.

Контроль якості та збирання. Фінальне складання проводиться на спеціалізованих конвеєрних лініях з поетапним контролем:

- перевірка геометрії каркаса;
- випробування вузлів ISOFIX на міцність;
- тестування ременів і замків на розрив;
- оцінка якості оббивки та швів;
- ударні випробування на полігоні або за допомогою краш-стенду.

Матеріали та технології виготовлення дитячих автомобільних крісел визначають рівень їхньої безпеки, зручності та довговічності. Поєднання жорстких композитних корпусів, еластичних енергопоглинаючих шарів і

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

високоякісних текстильних матеріалів дозволяє створити конструкцію, що ефективно захищає дитину при аваріях та відповідає сучасним міжнародним стандартам.

Фізико-механічні властивості основних матеріалів дитячих автомобільних крісел наведено в таблиці 1.2.

Для забезпечення міцності, довговічності та безпеки дитячого автомобільного крісла використовуються матеріали з різними характеристиками. Їх вибір обґрунтовано потребою у поєднанні жорсткості (для каркаса), еластичності (для енергопоглинальних елементів) і м'якості (для оббивки).

Таблиця 1.2 – Фізико-механічні властивості матеріалів, застосовуваних у дитячих автомобільних кріслах.

№	Матеріал	Густина, г/см ³	Міцність на розтяг, МПа	Модуль пружності, МПа	Ударна в'язкість (Izod), кДж/м ²	Робоча темпер., °С	Основне призначення
1	Поліпропілен (PP)	0,9	25-35	1300-1700	30-50	-20...+100	Корпус, спинка, бокові елементи
2	АБС-пластик	1,05	35-40	2000-2500	20-30	-30...+80	Каркас, декоративні панелі
3	Поліамід (РА66, армований 30% скловолокна)	1,35	90-110	6000-8000	8-15	-40...+120	Несучі частини каркаса, вузли ISOFIX
4	Пінополістирол (EPS)	0,03-0,06	0,2-0,5	10-30	-	-20...+70	Енергопоглинаючі вставки

5	Екструдований поліпропілен (ЕРР)	0,05-0,08	1,0-2,0	40-80	15-20	-30...+110	Боковий захист, демпфувальні елементи
6	Поліуретанова піна	0,04-0,06	0,4-0,8	5-10	-	-20...+90	Наповнювач сидіння та підголівника
7	Поліестерова тканина	1,38	-	-	-	-40...+100	Оббивка, знімний чохол
8	Сталь конструкційна (ISOFIX кронштейни)	7,85	350-450	210000	60-80	-50...+200	Кріпильні елементи, напрямні
9	Поліестерова стрічка (ремінь безпеки)	1,38	150-200	2000-3000	40-50	-40...+80	Система утримання дитини

Аналіз таблиці 1.2 показує, що поєднання жорстких полімерів (РР, РА66), енергопоглинаючих пін (EPS, ЕРР) і текстильних матеріалів забезпечує комплексне виконання вимог до безпеки, ергономічності та довговічності дитячих автомобільних крісел.

Порівняльна діаграма, що відображає міцність на розтяг і ударну в'язкість основних матеріалів, використаних у конструкції дитячого автомобільного крісла наведена на рисунку 1.3. Вона наочно показує баланс між жорсткістю (для силових елементів) і еластичністю (для енергопоглинаючих шарів).

										Арк.
										15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРМТВА. 22134.01.01.00					

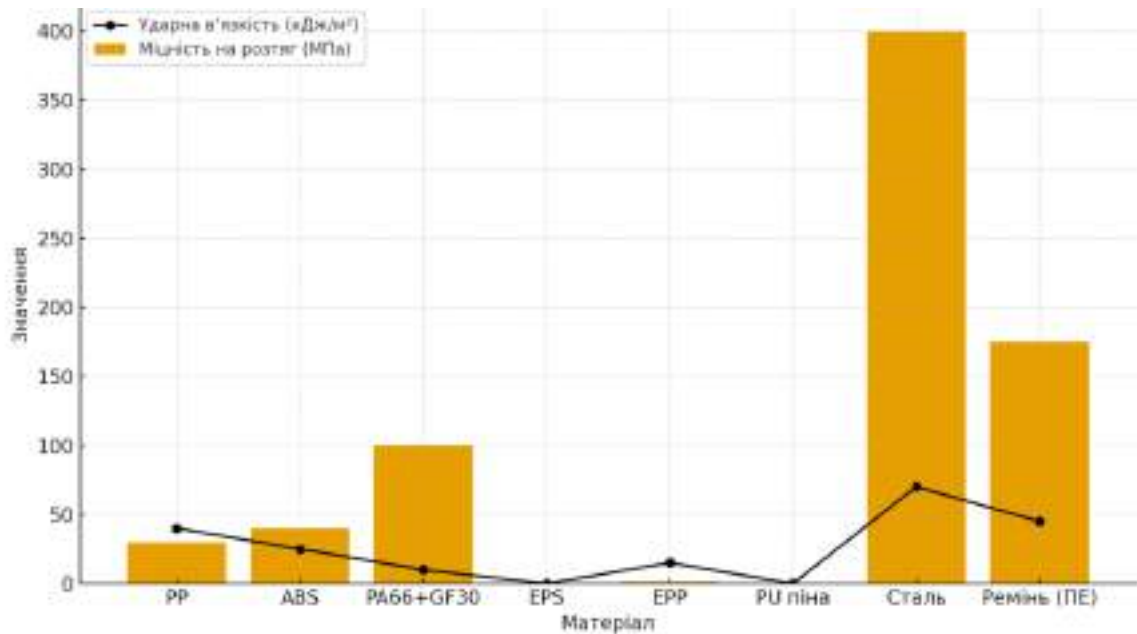


Рисунок 1.3 – Порівняння матеріалів дитячого автомобільного крісла за міцністю та ударною в'язкістю.

Використання армованих полімерів і комірчастих структур дозволяє знизити масу виробу на 20–30% без зменшення його міцності. Застосування термостійких матеріалів також забезпечує стабільність властивостей при експлуатації в широкому діапазоні температур – від зимових умов до нагрівання салону автомобіля влітку.

Для забезпечення пасивної безпеки передбачено:

- енергопоглинаючі зони у спинці та бокових стінках;
- захист від бокового удару (SIP – Side Impact Protection);
- анатомічну форму сидіння для фіксації тазу та плечей;
- кут нахилу спинки 110–125°, що мінімізує навантаження на шийний відділ;
- індикатори правильності встановлення ISOFIX та натягу ременів;
- антиковзкі накладки на плечових ременях.

Ергономічні та експлуатаційні характеристики. Конструкція крісла повинна відповідати зросту, масі та пропорціям тіла дитини. Основними параметрами, що визначають ергономіку, є:

- ширина сидіння – 270–350 мм;
- глибина посадкового місця – 300–360 мм;
- висота спинки – 500–650 мм;
- товщина підголівника – не менше 40 мм;
- маса крісла – 4–12 кг залежно від групи.

Додаткові зручності забезпечуються підлокітниками, вентиляційними отворами, регулюванням кута нахилу спинки та можливістю швидкого складання.

1.3 Системи кріплення дитячих крісел.

Наразі існує два способи кріплення дитячого автокрісла: використання існуючого автомобільного ременя безпеки (рис. 1.4) або використання системи ISOFIX [6]. Обидві системи мають свої переваги та недоліки. Автомобільний ремінь безпеки розроблений для забезпечення захисту дорослого пасажира, і хоча він пропонує розумний рівень безпеки, безпечне фіксування системи дитячого автокрісла (CRS) залежить від правильного встановлення та перевірки натягування. Використання ременя безпеки для фіксації CRS означає, що користувач повинен переконатися, що ремінь правильно прокладено та натягнуто. Цього часто важко досягти через конструкцію CRS або обмеження міцності користувача. Якщо ремінь занадто тугий, це може призвести до його від'єднання в деяких конструкціях сидінь, що залишає систему дитячого автокрісла незакріпленою. У випадку провисання ременя навантаження на дитину під час зіткнення на 30-40% вище, ніж за умови оптимально натягнутого ременя [6]. Якщо система дитячого автокрісла не повністю натягнута, провисання ременя дозволяє системі продовжувати рух навіть тоді, коли автомобіль сповільнюється під час зіткнення. Згідно з [6], це призводить до більшого уповільнення реакції CRS та збільшує поворот голови дитини.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



Рисунок 1.4 – Використання ременя безпеки для фіксації системи забезпечення безпеки.

Систему ISOFIX було введено Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO) для зменшення помилок під встановлення та спрощення процесу кріплення. Система базується на двох точках кріплення, розташованих в подушці сидіння, як показано на рисунку 1.5. Повний CRS або база CRS повинен бути закріплений до існуючих в автомобілі кронштейнів ISOFIX (як показано на рисунку 1.6), що запобігає рухам CRS вперед та бічні переміщення.



Рисунок 1.5 – Система ISOFIX.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18



Рисунок 1.6 – Схема встановлення системи ISOFIX.

Згідно з даними [6], рівень неправильного використання систем ISOFIX помітно нижчий, ніж при використанні звичайних систем безпеки. Система ISOFIX також забезпечує аналогічний рівень захисту дитини [7]. Враховуючи, що рівень захисту залишається високим, а кількість помилок встановлення зменшується, здається, що ISOFIX може бути остаточним рішенням. Однак у більшості випадків ISOFIX слід використовувати з додатковими заходами кріплення, такими як верхній ремінь для системи безпеки, зверненої вперед, або опорної ніжки для системи дитячого автокрісла, розташованої назад (проти руху). Використання цих кріплень необхідне для обмеження обертання дитячого автокрісла навколо кріплень ISOFIX, спричиненого великою відстанню між ними та центром ваги автокрісла. Однак, потреба в додатковому кріпленні суперечить так званій легкості використання ISOFIX.

Як показують проведені маркетингові дослідження, відсоток народження близнюків зростає останніми роками. Згідно з даними [8], розподіл європейських сімей здебільшого зосереджений на двох дітях. При

										Арк.
										19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

незалежному використанні двох дитячих автокрісел їх важко встановити поруч всередині транспортного засобу. Це призводить до їх встановлення в розділених подушках сидінь, залишаючи центральне сидіння (найчастіше) без достатнього місця для іншого пасажира. Одна з головних ідей подвійної бази полягає у вирішенні цієї проблеми та забезпеченні більшого вільного простору на задніх сидіннях.

Конструкція автомобільного дитячого крісла є результатом поєднання ергономічних, безпекових та технологічних вимог. Основними елементами, що визначають ефективність його роботи, є міцний каркас, система енергопоглинання, надійна фіксація та правильне встановлення у транспортному засобі. Використання сучасних матеріалів і систем кріплення типу ISOFIX підвищує рівень безпеки й комфорту дитини під час перевезення.

1.4 Краш-тести та методи випробувань дитячих автомобільних крісел.

1.4.1 Загальні вимоги до безпеки дитячих автомобільних крісел.

Дитяче автомобільне крісло (ДАК) є засобом пасивної безпеки, призначеним для захисту дитини під час дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Основна функція крісла полягає у зменшенні ризику травмування дитини шляхом поглинання енергії удару та фіксації тіла в оптимальному положенні відносно сидіння автомобіля.

Відповідно до вимог міжнародних нормативних документів – Правила ЄЕК ООН №44 (ECE R44/04) та Правила ЄЕК ООН №129 (i-Size) — усі дитячі утримувальні системи повинні проходити сертифікаційні випробування, які включають як динамічні (краш-тести), так і статичні (випробування міцності, зносостійкості, стабільності кріплення) тести.

Умовно ці випробування поділяють на три основні групи:

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1) Динамічні випробування (краш-тести) – перевіряють ефективність захисту при фронтальних, бокових і задніх зіткненнях.

2) Статичні випробування – визначають міцність конструкції, ременів, пряжок і систем кріплення ISOFIX.

3) Експлуатаційні та кліматичні випробування – перевіряють стійкість матеріалів до старіння, ультрафіолетового випромінювання, високих і низьких температур, а також впливу вологи.

1.4.2 Краш-тести: мета, принцип і основні параметри.

Краш-тест – це випробування, яке моделює реальні дорожньо-транспортні пригоди з метою оцінки поведінки ДАК під дією інерційних сил.

Основна мета краш-тестів – визначення рівня безпеки дитини при різних сценаріях зіткнення.

Випробування проводяться за допомогою спеціальних випробувальних візків (sled test rigs), які відтворюють рух автомобіля під час аварії. На платформу встановлюють дитяче крісло з манекеном (антропоморфним випробувальним пристроєм – ATD, Anthropomorphic Test Device) відповідного віку та маси. Після запуску візок різко гальмується, і датчики в манекені фіксують прискорення, переміщення голови, грудей та тазу, рисунок 1.7.

Основні типи динамічних випробувань:

1. Фронтальний удар – найпоширеніший вид тесту, який імітує зіткнення на швидкості 50 ± 1 км/год (ECE R44/04) або 56 км/год (ECE R129).

2. Боковий удар – моделює ситуацію зіткнення з боковим об'єктом або іншим транспортним засобом на швидкості 24–32 км/год.

3. Задній удар – менш критичний, але важливий для перевірки кріплення ISOFIX або Top Tether.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Обертальні випробування (roll-over) – у деяких випадках проводять моделювання перекидання транспортного засобу для оцінки фіксації ременів.

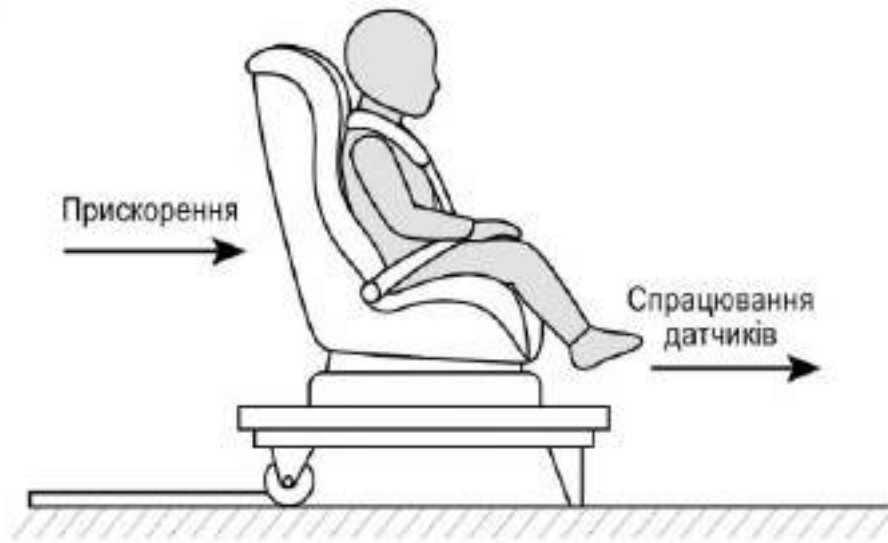


Рисунок 1.7 – Схема проведення краш-тесту ДАК.

Під час кожного тесту фіксуються наступні параметри:

- лінійні прискорення голови, грудної клітки і таза манекена;
- кутові прискорення голови;
- напруження в ременях і точках кріплення;
- переміщення центру маси манекена;
- час і послідовність спрацювання елементів поглинання енергії.

Автокрісло-бустер оснащено триточковим ременем безпеки для фіксації дітей, тому дослідження загальних параметрів конструювання автокрісла-бустера включає як дослідження параметрів траєкторії триточкового ременя безпеки, так і параметрів конструкції [5,6]. Оскільки траєкторія траєкторії триточкового ременя безпеки розроблена відповідно до розміру тіла дорослої людини, трапляється так, що плечовий ремінь знаходиться занадто близько до шиї дитини, а поясний ремінь зісковзує з положення тазової кістки під час процесу спрацювання ременя безпеки,

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

що призводить до більшої травми шиї та живота дитини під час зіткнення. Тому специфікація траєкторії траєкторії триточкового ременя безпеки є основним фактором для досягнення ідеального рівня захисту [9].

Відповідно до правил ECE R129, створюється модель санчат, що складається з подушки санчат, кріпильної пластини подушки санчат, кріпильного стрижня ISOFIX та точки кріплення ременя безпеки. Як об'єкт дослідження було обрано фірмове дитяче крісло-бустер, яке фіксується триточковим ременем безпеки, рисунок 1.8.



Рисунок 1.8 – Відповідна модель моделювання фронтального зіткнення.

Ремінь безпеки складається з трьох частин: плечового ременя, поясного ременя та натяжного пристрою. Щоб усунути зазори між манекеном та сидінням-бустером, а також між манекеном та ременем безпеки, триточковий ремінь безпеки регулювали до тих пір, поки його натяг не залишався в межах 50 ± 5 Н, а дитячий манекен та крісло-бустер були добре закріплені. Остаточне налаштування дитячого крісла-бустера під час фронтального випробування на санчатах показано на рисунку 1.9.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23



Рисунок 1.9 – Установка для випробування фронтальних саней.

1.4.3 Методика проведення динамічних випробувань.

Згідно з ЕСЕ R44/04, дитяче крісло фіксують до стандартного автомобільного сидіння, яке закріплюють на платформі. У конструкцію візка вмонтовано гідравлічний або пневматичний прискорювач, який надає системі прискорення, еквівалентне швидкості 50 км/год.

Послідовність проведення краш-тесту:

1. Підготовка випробувального зразка: встановлення дитячого крісла відповідно до інструкції виробника, розміщення манекена відповідної вагової групи.
2. Калібрування датчиків прискорення, тиску та натягу ременів.
3. Проведення ударного тесту.
4. Аналіз даних: оцінка перевищення гранично допустимих навантажень для голови (НІС – Head Injury Criterion), грудей (Chest Acceleration) та шиї (Neck Load).
5. Візуальний огляд крісла на наявність руйнувань, деформацій або розривів матеріалу, рисунок 1.10.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Згідно з ECE R44/04, для отримання сертифіката крісло повинно забезпечити, щоб:

- голова манекена не вдарялася об тверді частини салону;
- переміщення голови не перевищувало 550 мм (для дітей до 18 кг);
- навантаження на ремені не перевищували 13500 Н.

У сучасних стандартах ECE R129 (i-Size) застосовуються вдосконалені вимоги, зокрема:

- обов'язкове випробування бокового удару;
- використання манекенів серії Q-dummy, які точніше моделюють анатомію дитини;
- оцінювання ризику ротаційного переміщення голови.

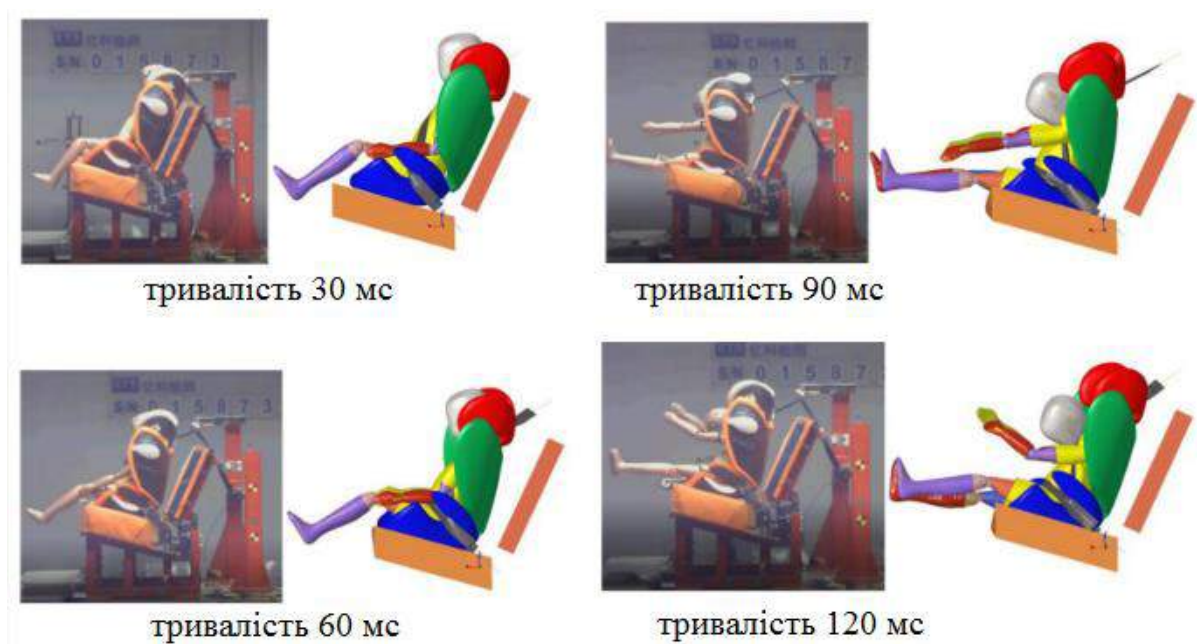


Рисунок 1.10 – Стоп кадри та результати моделювання при випробуваннях.

1.4.4 Види манекенів для випробувань.

Використання антропоморфних манекенів дає змогу відтворити поведінку тіла дитини при аварії. Залежно від віку та маси розрізняють такі типи манекенів:

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

- 1) Q0 – Q1.5 – для немовлят і дітей до 18 місяців;
- 2) Q3 – Q6 – для дітей віком 3–6 років;
- 3) Q10 – для дітей до 10 років.

Манекени оснащені десятками датчиків:

- акселерометри (для вимірювання прискорення голови, грудей, таза);
- датчики навантаження в шиї, плечах, стегнах;
- датчики розтягування ременів.

Дані, отримані з датчиків, аналізуються за допомогою спеціалізованих програм, які обчислюють критерії травматизму:

- НІС (Head Injury Criterion) – показник ризику травми голови;
- 3 ms Acceleration – пікове прискорення грудей;
- Neck Tension/Compression – осьові навантаження на шию.

1.4.5 Лабораторне обладнання для випробувань та критерії оцінки результатів.

Сучасні випробувальні центри, такі як ADAC (Німеччина), TASS International (Нідерланди), UTAC (Франція), використовують високоточні краш-установки з електромагнітними катапультами.

Ці системи дозволяють моделювати різні сценарії аварій із високою точністю та повторюваністю.

Випробувальний комплекс зазвичай складається з:

- ударного візка із системою керування прискоренням;
- змінних платформ для встановлення різних типів сидінь;
- системи збору даних з високошвидкісних сенсорів (до 1000 Гц);
- відеокамер високої швидкості (до 10 000 кадрів/с) для візуального аналізу деформацій.

Після проведення краш-тесту результати порівнюють із гранично допустимими значеннями. Основні критерії наведені в таблиці 1.3.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3 – Гранично допустимі показники краш-тесту.

Показник	Опис	Граничне значення (ECE R44/04)
НІС (голова)	Критерій травми голови	≤ 800
Acceleration (груди)	Середнє прискорення грудей	$\leq 55 \text{ g}$
Chest deflection	Деформація грудної клітки	$\leq 32 \text{ мм}$
Neck tension	Натяг шиї	$\leq 1800 \text{ Н}$
Neck compression	Стиснення шиї	$\leq 1700 \text{ Н}$
Displacement	Переміщення голови	$\leq 550 \text{ мм}$

Якщо результати перевищують встановлені межі, крісло не може отримати сертифікацію.

Краш-тести є обов'язковим етапом перевірки надійності дитячих автомобільних крісел. Їх результати дають змогу визначити ефективність захисту при різних сценаріях ДТП та забезпечити відповідність міжнародним стандартам.

Методики випробувань постійно вдосконалюються — від простих фронтальних ударів до комплексних симуляцій багатовекторних зіткнень.

Використання новітніх манекенів серії Q, цифрового аналізу даних і сучасних матеріалів дозволяє суттєво підвищити рівень безпеки дітей у транспортних засобах.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

2 МЕТОДИ ТА МАТЕРІАЛИ ДЛЯ КОНСТРУЮВАННЯ КАРКАСУ

2.1 Загальні положення.

Перш за все, було проведено пошук та дослідження літератури з метою пошуку нової та вдосконалення існуючої інформації про дитячі автокрісла загалом, а також числове моделювання в галузі безпеки дитячих автокрісел.

Пізніше було детально вивчено конструкцію кількох традиційних дитячих автокрісел, що встановлюються проти руху та вперед.

Цей аналіз надав необхідні знання для розуміння того, як виготовляються дитячі автокрісла, як їх можна кріпити та яку поведінку вони зазвичай демонструють за звичайних випадків навантаження. Також були визначені проблеми, пов'язані з нормальним використанням систем дитячого садка. Були визначені типові характеристики автомобільних систем безпеки.

Після того, як основні характеристики систем дитячого садка та транспортних засобів загалом стали зрозумілими, наступним кроком було запропонувати попередній геометричний дизайн для подвійної базової структурної рами, яка повинна відповідати всім ключовим вимогам, визначеним у літературному дослідженні, а також для досягнення внеску в технології, суспільство та навколишнє середовище. Було використано кілька методів генерації ідей та оцінки концепцій, що визначали проблеми, що виникли в процесі проектування. Це дало результат – кінцеву геометричну модель.

Після перевірки геометрії наступним кроком було створення тривимірної (3D) моделі для виконання подальших аналізів методом скінченних елементів (FE) базової рами. Для цієї мети було переглянуто ключову літературу, згадану раніше, щоб розробити відповідні умови навантаження та граничні умови. Матеріали, запропоновані для виготовлення основи та каркасу, були визначені на основі аналізу існуючих систем

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

опалення та кріплення (CRS), проте вибір матеріалів проводився відповідно до проектних специфікацій. Після запуску моделювання результати були перевірені для підтвердження їхньої достовірності та перетворені на проектні обмеження або вимоги з метою перевірки моделі або початку повторного проектування, якщо це необхідно.

2.2 Методи та засоби моделювання.

У процесі проектування було застосовано кілька методів відповідно до попередньо розробленої методології. Деякими з цих методів були методи генерування ідей та уточнення специфікацій, такі як мозковий штурм, пул мозкових письменників, прототип «темної конячки», SWOT (сильні сторони, слабкі сторони, можливості, загрози) та метод «дерева цілей» [9]. Генерування концепцій було здійснено шляхом малювання кількох ескізів та використання 3D-візуалізації за допомогою комп'ютерного проектування. (CAD) програмне забезпечення (PTC/Creo Parametrics 2.0). З огляду на оцінку концепції та відповідно до [9] були використані методи РМІ (Плюс/Мінус/Цікаво) та матричний вибір П'ю. Проблеми та несумісні рішення були відкинуті, а остаточна геометрія була досягнута шляхом перегляду та вдосконалення попередніх ескізів. Проект геометрії основи був розроблений відповідно до вимог та специфікацій, які були знайдені в огляді літератури та виявленні проблем, які виникли під час розробки концепції подвійної основи. Фінальна 3D-модель була розроблена за допомогою PTC/Creo Parametric 2.0. Геометрію було експортовано до ABAQUS 6.13 для FEI-аналізу стосовно механіки матеріалів твердого тіла. Моделювання було виконано з урахуванням спрощення, вибору типу елемента, встановлення граничних умов та вибору найбільш підходящого типу аналізу.

Рекомендації щодо визначення «випадків навантаження» та «границь» були взяті з літературного дослідження.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір матеріалів було здійснено відповідно до проектної специфікації за допомогою програмного забезпечення CES [10], розраховано показники продуктивності для оптимізації міцності та ваги використаних матеріалів та враховано важливі фактори. технологічні та екологічні аспекти.

2.3 Вибір початкових умов.

2.3.1 Розміри автомобільних інтер'єрів.

Згідно зі статистикою, наданою [11], у Швеції найбільш продаваними автомобілями у 2024 році були Volvo V70, Volkswagen Golf та Volvo S/V60. У Європі найбільш продаваними автомобілями 2024 року були Volkswagen Golf, Volkswagen Polo та Renault Clio. Очевидно, що автомобілі малого сегмента С (окрім Volvo V70) наразі є найпопулярнішими. З цієї причини дизайн подвійної бази орієнтований саме на цей тип автомобіля. Було необхідно визначити відповідні розміри певних кріплень для дитячих автокрісел, які є в цих автомобілях.

Перш ніж представити автомобільні сидіння та доступний простір, було необхідно дослідити, де має сидіти дитина або діти під час подорожі автомобілем, або, іншими словами, де розмістити дитяче автокрісло. Аналіз даних [12] показує, що найбезпечнішими місцями в автомобілі є задні сидіння, незалежно від їхнього розташування, оскільки ризик травмування у разі аварії однаковий на правому, центральному або лівому сидіннях. У випадку подвійної бази положення розміщення переднього сидіння не може бути використане для системи дитячого автокрісла.

Автомобільні розміри, що становлять інтерес стосовно конструкції подвійної бази, це ті, що стосуються заднього сидіння та задньої подушки, зокрема простору для голови ззаду, простору для ніг ззаду, простору для стегон ззаду та простору для плечей ззаду. Простір для голови, як показано

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

на рисунку 2.1, - це відстань від поверхні подушки до підлоги автомобіля. Простір для плечей - це відстань від однієї бічної дверної панелі до дверної панелі зіншого боку. Простір для стегон - це ширина подушки сидіння. Простір для ніг є найважчим для вимірювання, і його визначення варіюється від одного виробника до іншого, однак, його можна розуміти як відстань, доступну для ніг, між краєм подушки заднього сидіння та конструкцією переднього сидіння. У таблиці 2.1 наведено ключові розміри для кількох транспортних засобів сегмента С.

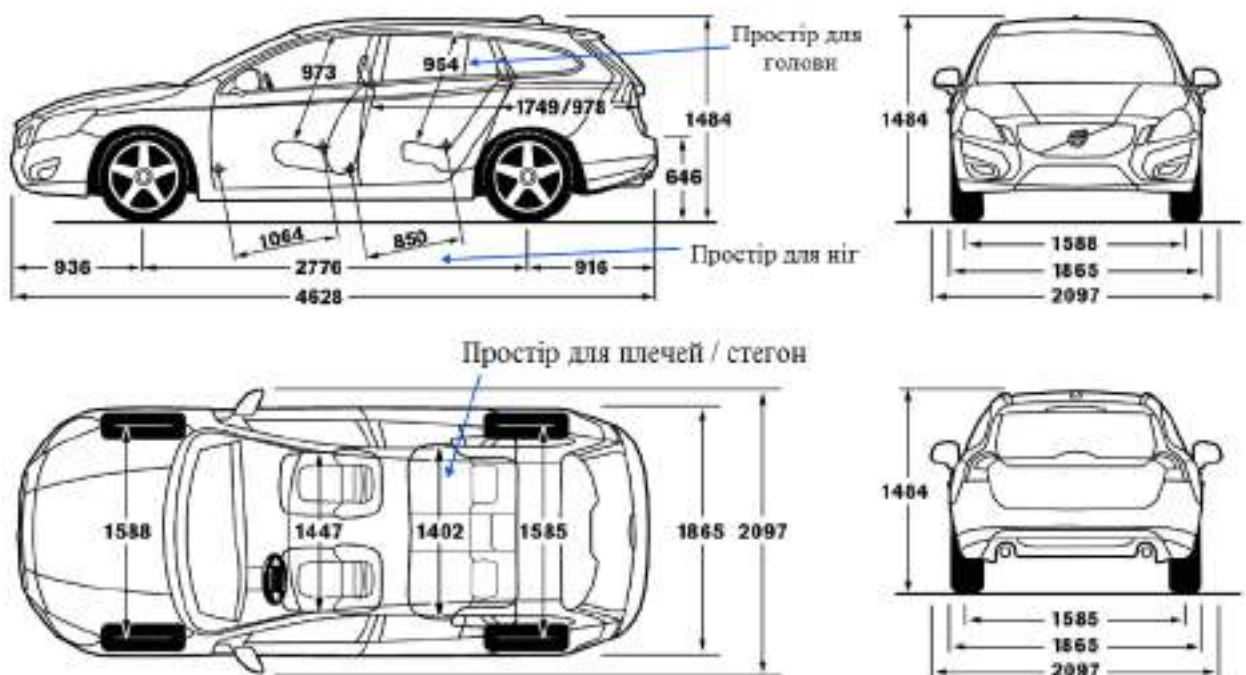


Рисунок 2.1 – Основні розміри автомобіля класу С.

Найважливішим виміром для конструкції подвійної бази CRS є простір для стегон або доступний простір для розміщення бази на сидінні. Тим не менш, ці розміри не є єдиним важливим фактором. Форма подушки створює ще більшу проблему для досягнення правильної посадки та зручності використання бази. На щастя, задні сидіння автомобілів малого сегмента С (компактних) та хетчбеків здебільшого плоскі через зменшення доступного

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

простору в цих автомобілях. Також форма конструкції, що використовується в конструкції подвійної основи (див. на рисунку 2.2), може бути достатньо добре адаптована до незначних змін подушки сидіння.

Таблиця 2.1 – Відповідні розміри автомобіля класу С.

Марка	Простір для голови	Простір для ніг	Простір для плечей	Простір для стегон
Audi "A3" (2015)	917 мм	660 мм	1308 мм	1422 мм
Ford "Fiesta" (2015)	945 мм	635 мм	1219 мм	1250 мм
Honda "Civic" (2015)	871 мм	686 мм	1333 мм	1245 мм
Mazda "3" (2014)	953 мм	660 мм	1321 мм	1366 мм
Toyota "Yaris" (2015)	955 мм	660 мм	1257 мм	1265 мм
Renault "Clio" (2014)	861 мм	-	1343 мм	1394 мм
Volvo V70 (2009)	981 мм	880 мм	1434 мм	1400 мм
Volkswagen Golf (2015)	968 мм	711 мм	1334 мм	-
Volkswagen Polo (2015)	943 мм	824 мм	-	1384 мм

2.3.2 Вибір матеріалів.

Під час розробки конструкції основи та подальшого моделювання FEI одним з найважливіших рішень, яке потрібно було прийняти, був вибір матеріалу. З існуючих конструкцій основ CRS та ISOFIX можна виявити, що найбільш типовими матеріалами, що використовуються для виробництва, є ударостійкий сополімер поліпропілену (ICP) та пінополістиролу (EPS) для зовнішніх частин та самого сидіння, а також алюміній для структурного каркасу. Ударостійкий сополімер поліпропілену (ICP) та пінополістиролу (EPS) демонструють хорошу ударостійкість, поглинання енергії та можуть бути легко виготовлені за допомогою термоформування. З іншого боку, матеріали, які були використані для CRS, відповідають нормам щодо екологічних специфікацій, а також технологічних аспектів, таких як придатність для виробництва за допомогою доступних на даний момент процесів для будівництва CRS. Як альтернативи матеріалам для корпусу, пластики, які можуть бути термоформовані, це: поліетилен високої щільності (HDPE), ударостійкий полістирол (HIPS), ударостійкий полістирол, акриловий пластик, акрилонітрилбутадієнстирол (АБС) та полікарбонат. Використання пластику для CRS підтверджується його легкою вагою та простотою експлуатації. Однак є два суттєві недоліки: деградація та експлуатація за низької температури (обмеженої температурою склування, яка визначена для кожного пластику). Деякими альтернативами, які можна розглянути, є склопластики (FPR), вуглецеві пластики (CFRP) та кевларові (армічні) полімери, однак вартість експлуатації з цим матеріалом залишається досить високою. Що стосується структурного компонента, альтернативою можуть бути високоміцні низьколеговані сталі (HSLA) з унікальним обмеженням методу, що використовується для виготовлення каркаса (зварювання, формування профілю тощо), та магнієві або титанові сплави з обмеженнями вартості та зварювання.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Матеріали, придатні для будівництва CRS, повинні відповідати певним вимогам. Перелік вимог, таких як хороша ударостійкість, щоб витримувати сили під час зіткнення, матеріал повинен бути нетоксичним під час своєї роботи та використання, а також мати певні властивості поглинання енергії. Ще однією особливістю, яку слід враховувати, є те, що виробничі процеси мають бути подібними до тих, що доступні наразі.

2.3.3 Специфікації.

Як було згадано раніше, для того, щоб виконати всі вимоги, а також створити дизайн, який принесе користь суспільству, технологіям та довкіллю, під час процесу проектування було розроблено низку специфікацій. Ці специфікації містять характеристики, які має включати подвійна основа. Ці характеристики вказані в таблиці 2.2 та базуються на правових, екологічних вимогах до зручності використання, а також на потребах користувачів. Також ці специфікації були розроблені до початку етапу процесу креативного дизайну. Таким чином, Таблиця 2.2 надала попередні вказівки щодо розробки низки концепцій.

Таблиця 2.2 – Специфікації для подвійної основи.

Необхідна (N) або бажана(D) вимога	Вага	Визначення	Вимога	Мета
N	5	Легке встановлення	Кількість операцій	2
N	5	Легке встановлення	Фізичні вимоги	Якомога менше
N	5	Обмежити зміщення осей	ISOFIX або ременя безпеки	Так

N	5	Обмежити обертальне зміщення	Фіксувати обертання навколо кріплень ISOFIX	Так
N	5	Хороша ударостійкість та поглинання енергії		Так
N	4	Легка	Максимально дозволена вага	7
D	3	Легке введення першого кошика	Рейки, що використовуються для зміщення кошика	Так
N	3	Зіставте розміри подушки автомобіля	Форма та розміри відповідно до доступного простору та ергономіки	Так
N	4	Кріплення кошиків до основи	Рейка + затискач або Рейка + ремінь	Так
N	3	Сумісність кошиків	Використання різних дитячих кошиків одночасно	Так
N	5	Вимоги безпеки	Відповідно до чинних правил (Європейська економічна комісія Організації Об'єднаних Націй)	Так
D	4	Зручне для виробництва	Використання існуючих виробничих процесів (термоформування)	Так

					КВРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

D	4	Є екологічно безпечним	Матеріали» не повинні містити екологічних токсинів	Так
D	2	Тривалість життєвого циклу	5 років (діти віком від 0 до 4 років)	Так
D	3	Легко чистити	Легко чистити без деградації	Так
D	3	Проміжна ціна	Кінцевий продукт не повинен коштувати більше, ніж X євро для клієнта.	200
D	3	Легко для розуміння	Користувач повинен знати, як працює продукт, без попередніх знань, після одноразового прочитання інструкцій.	Так

2.4 Попередній концептуальний проект.

Щоб запропонувати можливий дизайн подвійної основи, спочатку слід врахувати враховується сумісність з автомобілями та існуючими кошиками дитячих автокрісел, які використовуються для утримання дитини. Зрозуміло, що практично неможливо розробити основу, яка могла б підійти для всіх кошиків, розроблених усіма виробниками дитячих автокрісел. Зіткнувшись з цією проблемою, було прийнято рішення вибрати одного виробника (Britax) та розробити подвійну основу відповідно до розмірів кошика, який виробляє

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ця компанія, залишивши подальшу роботу над розробкою кошика дитячого автокрісла, спеціально спрямованого на поточну конструкцію основи.

Після того, як можливі кошики для дитячих автокрісел звужено та враховано сумісність з автомобілем, можна визначити розміри структурної частини подвійної основи. Розміри структурної рами були скориговані, щоб зробити подвійну основу придатною для якомога більшої кількості автомобілів, а також зробити можливим кріплення для двох кошиків. Як результат, на рисунку 2.2 показано остаточну концепцію рами подвійної основи, яку можна використовувати для близнюків або дітей з різницею у віці менше 4 років. Іншими словами, подвійна основа дозволяє розміщувати кошики CRS однакового або різного розміру в межах груп 0, 0+ та 1.

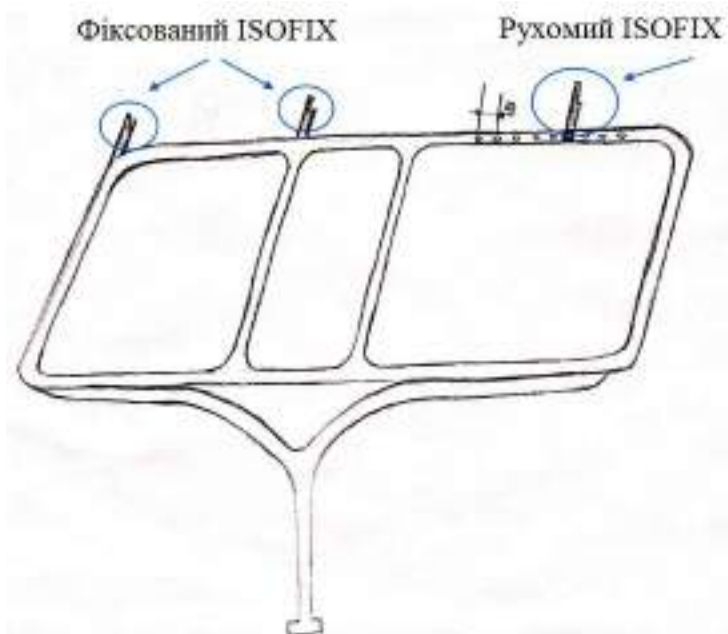


Рисунок 2.2 – Ескіз попереднього проекту.

2.5 Аналіз методом скінчених елементів.

Аналіз методом скінчених елементів було використано з головною метою – перевірити конструкцію подвійної основи з урахуванням її попереднього структурного аналізу та перевірити, чи може нова конструкція подвійної основи витримати сили, що виникають під час зіткнення

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

транспортного засобу. Дуже важливо підкреслити попередній характер аналізу через обмеження часу та ресурсів.

Аналіз FEI було виконано за допомогою академічної ліцензії програмного забезпечення ABAQUS 6.13. Перш за все, 3D-модель базової геометрії було експортовано з програмного забезпечення автоматизованого проектування (CAD) (PTC/Creo Parametric 2.0) у форматі STEP, що є нейтральним форматом даних, що дозволяє цифровий обмін інформацією між CAD та програмним забезпеченням FEI.

Перед виконанням аналізу необхідно встановити теоретичну оболонку, яка складається з граничних умов, прикладених навантажень та даних про матеріали, наскільки це можливо та спрощення моделі гіпотези.

2.5.1 Гіпотези спрощення.

Аналіз, який було виконано, був попереднім аналізом з метою перевірки всієї конструкції та виявлення можливих проблем для подальшого перепроектування. З цієї причини аналіз було виконано як статичний аналіз, де сили вважалися статичними. Статичний аналіз було обрано через високу складність, часові та обчислювальні вимоги до повного динамічного моделювання випробування саней, що використовувалося для затвердження CRS державними органами (Європейська економічна комісія Організації Об'єднаних Націй).

Щодо геометрії, деякі спрощення були виконані з остаточної концепції, що стоїть перед аналізом. Ці спрощення полягають у виключенні заокруглень у вихідній моделі, не структурних отворів (розроблених для третього механізму блокування ISOFIX) та анкерів ISOFIX. Ці спрощення були зроблені для того, щоб зменшити обчислювальні витрати на аналіз, а також уникнути непотрібних помилок в зонах складної геометрії (таких як концентратори напружень).

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щодо граничних умов, затискач, який забезпечує кріплення основи до кронштейнів ISOFIX, був замінений ефектом, який він розвиває в моделі. Ця заміна можлива завдяки тому, що затискач є стандартизованим елементом і використовується в однаковій конфігурації в усіх дитячих автокріслах типу ISOFIX.

2.5.2 Граничні умови.

Набір граничних умов був встановлений відповідно до Регламенту № 44 випробування на санчатах, визначеного Економічною комісією для Європи Організації Об'єднаних Націй. Автокрісло можна розглядати як жорсткий кузов. Дитяче автокрісло кріпиться до сидіння за допомогою трьох кріплень ISOFIX та опори для ніг. Це означає, що рух системи дитячого крісла (CRS) обмежений у трьох точках ISOFIX по осях xI , yI та zI , як показано на рисунку 2.3. Обертання CRS навколо осі xI обмежується опорою для ніг. Враховуючи все вищезазначене, можна сказати, що металеві деталі, які контактують із затискачем типу «крокодил» ISOFIX, закріплені в напрямках xI , yI та zI , а рух по осі xI обмежується навколо частини опори для ніг, яка контактує з підлогою автомобіля, як показано на рисунку 2.4.

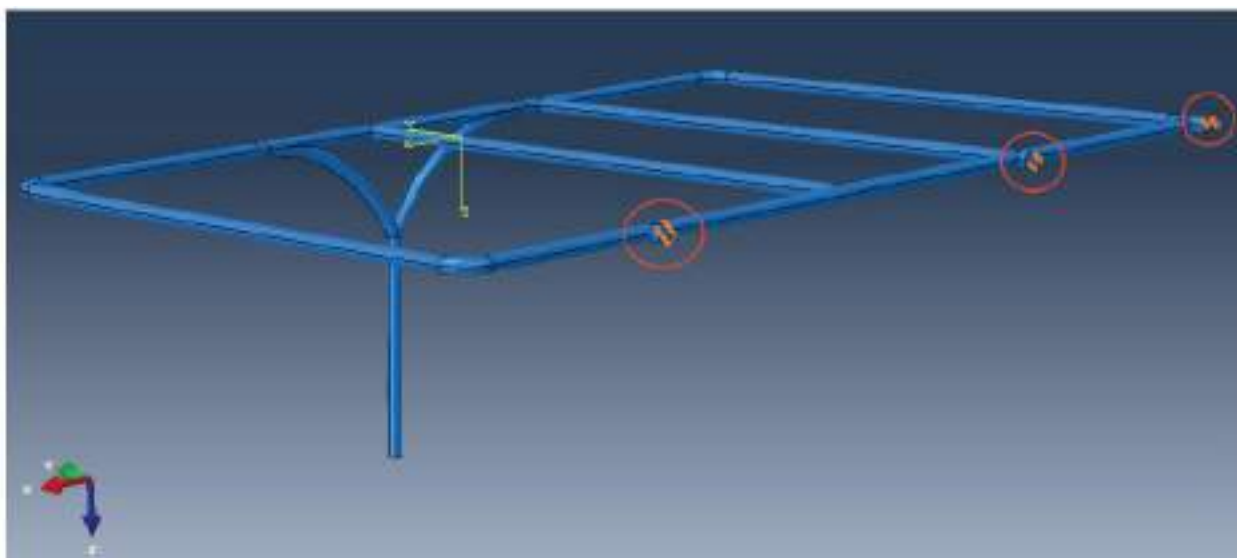


Рисунок 2.3 – Деталі граничних умов з розташуванням кріплень ISOFIX.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

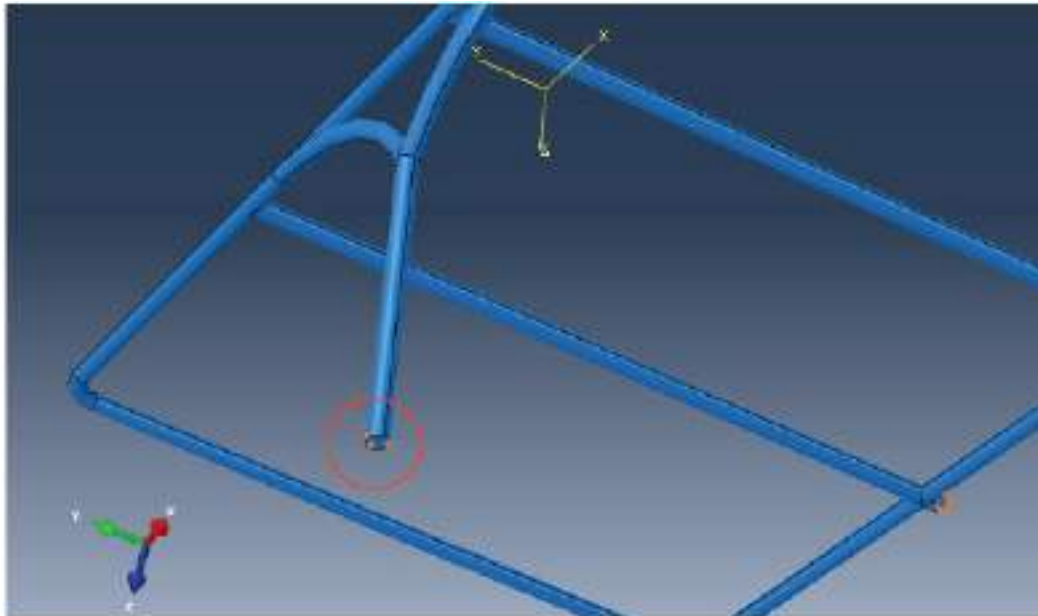


Рисунок 2.4 – Деталі граничної умови. Опорна ніжка.

2.5.3 Навантаження.

У цьому аналізі навантаження, яким піддаються СДК та подвійна основа, – це сили, що виникають під час лобового зіткнення транспортного засобу зі швидкістю 50 км/год. Як і у випадку з граничними умовами, випадок навантаження був взято з регламенту Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй, який вказує, що для отримання схвалення сидіння має бути піддане імпульсу прискорення, який має відповідати заданому коридору імпульсів прискорення, показаному чорним кольором на рисунку 2.5.

Розрахунок сили удару. Для виконання попереднього статичного аналізу будь-який тип динамічної сили, що виникає на практиці, має бути перетворений на еквівалентний випадок статичної сили, застосованої до моделі. Розрахунок сил удару, що виникають у випробуванні, можна виконати з використанням інформації, наданої Європейською економічною комісією Організації Об'єднаних Націй. Враховуючи масу всієї конструкції (двоє дітей вагою від 0 до 18 кг кожна, два кошики та сама подвійна основа),

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гальмівний шлях та швидкість конструкції до зіткнення, результуючу силу удару, що виникає в результаті випробування фронтального удару наближається до 9000Н, розподілених по всій системі дитячого крісла.

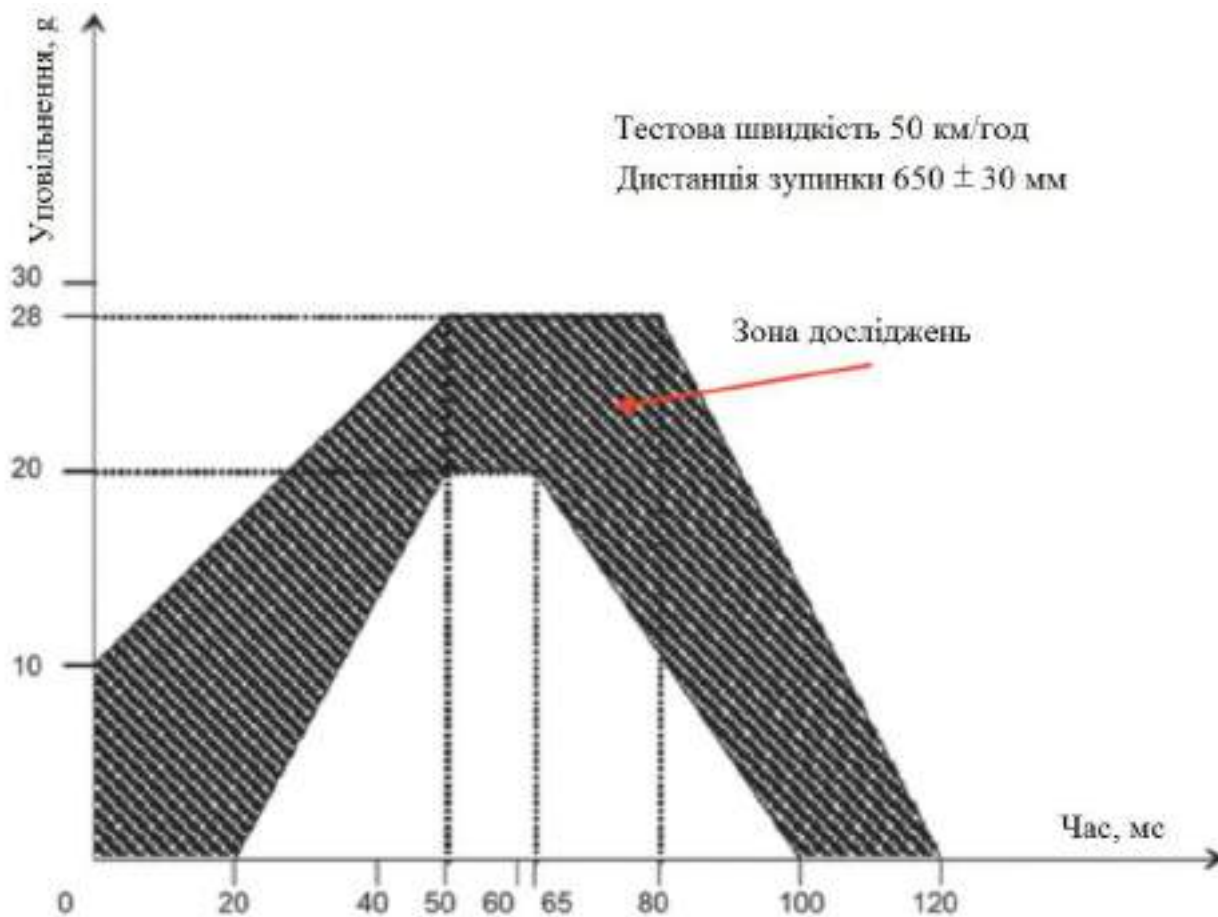


Рисунок 2.5 – Коридор імпульсів прискорення.

У найгіршому випадку вся сила передається на базову раму ISOFIX. З іншого боку, вагу дітей та відповідного CRS також слід враховувати, тобто вся конструкція піддається дію двох сил (ваги та сили удару). Однак моделювання показало, що вплив сили ваги був незначним у порівнянні із силою удару. У моделюванні ударне навантаження прикладається до конструкції як лінійне навантаження на передню грань циліндра.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Згідно з [13], можна вважати, що загальна енергія E_i вузла перетворюється на роботу W_s , виконану силою удару F_i , яка уповільнює вузол під час удару:

$$E_i = W_s, \quad (2.1)$$

Загальну енергію до удару можна розглядати як кінетичну енергію за умов випробувань, визначених Європейською економічною комісією Організації Об'єднаних Націй. Робота, виконана ударною силою, виражається як сила удару, помножена на гальмівний шлях. Далі маса вузла позначена як m , а швидкість до удару – як v .

$$\frac{1}{2} m v^2 = F_i s, \quad (2.2)$$

$$F_i = \frac{m v^2}{2 s} \quad (2.3)$$

$$F_i = \frac{56 \cdot 13.89^2}{2 \cdot 0,65} = 8310.92 N \approx 9000 N$$

Використовуючи консервативний підхід, у моделюванні було використано навантаження 9000 Н.

2.5.4 Дані про матеріали.

Вибір матеріалу для використання в проектуванні було здійснено двома способами. По-перше, були досліджені матеріали, що використовуються в існуючих конструкціях для CRS, а також було використано програмне забезпечення CES EduPack 2014. Поточні моделі CRS відображають те, що більшість конструкційних каркасів виготовлені з алюмінієвих сплавів, що поєднують у собі легкість та міцність.

					КВРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З іншого боку, програмне забезпечення CES спочатку було використано для визначення найкращого виду матеріалу для виконання поточного завдання, використовуючи як вхідні дані межу текучості та густину, а також межу текучості та ціну. Вибір було проведено з метою визначення сімейства або типу матеріалів, таких як металеві сплави, композити або пластмаси, та самого конкретного матеріалу. На рисунку 2.6 показано діапазон можливих матеріалів для використання.

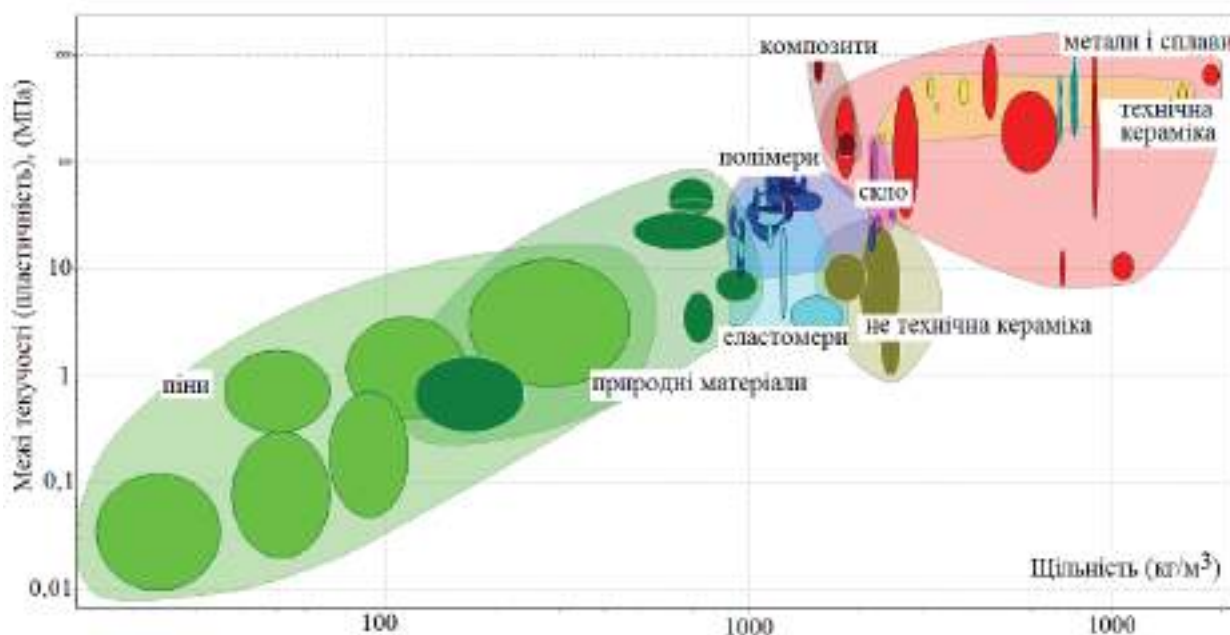


Рисунок 2.6 – Селектор CES, рівень 1.

Початкові обмеження поточного проекту означають, що щільність матеріалу не може перевищувати значення приблизно 7000 через бажану межу ваги, встановлену в початкових специфікаціях продукту, розглянуту у зв'язку з аспектами ергономіки. Іншим критерієм проектування, який був використаний, є встановлення максимальної межі текучості до 700 МПа (здебільшого через міркування вартості) (див. вертикальну та горизонтальну червоні лінії на рисунку 2.7).

Використовуючи індекси продуктивності CES разом з діаграмою Ешбі [14], кількість матеріалів можна звужити. Згідно [14], оптимізуючи вагу та

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

межу текучості конструкції, нахил лінії вибору визначається наступним чином:

$$M = \frac{\sigma_y}{\rho}, \quad (2.4)$$

де M - це параметр для максимізації, σ_y - це межа текучості, а ρ - це густина. Наведене вище рівняння вказує, що нахил лінії продуктивності в логарифмічному масштабі дорівнює 1. Усі матеріали на лінії індексу продуктивності працюють однаково добре. Ті матеріали, розташовані вище цієї лінії, придатні для вибору, а ті, що знаходяться нижче цієї лінії, повинні бути відкинуті. На рисунку 2.7 показано лінію індексу продуктивності, розміщену на діаграмі Ешбі та посилену область, що цікавить нас.

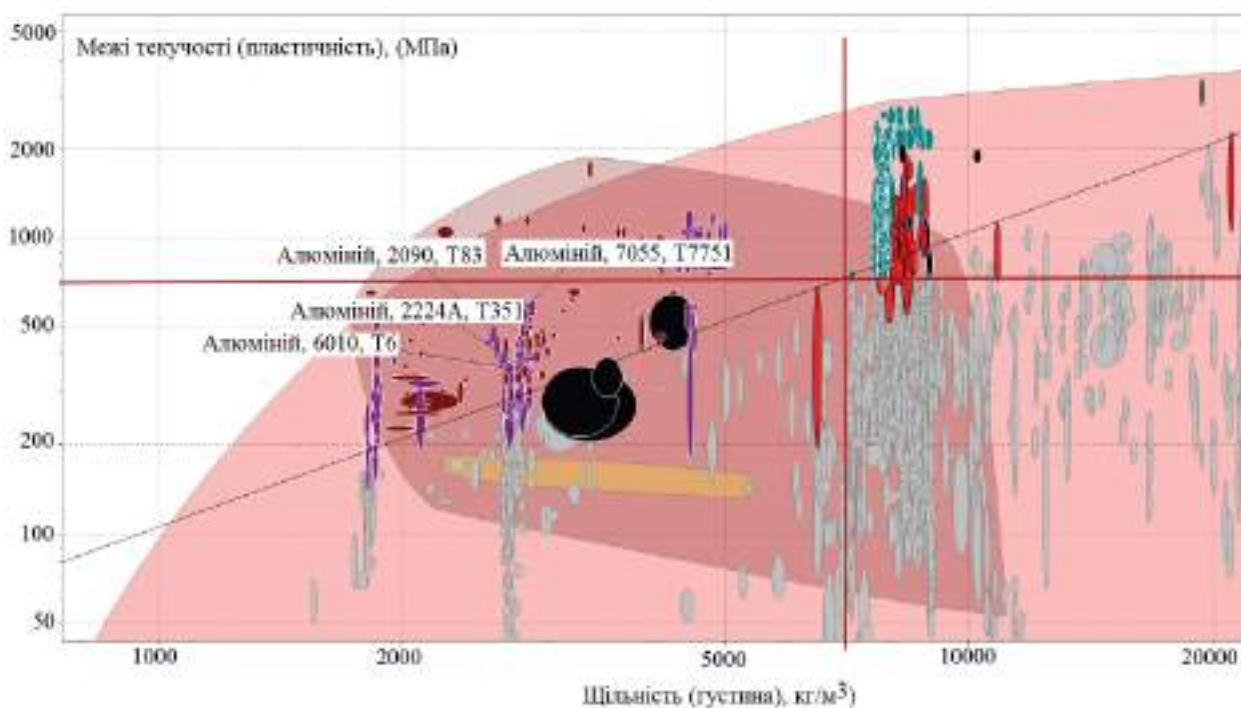


Рисунок 2.7 – Селектор CES, нахил індексу продуктивності, рівень 3.

З рисунка 2.7 видно, що можливими кандидатами на роль матеріалів є алюмінієві сплави. Оскільки двома важливими характеристиками щодо

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

конструкції є міцність та вага, здається, що алюмінієві сплави можуть бути правильним вибором також з точки зору вартості. Також, як і в існуючому дослідженні CRS, можна спостерігати, що алюмінієві сплави є відповідним типом матеріалу для використання завдяки його механічним властивостям, а також ціні в порівнянні з іншими можливими рішеннями, такими як CFRP, магнієві сплави, титанові сплави тощо. На рисунку 2.8 показано групу алюмінієвих сплавів.

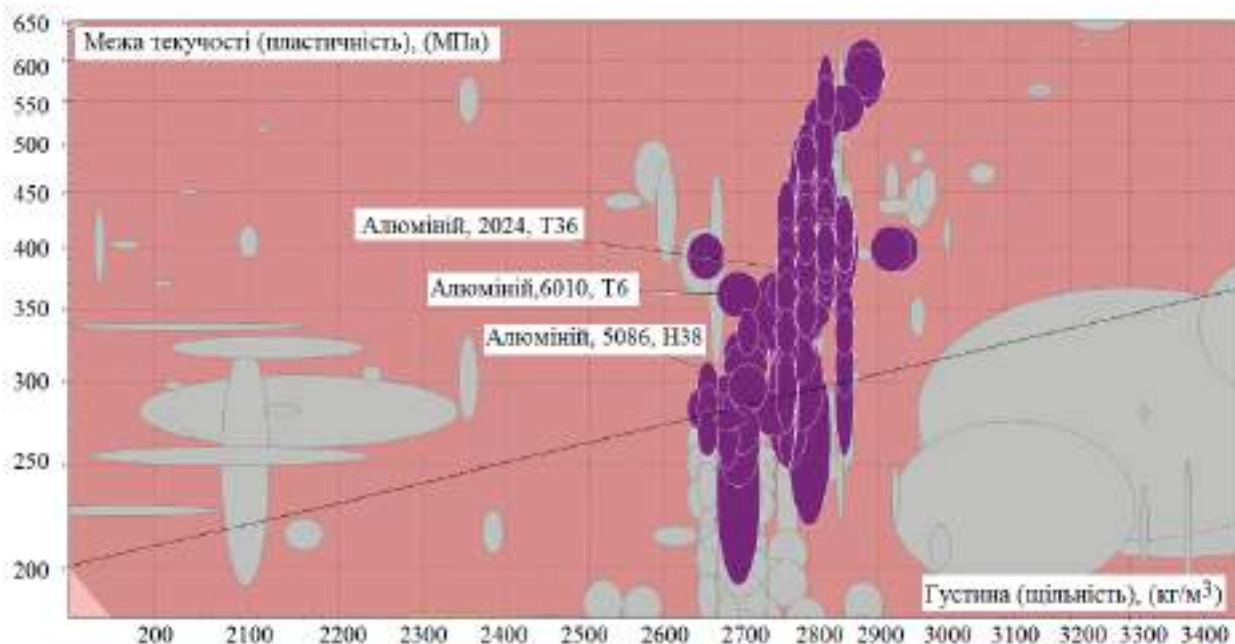


Рисунок 2.8 – Селектор CES, рівень 3, алюмінієві сплави.

На рисунках 2.8 та 2.9 показано три найкращі альтернативи, які були обрані щодо межі текучості та ціни за кілограм матеріалу. Ці три альтернативи - це алюмінієвий сплав 2024 T36, алюмінієвий сплав 6010 T6 та алюмінієвий сплав 5083 H38. Усі три мають схожі властивості, але зрештою для проведення проектування та моделювання було обрано Al 2024 T36 завдяки його прийнятним зварювальним властивостям та оброблюваності. Цей сплав зміцнюється шляхом осадження з термічною обробкою розчином, а потім холодної обробки зі зменшенням на 5-6% [15]. На рисунку 2.9 показано криву напруження / деформації для Al 2024 T36 на основі ASM.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Інші відповідні механічні властивості: модуль Юнга 73,8 ГПа та коефіцієнт Пуассона 0,337 [16].

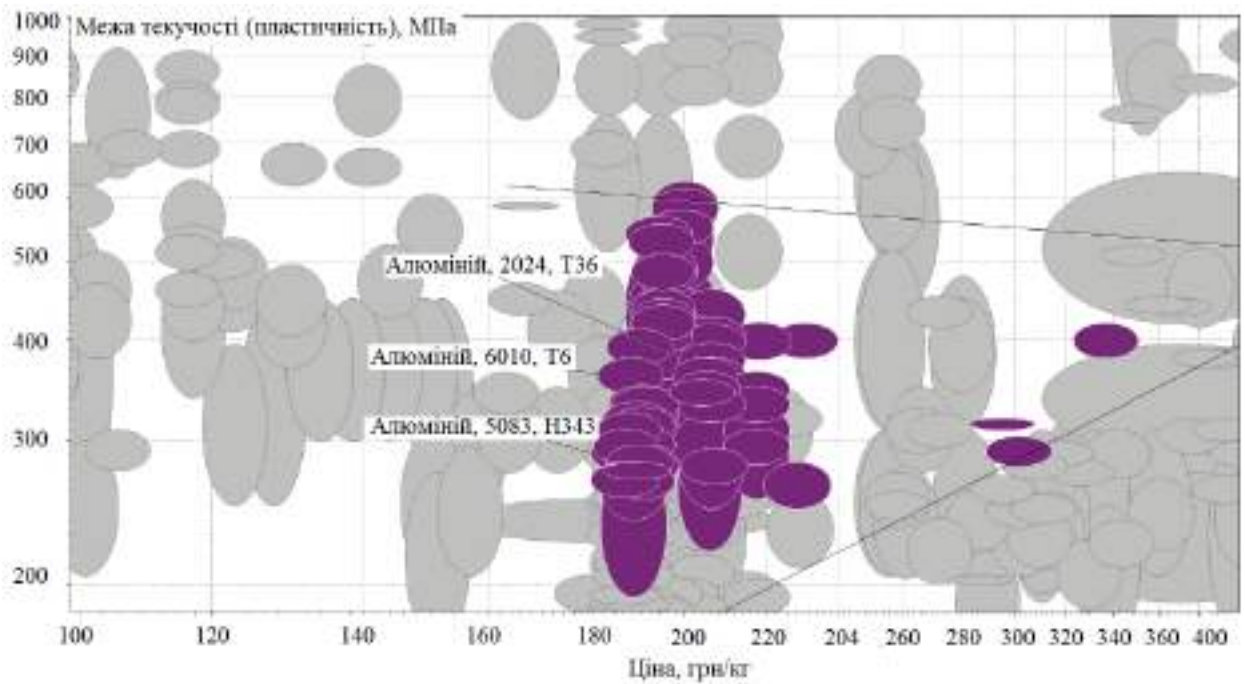


Рисунок 2.9 – Селектор CES, рівень 3, вартість алюмінієвих сплавів.

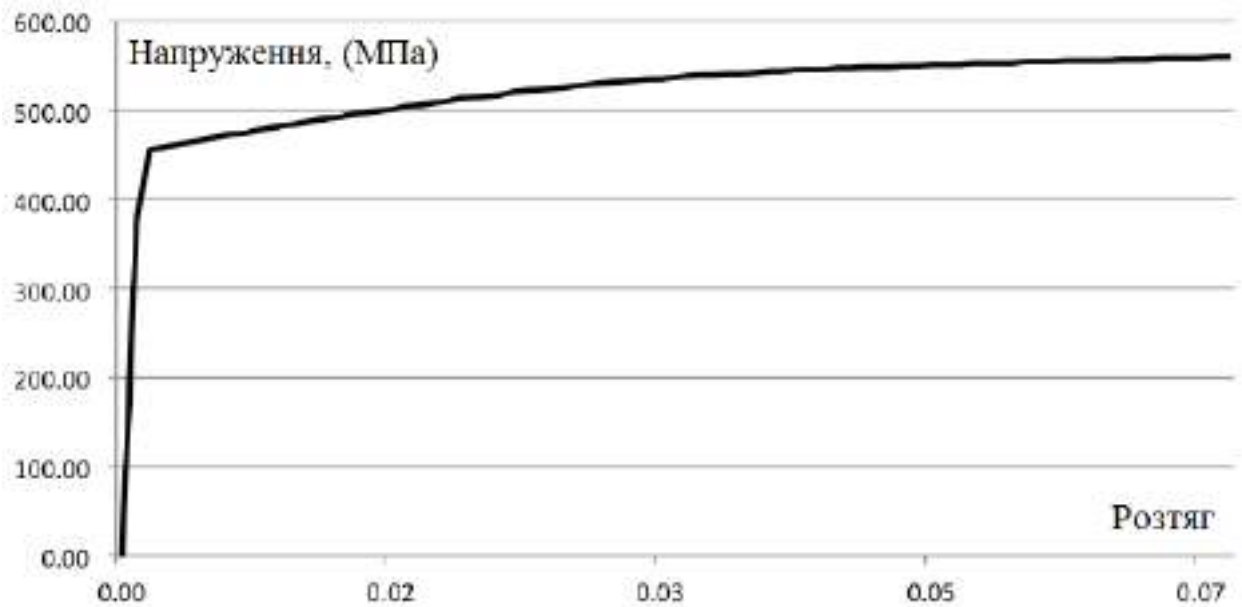


Рисунок 2.10 – Крива напружень - деформацій алюмінієвого сплаву T36.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ПРОЄКТУВАННЯ

3.1 Аналіз результатів моделювання.

МКЕ-аналізи були виконані з використанням оболонкових елементів для генерації сітки. Цей тип елементів був спочатку обраний через геометричні особливості моделі, можливу появу великих деформацій та через те, що деякі твердотільні елементи не мають достатньої точності в цих задачах, а також мають високі обчислювальні витрати. Балкові «елементи» були відкинуті через «геометричні» властивості моделі. Теорію фон Мізеса та теорію принципу максимального напруження було обрано як критерії руйнування за напруженнями для представлення результатів. Рішення використовувати ці два критерії руйнування було прийнято для того, щоб пізніше вибрати найбільш обмежувальний та виконати консервативне моделювання. Було проведено численні моделювання для досягнення надійних результатів (див. Додаток А). На рисунках 3.1 та 3.2 показано результати остаточного моделювання, де область інтересу позначена червоним колом.

Видно, що напруження залишається низьким у великій площі деталі, оскільки конструкція має однорідну товщину вздовж себе. Критична область деталі розташована поблизу третього кріплення ISOFIX.

З результатів можна спостерігати, що в обох випадках максимальне напруження залишається нижчим за межу текучості матеріалу. Більше того, максимальне значення напруження виникає при концентрації напруження через близькість до гострого кута в структурі, а також до меж. Потім було проведено подальше моделювання без гострих країв, яке довело, що видалення цих гострих країв усуває концентрації напружень, що дає фактичний рівень напруження, як показано на рисунку 3.3.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

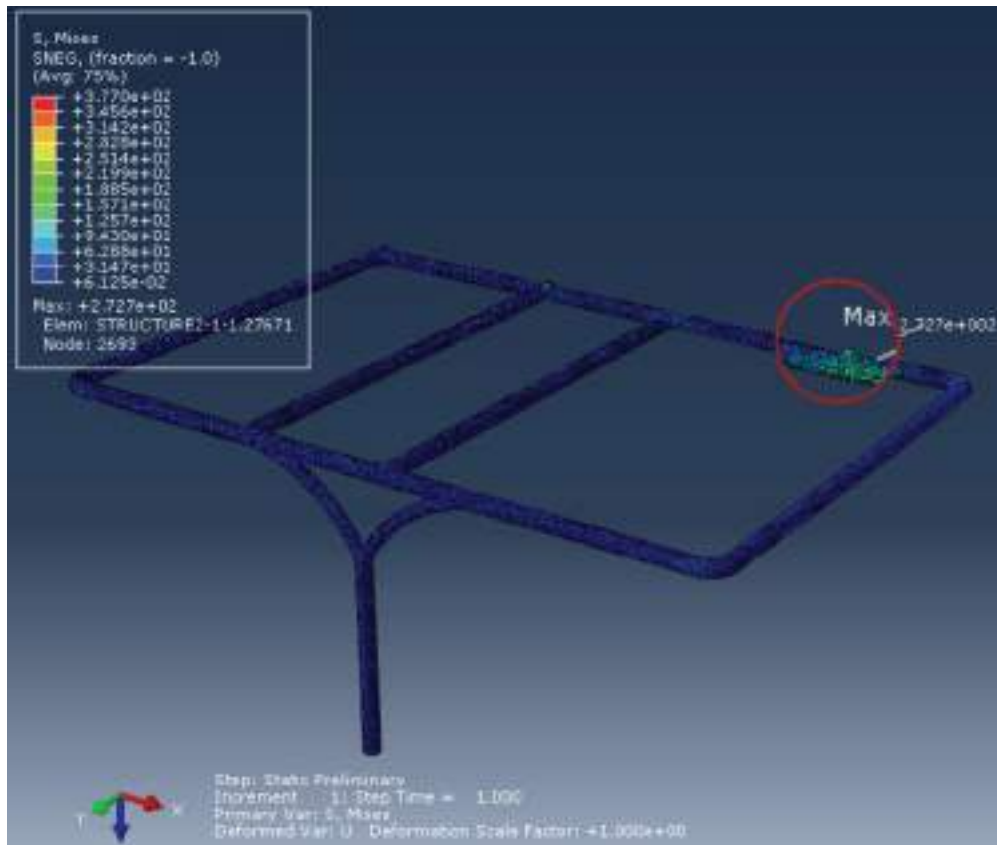


Рисунок 3.1 – Розподіл напружень за Фон Мізезом.

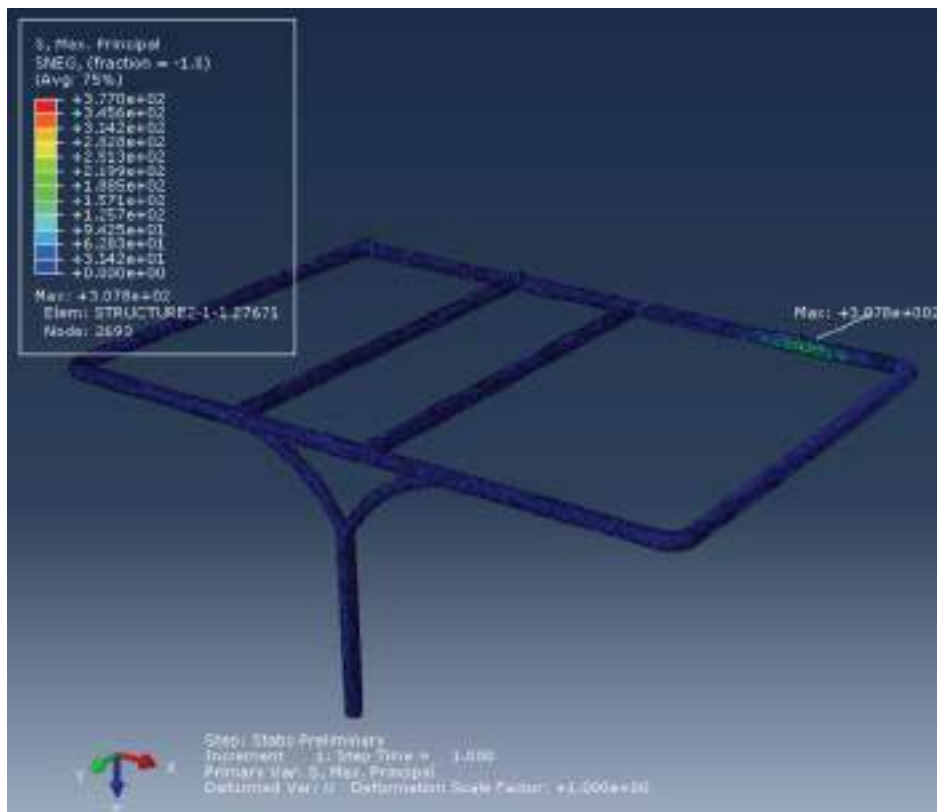


Рисунок 3.2 – Розподіл напружень згідно з принципом максимальне напруження.

									Арк.
									48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

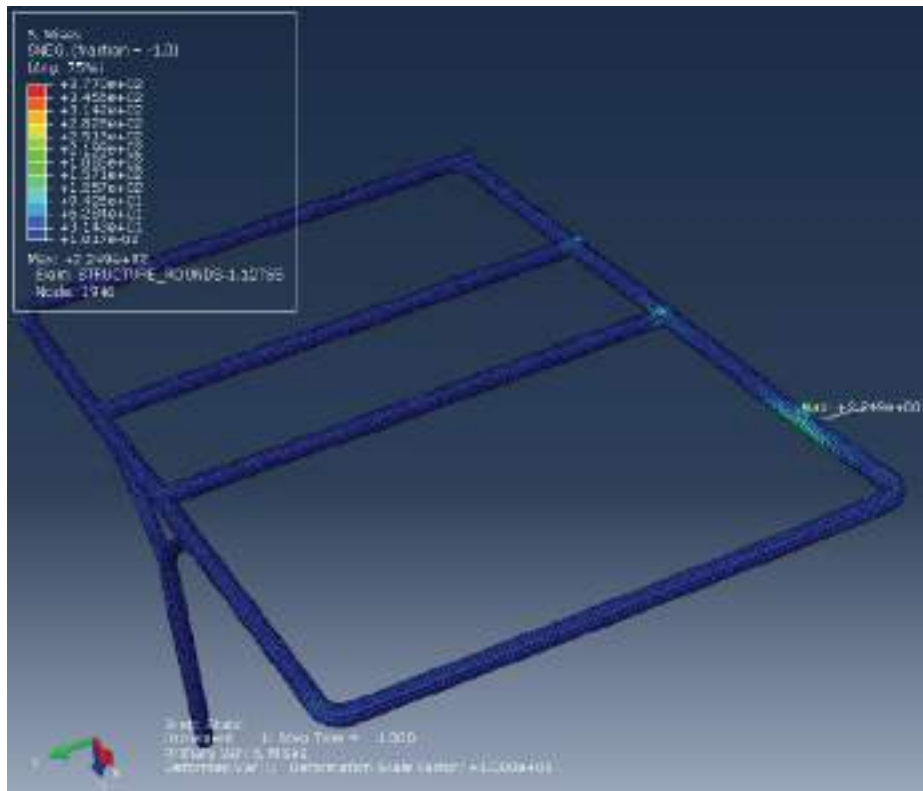


Рисунок 3.3 – Розподіл напружень без гострих країв, фон Мізес.

Розташування максимального напруження на рисунку 3.3 залишається близьким до показаного на рисунку 3.2 через близькість межі, проте його значення нижче, оскільки тоді немає більш гострого краю, який може призвести до поганого прогнозування FEI2 (Уточнення сітки навколо концентрацій напружень може призвести до вищих значень напружень, оскільки модель елемента поступово збільшує чіткіші деталі, відповідно збільшуючи максимум).

Остаточні симуляції були виконані з використанням універсальних елементів оболонки: S8R (напруження, квадратичне, 8-вузловий елемент оболонки зі зменшеною інтеграцією) та S4R (напруження, лінійне, 4-вузловий елемент оболонки зі зменшеною інтеграцією). На рисунку 3.4 показано елемент S8R. Елемент S4R має таку саму форму, але без середніх вузлів. Сітку можна спостерігати на рисунку 3.5 та 3.6. Оскільки використання повністю інтегрованих елементів може призвести до блокування поверхні та, як наслідок, до надмірної жорсткості, тому була

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потрібна знижена інтеграція, щоб забезпечити більш реалістичні результати. Знижена інтеграція може спричинити «пісочний годинник» (нестабільність сітки пов'язана з режимами нульової енергії, в яких переміщення не призводять до жодної деформації чи напруження в точках інтегрування), однак, ABAQUS має механізм керування "пісочним годинником" для лінійних елементів, а в квадратичних елементах "пісочний годинник" не поширюється та має менший ефект [17].

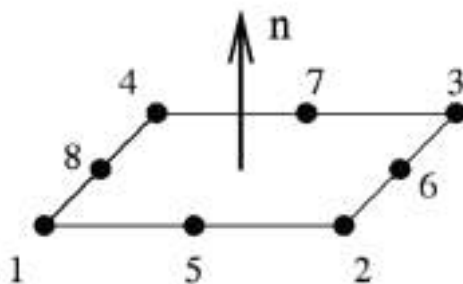


Рисунок 3.4 – 8-вузловий оболонковий елемент (S8/S8R).

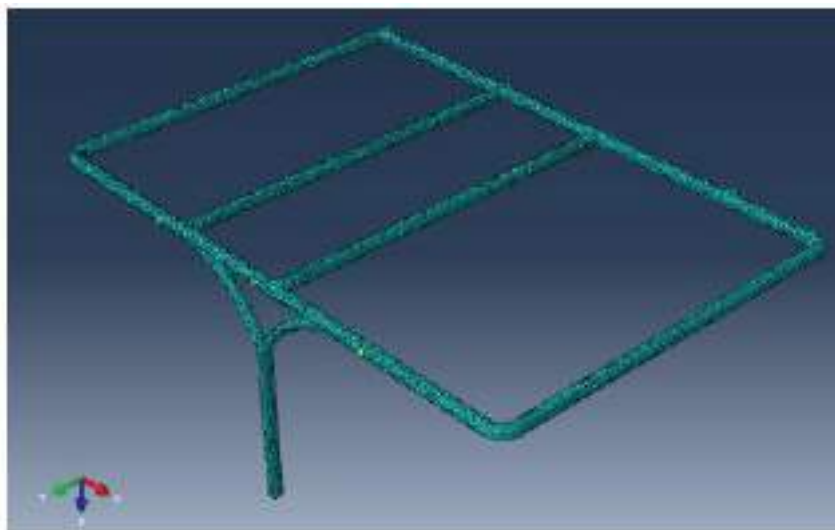


Рисунок 3.5 – Сітка деталі

					КВРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

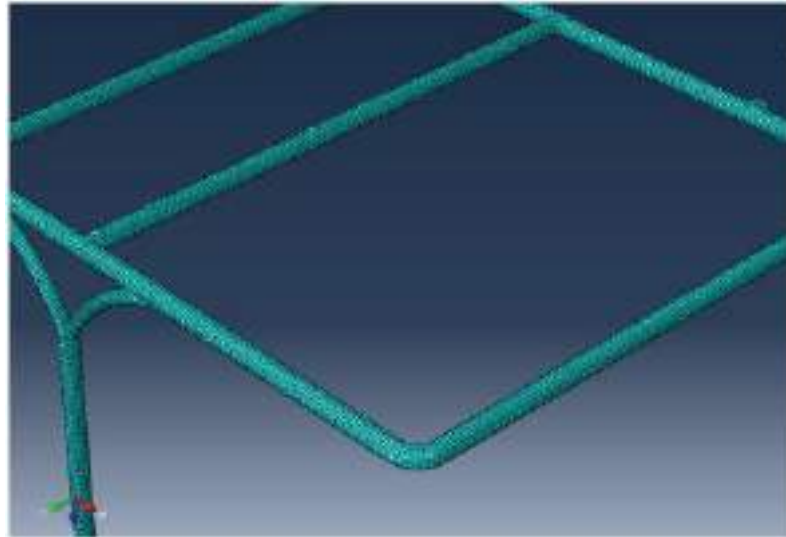


Рисунок 3.6 – Сітка деталі, близька деталізація.

Було проведено дослідження уточнення сітки та чутливості сітки для перевірки точності отриманих результатів (див. рисунки 3.7 і 3.8). Моделювання розпочалося з розміру елементів 20 мм (3171 елементів), а потім відбулося уточнення сітки до 10 мм (4691 елементів), 5 мм (14232 елементів) та 3 мм (31578 елементів).

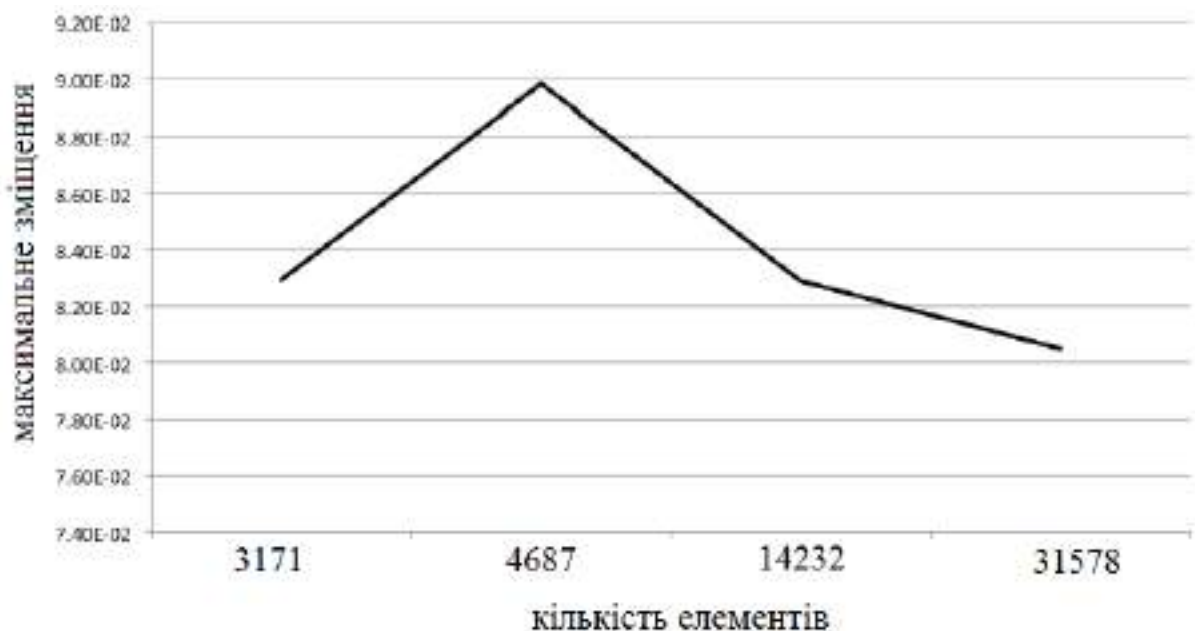


Рисунок 3.7 – Дослідження чутливості сітки, елементи S4R.

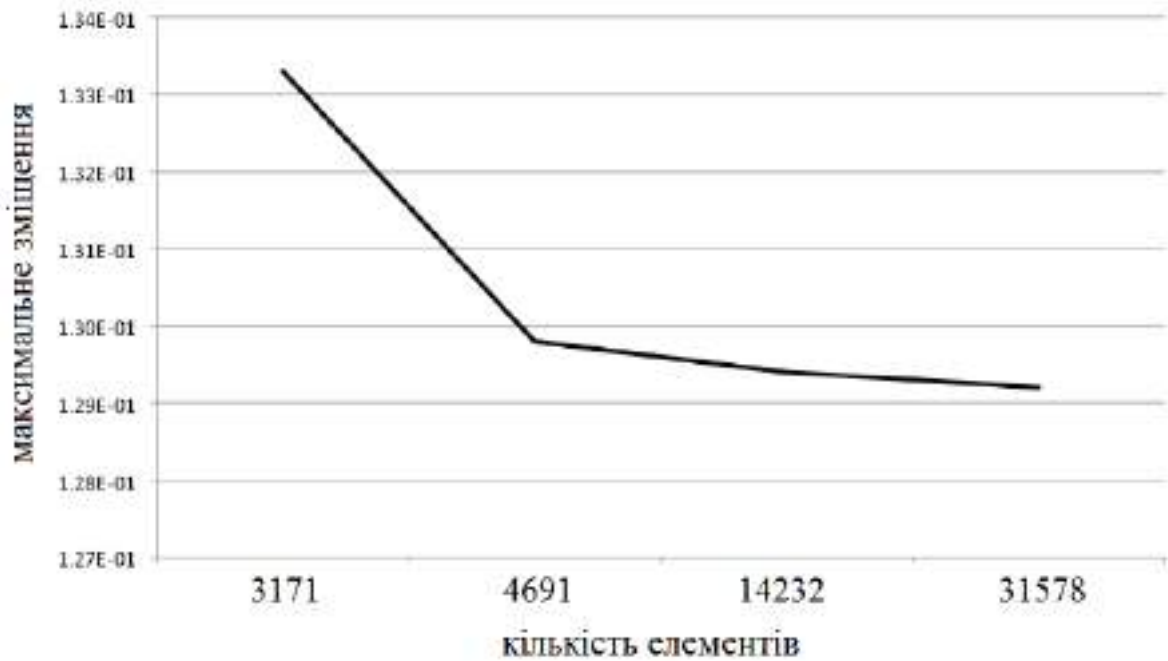


Рисунок 3.8 – Дослідження чутливості сітки, елементи S8R.

Спостерігаючи за рисунками 3.4 та 3.6, зрозуміло, що елементи S8R зблизилися в процесі зменшення сітки. З іншого боку, S4R показує інший результат максимального зміщення, а спостерігаючи за графіком чутливості, можна сказати, що зменшення сітки не забезпечило успішної збіжності. Така поведінка елементів S4R зумовлена тим, що ці елементи розраховані на використання в завданнях загального призначення, і S4R може призвести до нереалістичних результатів у випадку використання товстої оболонки, як у цьому випадку.

3.2 Перевірка конструкції на вигин.

З метою перевірки іншої можливості руйнування було проведено лінеаризований аналіз вигину. Такий вид аналізу в ABAQUS дає оцінку критичного навантаження на вигин, а також забезпечує пластичний множник, який показує, наскільки близький випадок навантаження до критичного

навантаження. Для У цьому моделюванні геометрію моделі було дещо змінено, щоб уникнути непотрібних помилок та досягти виконання аналізу. Граничні умови також були змінені, щоб обмежити обертання ступенів свободи на нижній поверхні моделі (див. рисунок 3.9). Результати представлені на рисунку 3.10 та показують вигин у режимі 1 при навантаженні, що в 3,34 рази менше критичного навантаження вигину.

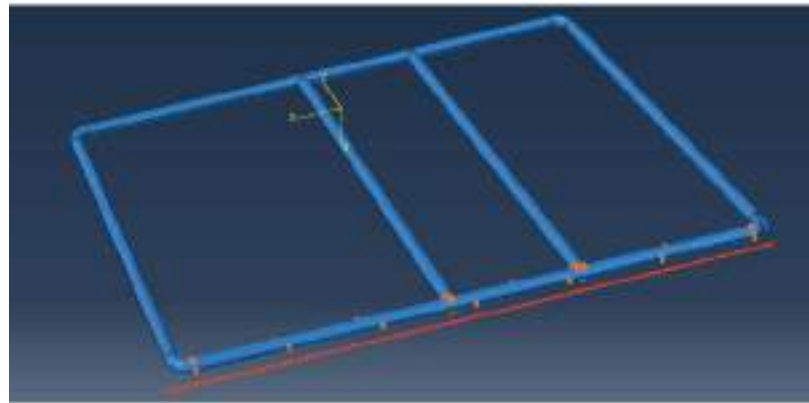


Рисунок 3.9 – Граничні умови для перевірки на вигин.

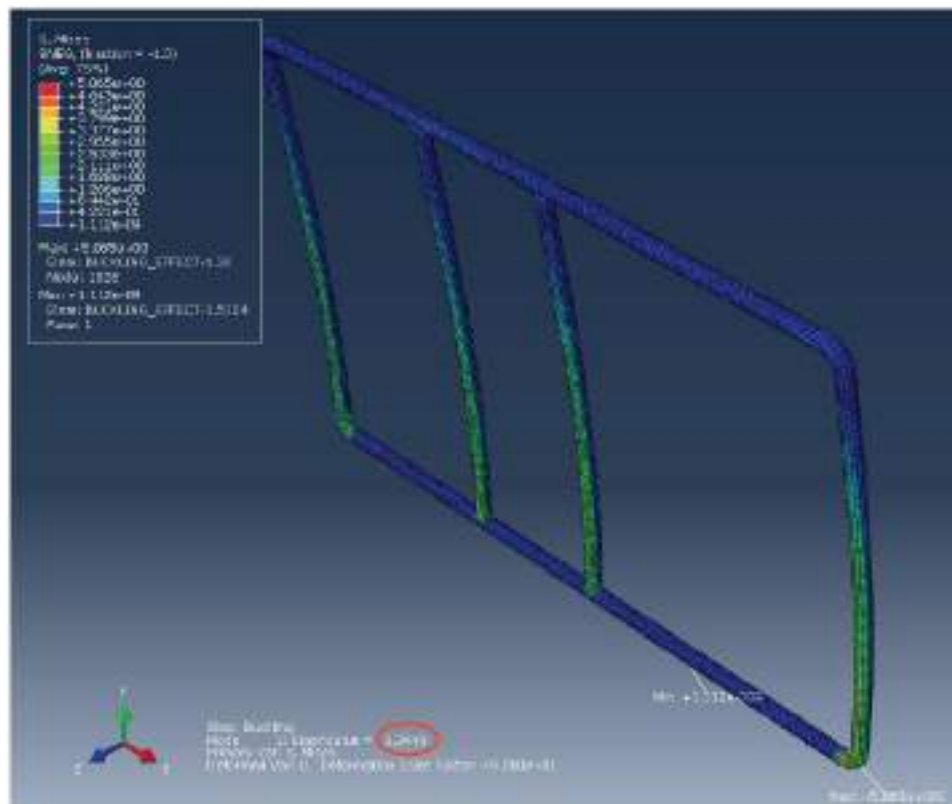


Рисунок 3.10 – Результати перевірки на вигин.

3.3 Обговорення результатів.

Поточні результати були досягнуті за допомогою спрощеної гіпотези про удар. Ударні сили виникають майже миттєво, а це означає, що матеріали поведуться дещо інакше, ніж у ситуаціях із прикладеними статичними навантаженнями. Тим не менш, моделювання визначає відправну точку для подальших моделювань та експериментів з посиланням на цю пропозицію нового продукту.

Початковими цілями було виконати пропозицію щодо дизайну нової подвійної основи для дитячої системи безпеки, яка б дозволила закріпити два автомобільні дитячі сидіння однакового або різного розміру відповідно до чинних правил Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй, а також виконати попередній аналіз методом скінченних елементів з метою перевірки конструкції.

Кінцеві результати зосереджені на структурній частині подвійної основи, а також на сумісності з існуючою конструкцією дитячих автокрісел на ринку. Початкова мета – зменшити неправильне використання та фізичні вимоги користувача – була досягнута. Поточна пропозиція дизайну подвійної основи вимагає меншої кількості процедур встановлення, ніж встановлення двох окремих дитячих автокрісел; зокрема, основа потребує меншої кількості регулювань для досягнення правильного розташування (трьох ISOFIX замість чотирьох та однієї опорної ніжки замість двох). Це полегшує встановлення та робить його менш схильним до помилок під час встановлення.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1) Було розроблено нову концепцію подвійної основи для автомобільної системи утримання немовлят. Її дизайн підкріплений дослідженням ринку щодо можливих соціальних вигод, що виникають завдяки перевагам дизайну в порівнянні з існуючими продуктами. Помилки встановлення батьками, ймовірно, будуть зменшені, що покращить безпеку.

2) Виконаний аналіз напружено-деформованого стану розробленої основи показує, що деформація є пружною. Рівень напруження залишається нижчим за межу текучості, таким чином конструкція не зруйнується за умов поточного навантаження. Критичне навантаження на вигин є вищим за прикладене навантаження, тому конструкція не прогнеться. Необхідна товщина, щоб витримати силу удару для фронтального удару, згідно з випробуваннями Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй, становить 5 мм при зовнішньому діаметрі трубчастої конструкції 20 мм.

3) Згідно з виконаним аналізом, запропонована конструкція каркаса для подвійної основи CRS є доцільною та може бути виготовлена за допомогою матеріалів, що використовуються на даний момент методами виробництва алюмінієвих сплавів.

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bilston E., Yuen M., Brown J. (University of NSW). (2007) Reconstruction of crashes involving injured child occupants: The risk of serious Injuries Associated with sub-optimal restraint use may be reduced by better controlling occupant kinematics. *Traffic Injury Prevention*, 8(1): 47-61.
2. Baranowski P., Damaziak K., Malachowski J., Mazurkiewicz L., Muszyński A. (2015). A child seat numerical model validation in the static and dynamic work conditions Author links open overlay panel. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. Volume 15, Issue 2, Pages 361-375. doi.org/10.1016/j.acme.2014.07.001
3. Valent E., McGwin G., Hardin W., Johnston C., Rue L. (Alabama). (2022) Restraint use and injury patterns among children involved in motor vehicle collisions. *Journal of trauma injury infection, and critical care*. 52:745-751
4. Anund A., Falkmer T., Forsman A., Gustafsson S., Matstoms Y., Sorensen G., Turbell T., Wenaell A. Child safety in cars – Literature Review. Swedish National Road and Transport Research Institute SE-581 95 VTI rapport 489A 2003, Linkoping Sweden.
5. Williamson A., Irvine P., Sadural S (NSW). Analysis of motor vehicle-related fatalities involving children under the age of six years (1995-2000) NSW Injury Risk Management research centre. Report for the Motor Accidents Authority, July 2002
6. Braver E., Whitfield R., Ferguson S. Seating positions and children's risk of dying in motor vehicle crashes. *Injury Prevention*. 1998; 4; 181-187.
7. Kapoor T., Altenhof W., Wang Q. Howard A. (2016). Injury potential of a three-year-old hybrid III dummy in forward and rearward facing positions under CMVSS208 testing conditions. *Accident Analysis and Prevention*. 38(4):786-800
8. Сергієнко, Олександр Володимирович. Розрахунково-експериментальний метод оцінювання енергопоглинальних властивостей

					КВРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

елементів пасивної безпеки автомобілів для спорту : дис. ... доктора техн. наук : 05.22.02 - автомобілі та трактори, 27 - транспорт [Електронний ресурс] / Сергієнко Олександр Володимирович ; М-во освіти і науки України, ХНАДУ. - Харків, 2018. - 184 с.

9. Lund U. (California). (2015) The effect of seating location on the injury of properly restrained children in child safety seats. *Accident Analysis and Prevention*. 37: 435-439

10. Arbogast K, Durbin D et al (USA). (2024). An evaluation of the effectiveness of forward facing child restraint systems. *Accident Analysis and Prevention*; 36: 585-589.

11. Smith, K. M., & Cummings, P. (2024). Passenger seating position and the risk of passenger death or injury in traffic crashes. *Accident Analysis & Prevention*; 36: 257-260.

12. Bilston L., Brown J., McKaskill M., Omens M., Henderson M. (Sydney). (2015) Identification of Mechanisms for Child Occupants aged 2-8 in Motor vehicle Accidents. Project report for the Motor Accidents Authority NSW. *Prince of Wales Medical Research Institute and Children's Hospital at Westmead, Sydney, NSW*.

13. Ebel, BE., Koepsell, TD., Bennett, EE., & Rivara, FP. (2023). Too small for a seatbelt: Predictors of booster seat use by child passengers. *Pediatrics*. 111(4): 323-327.

14. Ramsey, A., Simpson, E., & Rivara, F. P. (2020) Booster seat use and reasons for nonuse. *Pediatrics*; 106(2): 20-25.

15. Матеріалознавство. Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм навчання / А.В. Галико, О.В. Кузик, В.М. Кропівний, А.В. Кропівна, Л.А. Молокост – Кіровоград: КОД, 2015. – 168 с.

					КВРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

16. Матеріалознавство та технологія металів : підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти / А. М. Власенко. – Київ : Літера ЛТД, 2019. – 224 с.

17. Henry T. Y. Yang, S. Saigal, A. Masud, R. K. Karania. (2020). A survey of recent shell finite elements. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. Volume47, Issue1-3. Pages 101-127

					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

ДОДАТКИ

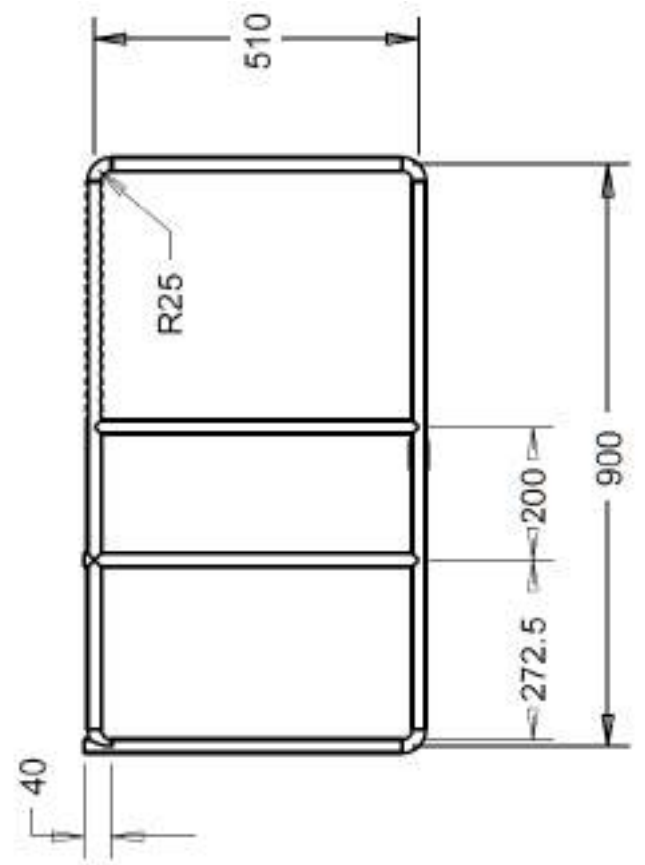
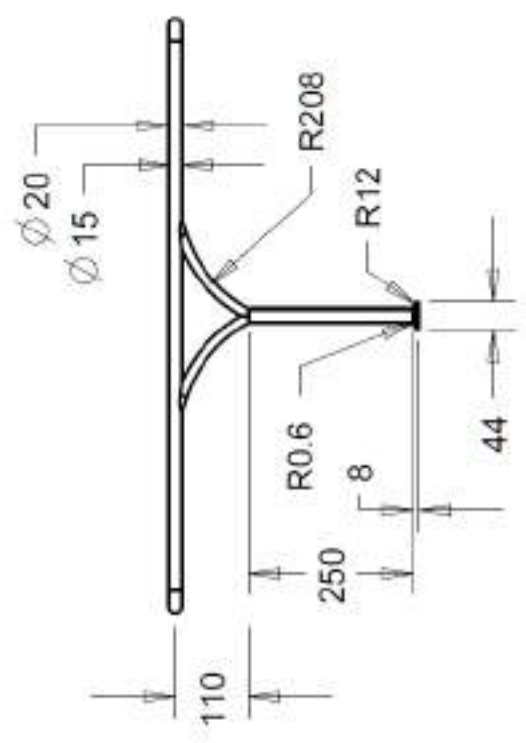
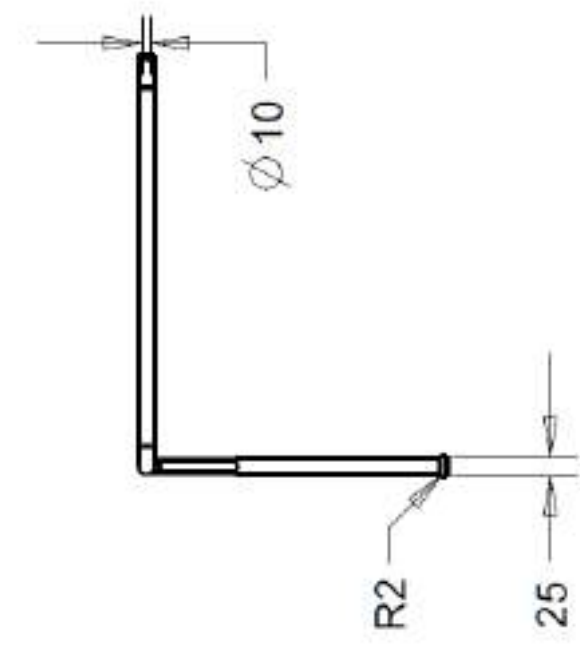
					КвРМТВА. 22134.01.01.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Додаток А

Зовнішній вигляд та розміри конструкції каркасу для подвійної основи CRS



Розміщення конструкції каркасу в салоні автомобіля



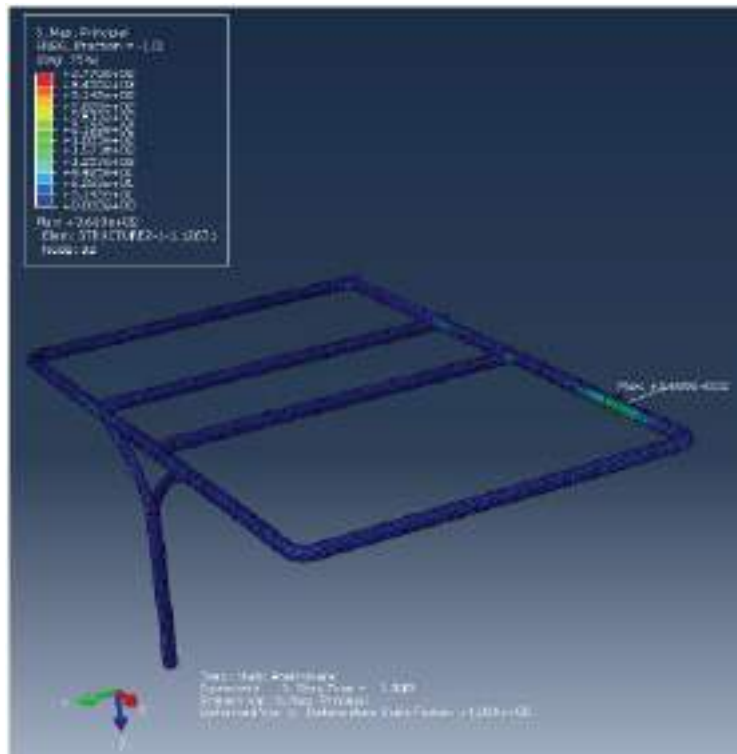


Рисунок Б2 – Розподіл напружень, макс. принцип. Елементи S4

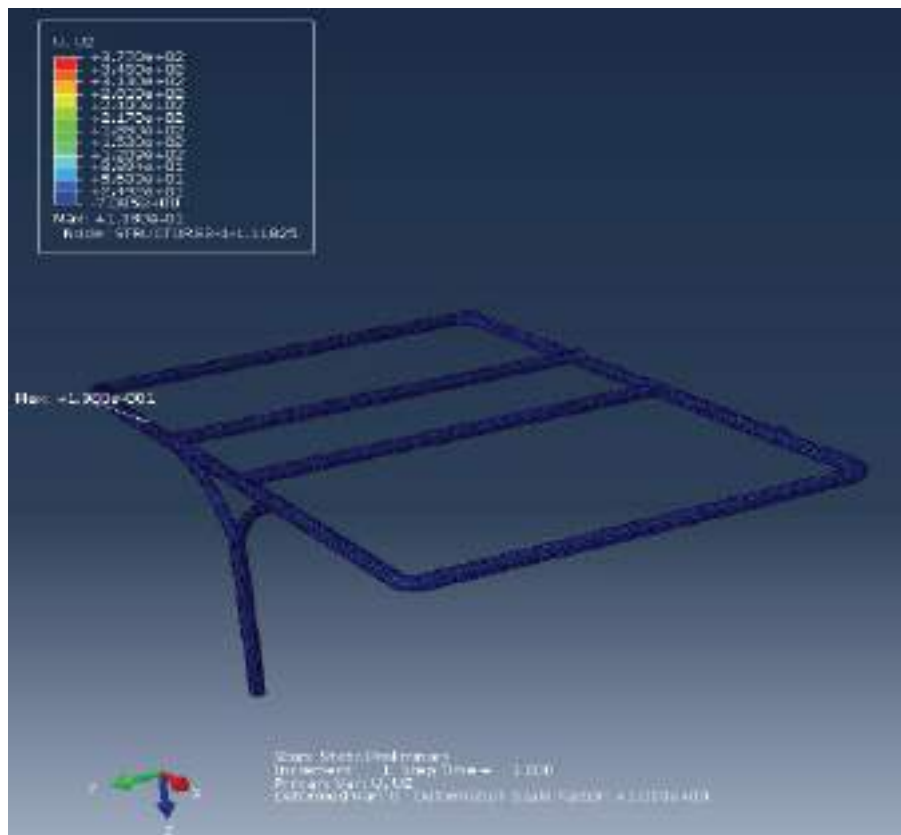


Рисунок Б3 – Максимальне зміщення. Елементи S4

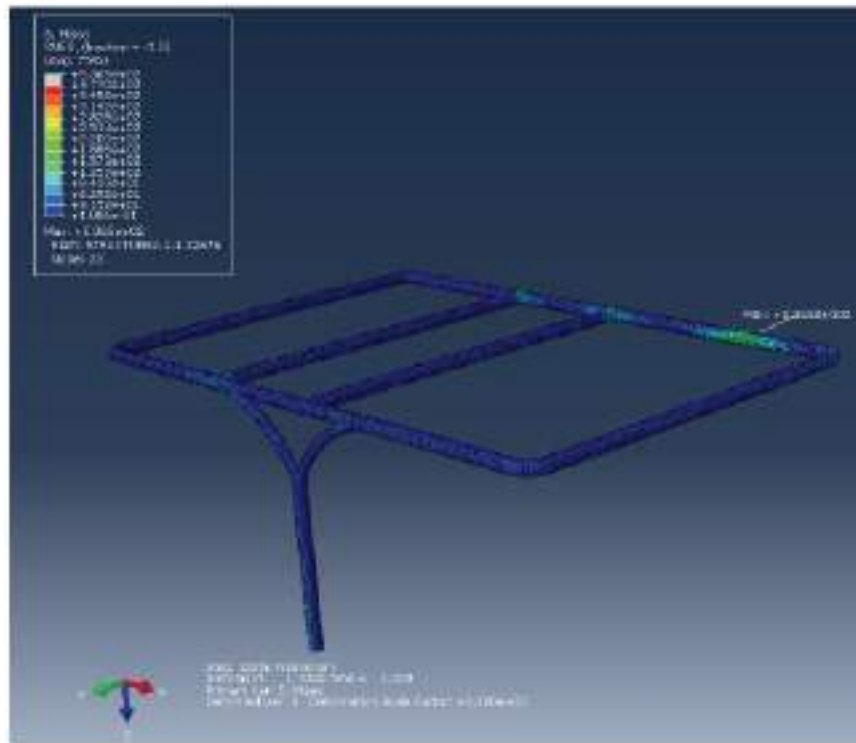


Рисунок Б4 – Розподіл напружень, закон фон Мізеса, елементи S8.

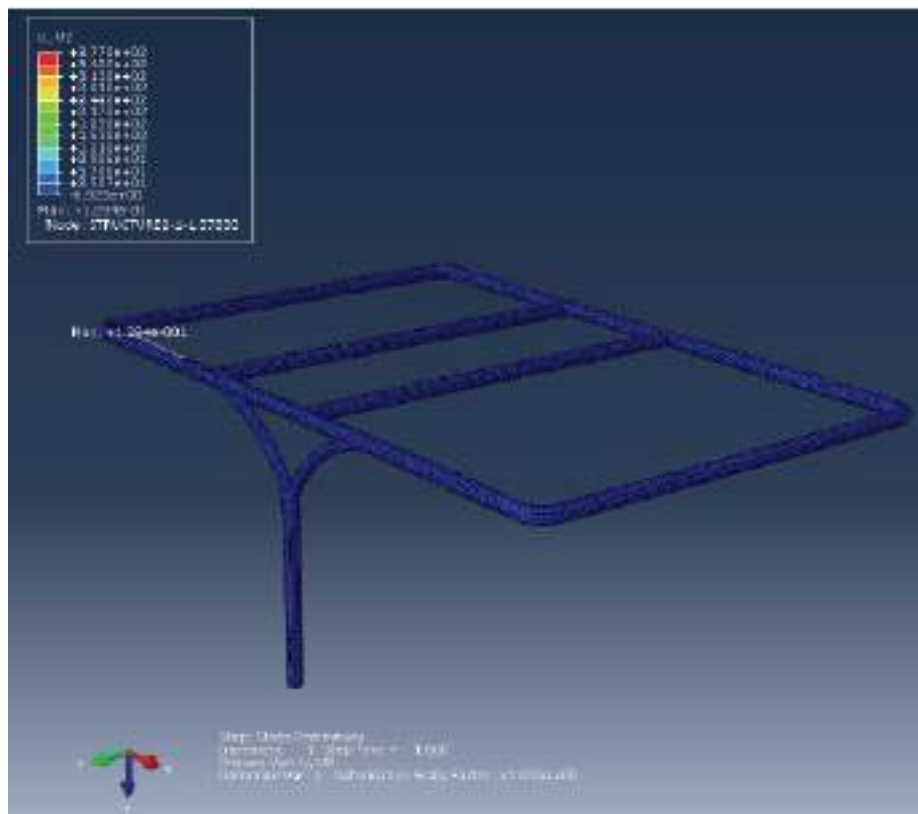


Рисунок Б5 – Максимальне зміщення елементів S8R.

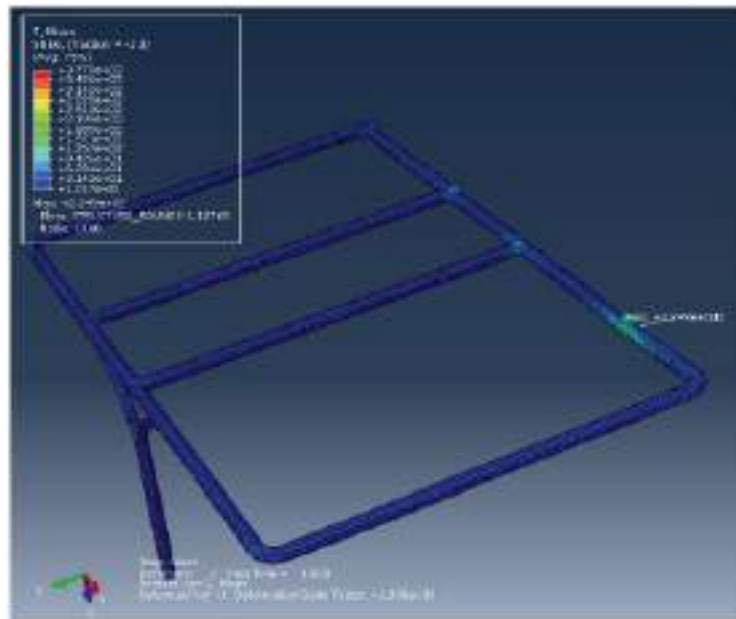


Рисунок Б6 – Розподіл напружень, фон Мізес, S8R, без урахування концентрацій напружень

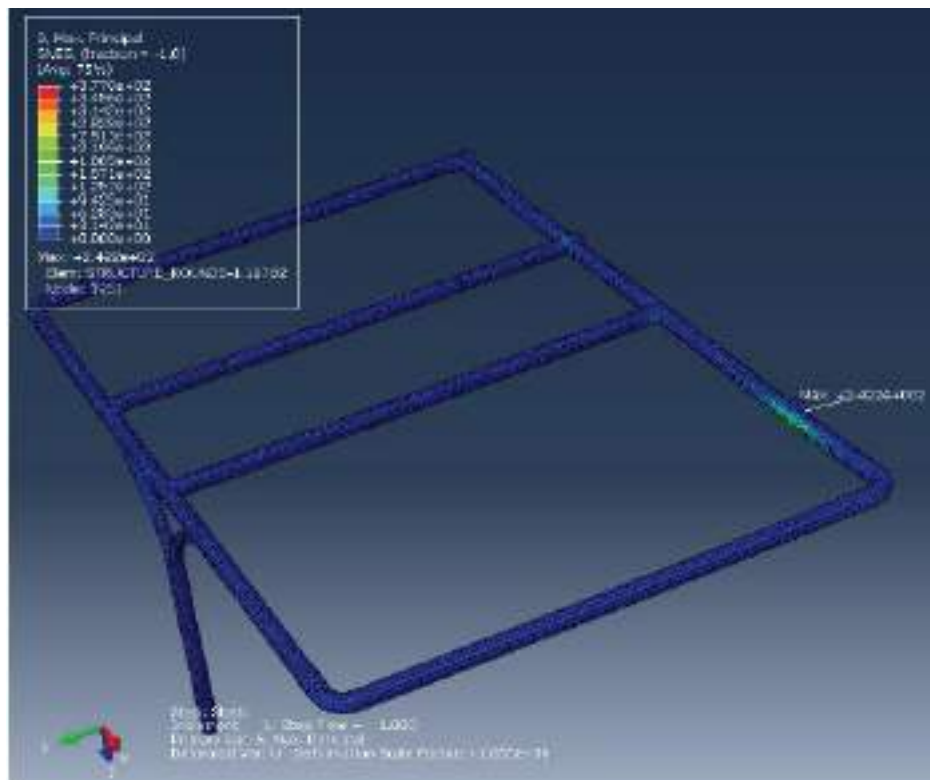


Рисунок Б7 – Розподіл напружень, Макс. Принципи, S8R, без урахування концентрацій напружень.

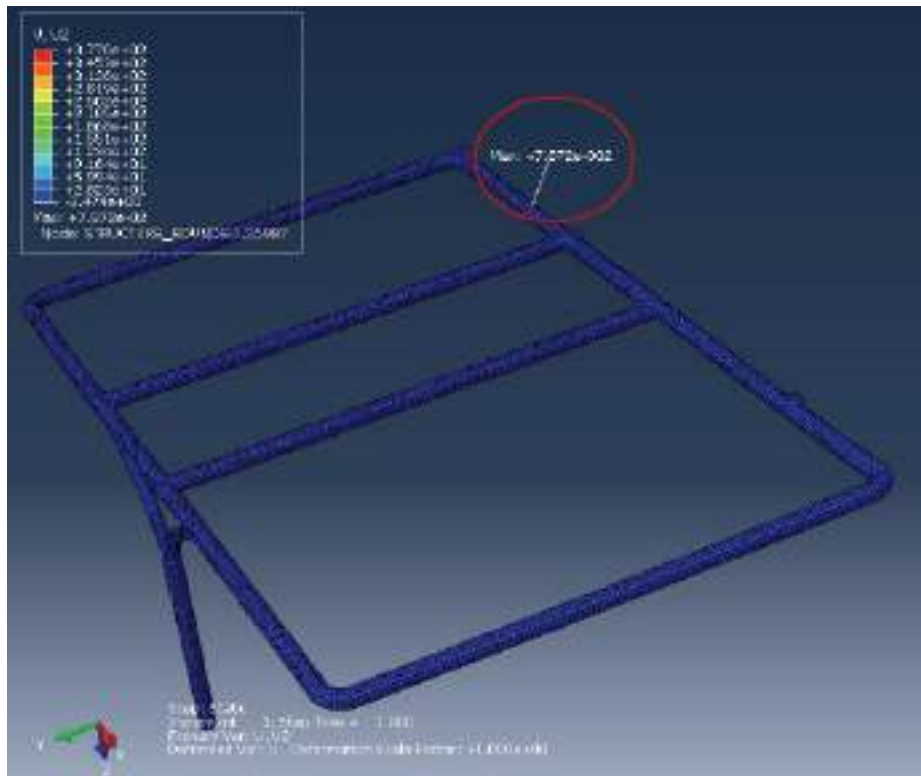


Рисунок Б8 – Макс. переміщення, S8R, без урахування концентрації напружень

Порівняння S4R і S8R та збіжність сітки.

Як було пояснено у записці, уточнення сітки було виконано, починаючи з розміру елемента 20 мм та зменшуючи його до 10 мм, 5 мм та 3 мм. У таблицях Б1 та Б2 показано чутливість сітки до дослідження збіжності сітки. Як можна спостерігати, елементи S4R не збіглися, тоді як елементи S8R показують свідчення «конвергенції». Поведінка елементів S4R зумовлена товщиною елементів оболонки, згідно з посібником користувача ABAQUS, якщо товщина перевищує 1/15 характеристичної довжини поверхні, елементи з товстою оболонкою (S8R та S8RT) дадуть кращі результати. Крім того, елементи S8R є елементами з малою деформацією та краще підходять для цього випадку.

Таблиця Б1 – Елементи "конвергенції" сітки S4R

Розмір елемента (номер елемента), мм	Максимальне значення відображення	Напруження за Мізесом, МПа	Максимальне принципове напруження, МПа
20	8,295 e-2	1,785 e+2	1,465 e+2
10	8,984 e-2	2,120 e+2	2,227 e+2
5	8,291 e-2	2,245 e+2	2,566 e+2
3	8,049 e-2	2,727 e+2	3,078 e+2

Таблиця Б1 – Елементи "конвергенції" сітки S8R

Розмір елемента (номер елемента), мм	Максимальне значення відображення	Напруження за Мізесом, МПа	Максимальне принципове напруження, МПа
20	1,333 e-1	2,785 e+2	3,063 e+2
10	1,298 e-1	2,520 e+2	2,765 e+2
5	1,294 e-1	2,249 e+2	2,487 e+2
3	1,292 e-1	2,237 e+2	2,415 e+2

Також було проведено нелінійну перевірку, щоб перевірити малі деформації в моделі. Моделювання, виконане з нелінійними ефектами, дало дуже схожі результати, що означає, що значення деформації в лінеаризованих моделюваннях були нижчими за межу пружності матеріалу.

На наступних рисунках показано всі чотири режими вигину з відповідними пластичними множниками. Можна стверджувати, що перший режим (рисунок Б9) є найнебезпечнішим, оскільки пластичний множник «нижчий», ніж в «інших трьох» випадках.

