

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Вибір матеріалів та проектування конструкцій паливних баків легкових автомобілів

Рівень вищої освіти бакалавр
Галузь знань 13 «Механічна інженерія»
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
Освітня програма Освітньо-професійна «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

Шифр КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ

Виконав студент 4-го курсу
група МТВА 21-1
Шифр



Підпис

Юрій РОМАНЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник к.т.н., доц.
Науковий ступінь, звання



Підпис

Олег БАБАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

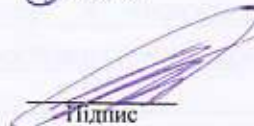
Нормоконтролер



Підпис

Олег МАКОВКІН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри ТАМ
Назва



Підпис

Олександр ДИХА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата _____

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Напрямок знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Рівень вищої освіти – Перший бакалаврський

Навчально-професійна програма – «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Духа О.В.

20 02 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Романчуку Юрію Вікторовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

Тема роботи «Вибір матеріалів та проектування конструкцій паливних баків двигачових автомобілів»

Виконавець роботи Бабак Олег Петрович к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 лютого 2025р. № 23 (Д14)

Строк подання студентом роботи на кафедру 10 червня 2025 року

Вихідні дані до роботи Матеріали переддипломної практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла дослідження; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко – економічні показники роботи підприємства.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Огляд конструкції паливних баків і програмного забезпечення; 2 Розробка в САПР електронної моделі паливного бака; 3. Інженерний аналіз характеристик паливного бака в САПР; 4. Методика вдосконалення конструкції корпусу паливного бака у САПР.

Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _----

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строки виконання	Примі
1	<i>Літературний огляд</i>	20.05.2025	
2	<i>Технологічний розділ</i>	25.05. 2025	
3	<i>Конструкторський розділ</i>	30.05. 2025	
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	2.06. 2025	
5	<i>Оформлення презентації кваліфікаційної роботи</i>	5.06. 2025	
6	<i>Нормоконтроль кваліфікаційної роботи</i>	9.06. 2025	
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	10.06. 2025	

Студент

Керівник роботи


Підпис


Підпис

Юрій РОМАНЧУК
Ім'я, прізвище

Олег БАБАК
Ім'я, прізвище

РЕФЕРАТ

Випускню кваліфікаційну роботу (бакалаврську роботу) виконано студентом гр. МТВА 21-1 Романчуком Юрієм на тему: «Вибір матеріалів та проектування конструкцій паливних баків легкових автомобілів».

Пояснювальна записка містить чотири розділів, вступу та висновків, список використаної літератури та джерел, додатків, всього 103 сторінки з додатком.

Актуальність роботи Корпуси сучасних пластикових паливних баків складаються із чотирьох видів матеріалів, розподілених по шести шарах. Виробництво спеціально розроблених матеріалів для паливних баків здійснюється найбільшими міжнародними виробниками хімічної продукції та полімерних матеріалів.

Основна вартість матеріалів паливного бака припадає на поліетилен високої щільності (HDPE), зважаючи на найбільший вміст його в структурі паливного бака. Зниження витрати цього матеріалу є одним із ключових завдань і має такі плюси:

Підвищення прибутку компаній-виробників паливних баків за рахунок зниження витрат на матеріали, зменшення вартості сировини, транспортних витрат та витрат на виробництво самого матеріалу;

Підвищення екологічної безпеки. Виробництво HDPE вимагає нафти або природного газу як основну сировину. Видобуток нафти та газу може призводити до різних негативних наслідків для навколишнього середовища, включаючи забруднення ґрунту та води, руйнування екосистем та викиди парникових газів. Крім того, у процесі виробництва HDPE можуть виділятися різні хімічні речовини та забруднювачі в атмосферу;

Зниження споживання енергії, включаючи використання видів енергії, пов'язаних із викидами парникових газів та іншими видами забруднень.

Ціль роботи. Створення методики вдосконалення конструкції корпусів паливних баків, що мають у складі внутрішню перегородку, для економії сировини та зниження собівартості виробництва пластикових паливних баків за збереження їх експлуатаційних характеристик у САПР.






Завдання роботи:

- Огляд джерел на тему випробувань паливних баків, а також застосування та функціонального призначення внутрішніх перегородок;
- Створення САПР тривимірної моделі вихідної конструкції корпусу паливного бака, що має у складі внутрішню перегородку;
- Попереднє вдосконалення у САПР створеної конструкції паливного бака, виключення перегородки зі складу конструкції;
- Визначення методик моделювання механічної міцності корпусу паливного бака;
- створення кінцево-елементних моделей двох варіантів корпусів паливних баків;
- Створення розрахункових моделей для моделювання різних випробувань двох варіантів корпусів паливних баків;
- Проведення порівняльного інженерного аналізу та оцінка впливу зміни конструкції на механічну міцність корпусів паливних баків;
- Проведення повторного вдосконалення конструкції паливного бака за підсумками інженерного аналізу у разі незадовільного результату;
- Опис алгоритму та основних етапів методики.

Ключові слова: ПАЛИВНІ БАКИ, МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ МІЦНОСТІ КОРПУСА, СТВОРЕННЯ САПР ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ, ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Огляд конструкції паливних баків і програмного забезпечення.....	9
1.1 Тенденції розвитку конструкції паливних баків.....	9
1.2 Опис видів та функціонального призначення внутрішніх елементів конструкції паливних баків.....	10
1.3 Аналіз матеріалів для виготовлення паливних баків.....	13
1.4 Огляд програмного забезпечення (CAD/CAE) для розробки електронної моделі паливного бака.....	15
2. Розробка в САПР електронної моделі паливного бака.....	21
2.1 Побудова в САПР електронних моделей компонентів паливного бака.....	21
2.2 Побудова в САПР електронної моделі збирання паливного бака.....	33
2.3 Вдосконалення електронної моделі паливного бака в САПР.....	38
3. Інженерний аналіз характеристик паливного бака в САПР.....	47
3.1 Опис методу кінцевих елементів.....	47
3.2 Підготовка геометрії електронної моделі для проведення інженерного аналізу.....	48
3.3 Побудова сітки кінцевих елементів електронної моделі бака.....	51
3.4 Моделювання матеріалу для кінцево-елементної моделі.....	55
3.5 Створення розрахунковий моделі для симуляції надлишкового тиску в баку.....	59
3.6 Створення розрахункової моделі для симуляції гідравлічного випробування бака.....	66
3.7 Створення розрахункової моделі для симуляції випробування на провисання бака.....	68

КРБМТВА 25.21157. 000 ПЗ									
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	Вибір матеріалів та проектування конструкцій паливних баків легкових автомобілів	Літ.	Арк.	Акрюшів	
Розроб.		Романчук		5.06.25				4	103
Перевір.		Бабак				ХНУ група МТВА 21-1			
Реценз.									
Н. Контр.		Маковкін							
Затверд.		Диха							

3.8 Створення розрахункової моделі для симуляції випробування на стійкість бака впливу температур.....	71
3.9 Створення розрахункової моделі для симуляції випробування на міцність бака (при вільному падінні).....	73
3.10 Відображення та перегляд результатів у вікні постпроцесора.....	75
3.11 Аналіз результатів тестів інженерного моделювання паливного бака.	78
4. Методика вдосконалення конструкції корпусу паливного бака у САПР.....	90
4.1 Опис методики проектування конструкції паливних баків легкових автомобілів у САПР.....	90
4.2 Напрямок вдосконалення конструкції паливних баків.....	94
Висновки.....	98
Список використаної літератури та джерел.....	100
Додатки.....	103

Вступ

Актуальність роботи Корпуси сучасних пластикових паливних баків складаються із чотирьох видів матеріалів, розподілених по шести шарах. Виробництво спеціально розроблених матеріалів для паливних баків здійснюється найбільшими міжнародними виробниками хімічної продукції та полімерних матеріалів.

Основна вартість матеріалів паливного бака припадає на поліетилен високої щільності (HDPE), зважаючи на найбільший вміст його в структурі паливного бака. Зниження витрати цього матеріалу є одним із ключових завдань і має такі плюси:

- Підвищення прибутку компаній-виробників паливних баків за рахунок зниження витрат на матеріали, зменшення вартості сировини, транспортних витрат та витрат на виробництво самого матеріалу;

- Підвищення екологічної безпеки. Виробництво HDPE вимагає нафти або природного газу як основну сировину. Видобуток нафти та газу може призводити до різних негативних наслідків для навколишнього середовища, включаючи забруднення ґрунту та води, руйнування екосистем та викиди парникових газів. Крім того, у процесі виробництва HDPE можуть виділятися різні хімічні речовини та забруднювачі в атмосферу;

- Зниження споживання енергії, включаючи використання видів енергії, пов'язаних із викидами парникових газів та іншими видами забруднень.

Скорочення використання поліетилену високої щільності у пластикових паливних баках можливе внаслідок конструктивних змін, наприклад, за рахунок відмови від внутрішньої перегородки, необхідної зниження шуму, викликаного переміщенням палива [27], а деяких випадках – надання жорсткості корпусу паливного бака. Вага перегородки в паливних баках легкових автомобілів може досягати одного кілограма, а часто й перевищувати це значення. Відмова від наявності в конструкції корпусу паливного бака даної перегородки, без

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

погіршення властивостей паливного бака, зробить суттєвий внесок не тільки в економічну складову конкретного підприємства, а й у покращення екологічної обстановки в цілому за рахунок загального зниження споживання поліетилену. Однак такі суттєві конструктивні зміни повинні проводитися на основі моделювання та інженерного аналізу конструкції паливного бака в САПР.

Ціль роботи. Створення методики вдосконалення конструкції корпусів паливних баків, що мають у складі внутрішню перегородку, для економії сировини та зниження собівартості виробництва пластикових паливних баків за збереження їх експлуатаційних характеристик у САПР.

Завдання роботи:

- Огляд джерел на тему випробувань паливних баків, а також застосування та функціонального призначення внутрішніх перегородок;
- Створення САПР тривимірної моделі вихідної конструкції корпусу паливного бака, що має у складі внутрішню перегородку;
- Попереднє вдосконалення у САПР створеної конструкції паливного бака, виключення перегородки зі складу конструкції;
- Визначення методик моделювання механічною міцністю корпуси паливного бака;
- створення кінцево-елементних моделей двох варіантів корпусів паливних баків;
- Створення розрахункових моделей для моделювання різних випробувань двох варіантів корпусів паливних баків;
- Проведення порівняльного інженерного аналізу та оцінка впливу зміни конструкції на механічну міцність корпусів паливних баків;
- Проведення повторного вдосконалення конструкції паливного бака за підсумками інженерного аналізу у разі незадовільного результату;
- Опис алгоритму та основних етапів методики.

Наукова новизна. Методика вдосконалення корпусів пластикових

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

паливних баків на основі моделювання та інженерного аналізу в САПР, для підвищення його експлуатаційних характеристик, є науковою новизною даної роботи.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є методика вдосконалення конструкції корпусів пластикових паливних баків.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є пластиковий паливний бак легкового автомобіля, що спочатку має в конструкції внутрішню перегородку.

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Огляд конструкції паливних баків і програмного забезпечення

1.1 Тенденції розвитку конструкції паливних баків

Конструкція паливних баків значно змінювалася з часом. На зорі автомобілебудування паливні баки часто були простими металевими контейнерами, які встановлювалися зовні або інтегрувалися в шасі. Зазвичай вони були виготовлені зі сталі і не мали складних функцій безпеки. З розвитком автомобільних технологій паливні баки стали розміщувати всередині конструкції автомобіля. Ця зміна допомогла захистити бак від зовнішніх пошкоджень та знизити ризик протікання або пожеж у разі зіткнення [19].

У середині ХХ століття були представлені системи перегородок, щоб звести до мінімуму плескання палива всередині бака. Внутрішні перегородки у паливних баках – це перегородки або вставки, які допомагають контролювати рух палива при прискоренні, гальмуванні та проходженні поворотів. Вони покращують стійкість, знижують ризики та оптимізують керування автомобілем. Залежно від конструкції, внутрішні перегородки можуть надавати міцності корпусу паливного бака.

Згодом у конструкцію паливного бака були включені рішення щодо безпеки, щоб знизити ризик нещасних випадків та інцидентів, пов'язаних з паливом. Дані заходи включали застосування гравітаційних клапанів, які запобігають витоку палива при аваріях з перекиданням, і використання удароміцних матеріалів, щоб протистояти зіткненням [20].

У міру зростання турботи про довкілля конструкція паливного бака адаптувалася відповідно до нормативних вимог. Були введені системи контролю викидів у результаті випаровування для скорочення викидів парів палива в атмосферу, а також системи уловлювання парів.

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Акцентуючи увагу на ефективності використання палива, виробники почали вивчати легкі матеріали для паливних баків.

Сучасні конструкції паливних баків включають технологію з використанням датчиків контролю рівня палива, визначення тиску і виявлення витоків. Ці датчики передають дані бортовим системам автомобіля в режимі реального часу, забезпечуючи точне керування подачею палива та раннє виявлення потенційних проблем.

У міру того, як альтернативні види палива набували популярності, конструкції паливних баків ставали різноманітнішими. Наприклад, в електромобілях замість звичайних паливних баків використовуються акумуляторні батареї, а автомобілях на водневих паливних елементах потрібні спеціальні баки для безпечного зберігання та розподілу газоподібного водню [1].

Протягом усієї історії конструкція паливного бака визначалася такими параметрами як безпека, ефективність використання палива, екологічні норми та технологічні досягнення. У процесі розробки та серійного виробництва паливні баки піддаються різним суворим випробуванням, метою яких є перевірка їхньої відповідності вимогам [6] [19] [23] [26] [28].

1.2 Опис видів та функціонального призначення внутрішніх елементів конструкції паливних баків

Внутрішні перегородки в паливних баках є перешкодами, які поділяють внутрішній простір бака на окремі відсіки або камери. Вони виконують кілька важливих функцій:

– Поліпшення стабільності та керованості транспортного засобу. Вони запобігають великим переміщенням палива всередині бака, які можуть змінювати центр ваги та впливати на рівновагу транспортного засобу. Ця проблема переважно характерна для літальних апаратів або автоцистерн, що перевозять паливо;

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

– Пригнічення газоутворення. Допомагають знизити газоутворення у паливному баку. Вони обмежують перемішування палива та знижують утворення бульбашок газу, що може допомогти у запобіганні виникненню проблем з подачею палива та роботою двигуна;

– Зниження шумів переміщення палива. До сучасних пасажирських транспортних засобів застосовуються суворі вимоги щодо допустимого рівня шуму. При розгоні та уповільненні транспортного засобу, при різких маневрах, а також при русі нерівною дорогою, паливо активно переміщається всередині бака, що створює шум, що знижує комфорт і безпеку водія та пасажирів. Внутрішні перегородки паливних баків створюють відсіки чи перешкоди, які поділяють паливо більш маленькі обсяги, що допомагає знизити інтенсивність плескання і, відповідно, шум [29];

– Надання твердості конструкції паливного бака. Як правило, при проектуванні бака з занурюваними (зануреними у матеріал корпусу бака) внутрішніми перегородками, в конструкцію корпусу спочатку не вводяться необхідні для надання жорсткості рішення, щоб не ускладнювати геометрію корпусу паливного бака і, відповідно, вартість виготовлення видувної прес-форми.

Приклади застосування внутрішніх перегородок у різних галузях наведено рис. 1. Приклади застосування внутрішніх перегородок у пластикових паливних баках – рис. 2.

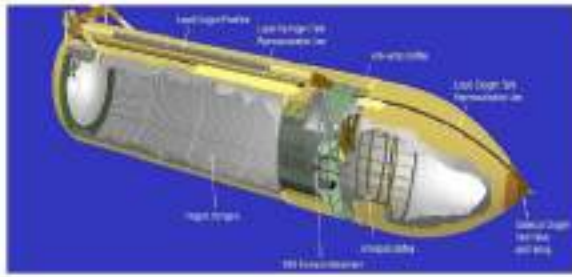


Рисунок 1 – Приклади застосування внутрішніх перегородок: у ракеті, крилі літака та паливній цистерні

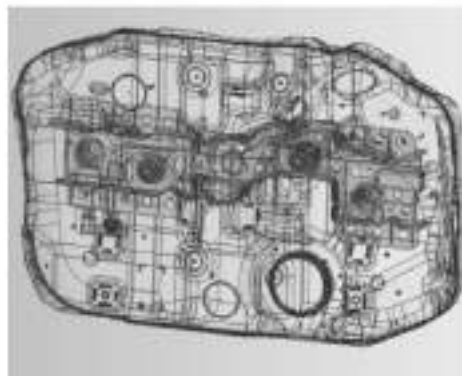
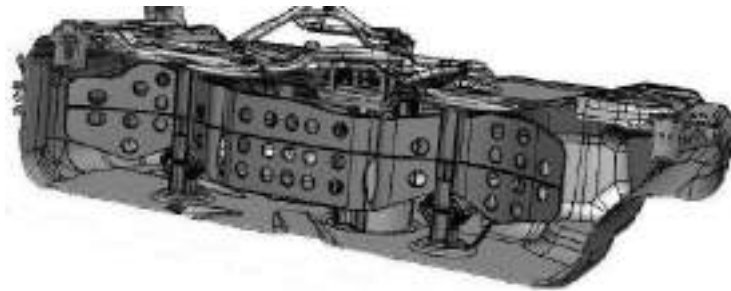


Рисунок 2 – Приклади застосування внутрішніх перегородок у пластикових паливних баках

Пластикові паливні баки для легкових автомобілів виробляються за технологією видувного формування [24]. Процес виготовлення пластикових паливних баків із внутрішніми перегородками складається з наступних етапів (рис. 3):

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

- Внутрішня перегородка переноситься роботизованою рукою та встановлюється (позиціонується) у видувну форму як заставна деталь;
- Матеріал паливного бака, що є «рукавом» з розм'якшеного пластику, опускається зверху на заставну деталь, проводиться попередній роздування;
- Форма замикається, притискаючи матеріал рукава до занурювальних майданчиків внутрішньої перегородки, проводиться основний роздування пластикового «рукава», що формує геометрію бака;
- Форма розмикається, паливний бак із закладною деталлю витягується механізованою рукою та транспортується до зони охолодження.

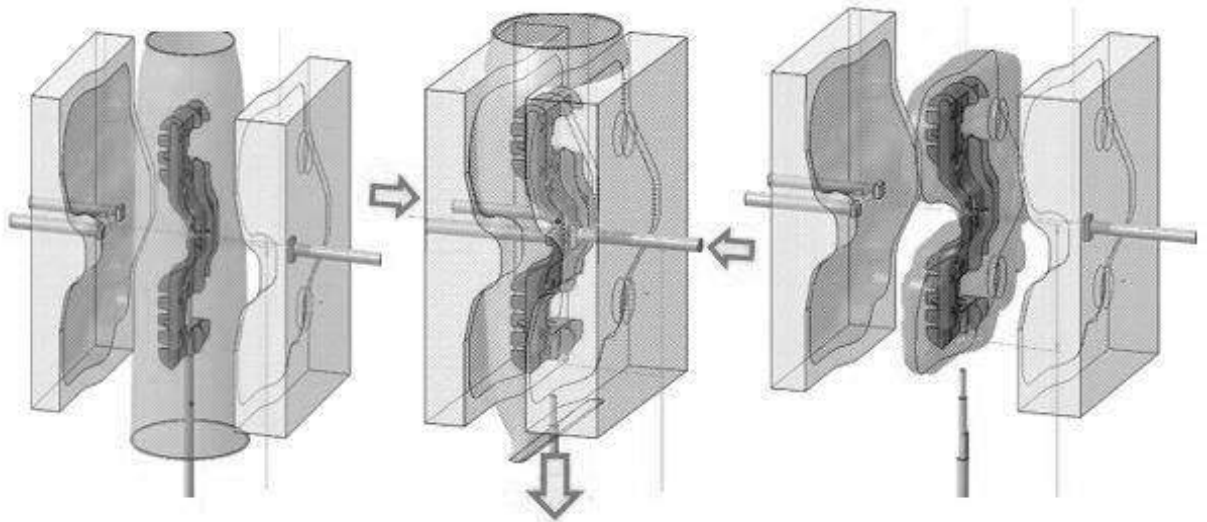


Рисунок 3 – Процес виробництва пластикового паливного бака із внутрішньою перегородкою

1.3 Аналіз матеріалів для виготовлення паливних баків

Корпуси сучасних пластикових паливних баків складаються із чотирьох видів матеріалів, розподілених по шести шарах [21]. Виробництво спеціально розроблених марок даних матеріалів здійснюється найбільшими міжнародними виробниками хімічної продукції та полімерних матеріалів. Кількісне утримання

у структурі паливного бака кожного виду матеріалу варіюється в залежності від вимог автовиробників та внутрішніх стандартів підприємств-постачальників. Кожен із видів матеріалів виконує свою роль:

– Основний матеріал (поліетилен високої щільності, HDPE). Внутрішній та зовнішній шари паливного бака виготовляються з поліетилену високої щільності, з тією лише різницею, що зовнішній шар містить у собі барвник, що надає паливному баку характерного чорного кольору, що захищає паливний бак від руйнівної дії ультрафіолетового випромінювання. HDPE застосовується через його чудову хімічну стійкість, низьку проникність і здатність витримувати вплив палива та інших агресивних речовин. $\approx 30-35\%$ або більше від загальної товщини стінки корпусу бака для внутрішнього шару; $\approx 5-10\%$ для зовнішнього шару;

– Бар'єрний шар (Сополімер етилену і вінілового спирту, EVOH). . Вміст: не менше 0,01мм в загальній товщині стінки корпусу бака, за необхідної умови безперервності по всьому контуру.

– Адгезивний шар (Лінійний поліетилен низької густини, LLDPE). Між внутрішнім, зовнішнім та бар'єрним шарами наноситься адгезивний (клейовий) шар для забезпечення належного зчеплення та адгезії між шарами паливного бака. Вміст: не менше 0,01 мм у загальній товщині стінки корпусу бака;

– Шар із подрібненого пластику (Regrind). Являє собою повторно розплавлений матеріал, що містить у собі кожен із перелічених вище матеріалів у пропорційних частках. Виходить дробленням відходу, що утворюється у процесі видувного формування паливних баків. Вміст: $\approx 50-55\%$ від загальної товщини стінки корпусу бака.

Структура шестишарового бака представлена рис. 4.

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

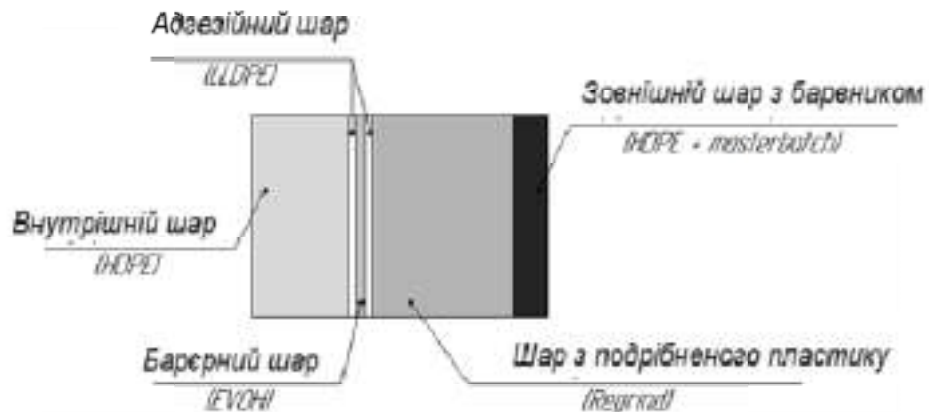


Рисунок 4 – Структура та розподіл шарів шестишарового паливного бака

Конкретні марки матеріалів, що використовуються у шестишаровому паливному баку, можуть відрізнятися залежно від вибору виробника конструкції, нормативних вимог та технічних характеристик. Крім того, виробники можуть включати в сировину добавки, наповнювачі або армуючі матеріали для поліпшення певних властивостей паливного бака, таких як вогнестійкість, стабільність розмірів або стійкість до ударів.

Пластикові внутрішні перегородки паливних баків, як правило, виготовляються з поліетилену високої щільності, що обумовлено необхідністю вплавлення занурювальних бобишок, наявних на майданчиках внутрішньої перегородки в тіло корпусу пластикового паливного бака, внутрішній шар яких, як було зазначено вище, виготовляється. Це необхідно для якісного з'єднання пластику, що потребує єдності типу матеріалу.

1.4 Огляд програмного забезпечення (CAD/CAE) для розробки електронної моделі паливного бака

Siemens NX вважається однією з найкращих систем САПР у світі та

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

широко використовується професіоналами у різних галузях, включаючи автомобілебудування, аерокосмічну промисловість, машинобудування та промисловий дизайн, для проектування, моделювання та виробництва складних продуктів. Він пропонує повний набір інструментів для 3D-моделювання, проектування складання, симуляції та обробки, що робить його придатним для складних конструкторських проектів.

Причини, з яких Siemens NX вважається однією з кращих САПР-систем, включають:

- Розширені функції: Siemens NX надає широкий спектр розширених функцій та можливостей, включаючи параметричне та пряме моделювання, поверхневий дизайн, зворотне проектування та симуляцію;

- Інтеграція: Siemens NX добре інтегрується з іншими програмними рішеннями, такими як системи управління життєвим циклом продукції (PLM) [15] та програмне забезпечення для автоматизованого виробництва (CAM) [2. розроблення продукту];

- Міждисциплінарний підхід: Siemens NX підтримує міждисциплінарне проектування та моделювання, дозволяючи інженерам з різних галузей знань безперешкодно співпрацювати та інтегрувати свою роботу. Ця можливість особливо корисна для складних проектів, які вимагають залучення фахівців із кількох інженерних дисциплін [10].

У цій роботі для вирішення поставлених завдань використовується Siemens NX 11.0, вибір якого обумовлений тим, що це програмне рішення дозволить здійснити всі заплановані роботи в рамках однієї системи автоматизованого проектування: змоделювати початкову та вдосконалену моделі, провести інженерний аналіз їх характеристик та, за потреби, повторно здійснити вдосконалення за результатами аналізу, не вдаючись до необхідності використання сторонніх САПР та, внаслідок, нейтральних форматів обміну 3D - даними.

Для початку розглянемо основні елементи інтерфейсу стартового вікна

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Siemens NX 11.0 у модулі «Моделювання» [5] (рисунок 5):

1. Заголовок вікна, панель швидких команд та навігації між вікнами;
2. Панелі інструментів;
3. Панель вибору, орієнтації видів та забарвлення;
4. Панель ресурсів;
5. Команди, налаштовані користувачем;
6. Вікно пошуку за функціями та командами;
7. Робоча область.

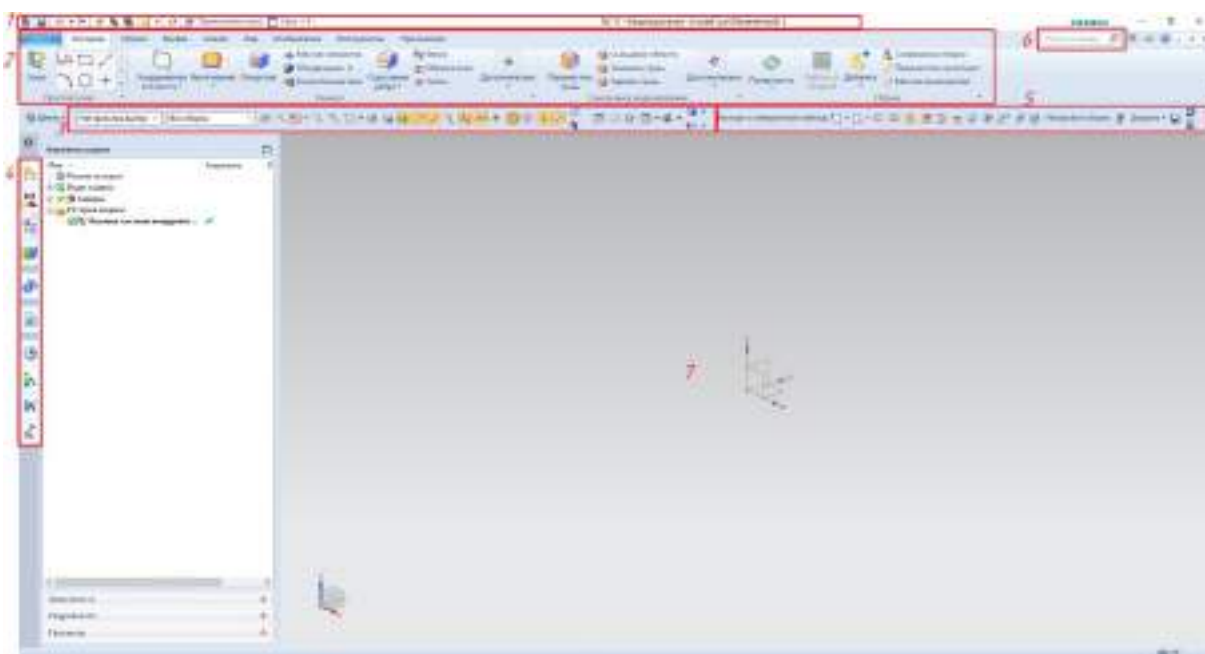


Рисунок 5 – Стартове вікно модуля «Моделювання» у Siemens NX 11.0

Основним елементом панелі ресурсів при моделюванні деталі є вкладка «Навігатор моделі» (рисунок 6) у правому кліку мишки на конкретному елементі.

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

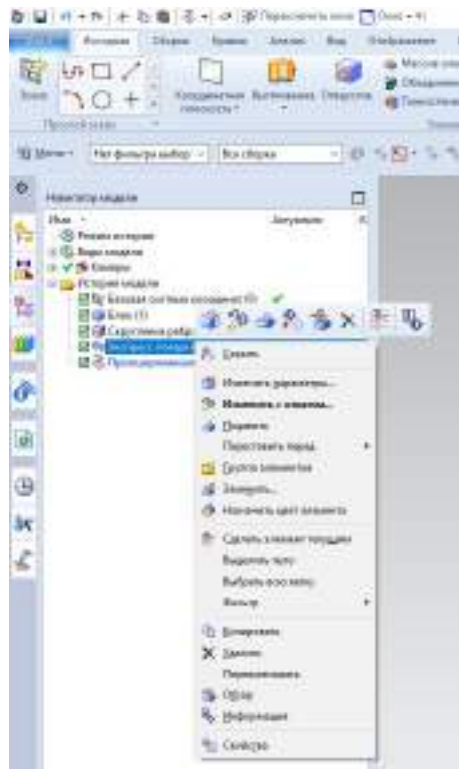


Рисунок 6 – Вкладка «Навігатор моделі» у Siemens NX 11.0

Також необхідно розглянути основні елементи інтерфейсу стартового вікна модуля NX Розширена симуляція, що є частиною Siemens NX 11.0 (рисунок 7) [5].

Інтерфейс та організація робочого простору дуже схожі з модулем «Моделювання»:

1. Заголовок вікна, панель швидких команд та навігації між вікнами;
2. Панелі інструментів та вікно пошуку за функціями та командами;
3. Панель вибору, орієнтації видів та забарвлення;
4. Панель ресурсів;
5. Робоча область.

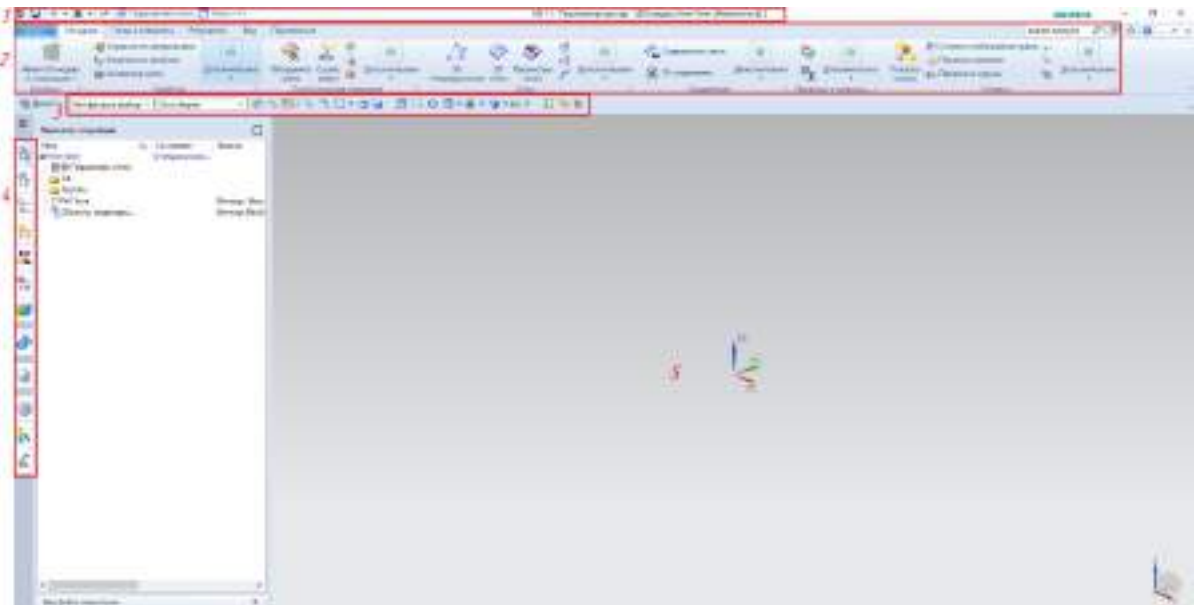


Рисунок 7 – Стартове вікно модуля «NX Розширена симуляція» у Siemens NX 11.0

Основним вирішувачем у модулі «NX Розширена симуляція» є кінцево-елементний вирішувач Nastran, що зарекомендував себе протягом багатьох років. Nastran – це одна з перших обчислювальних систем у світі. У 2003 році вихідні коди, а також всі інтелектуальні напрацювання системи Nastran були придбані компанією Siemens PLM Software. За останні роки компанії Siemens PLM Software вдалося суттєво вдосконалити та розширити NX Nastran.

Крім вирішувача Nastran, в основу «NX Розширена симуляція» лягли й інші рішення чисельного аналізу. Це рішення I-Deas Master FEM, I-Deas Laminate Composites та I-Deas Advanced Durability, розроблені компанією Maya Heat Transfer Technologies, які згодом увійшли в портфель рішень Siemens PLM Software як NX Flow/Advanced Flow, NX Thermal/Advanced Thermal, NX Space System Thermal, NX Electronic System Cooling. У 2011 році з'явилося рішення NX Topology Optimization, основою якого є алгоритми Tosca, розроблені компанією FE Design. Технології Adina стали основою NX Nastran Advanced Nonlinear – модуля для аналізу складних статичних та динамічних нелінійних процесів.

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Таким чином, портфель CAE-рішень Siemens PLM Software об'єднав у собі велику кількість сучасних, найкращих у своєму класі технологій, таких як технології Nastran, Adina R&D, I-Deas CAE, Maya HTT, Tosca, Recurdyne. PLM Software виділила найкращі для вирішення кожного класу завдань, об'єднала їх у єдиному рішенні та продовжує розвивати та покращувати для аналізу прикладних завдань будь-якої складності [3].

Висновки:

– В результаті аналізу інформації з існуючих джерел встановлено, що конструкція паливних баків змінювалася з плином років залежно від загального рівня розвитку техніки та підвищуваних вимог до продуктивності та безпеки транспортних засобів загалом та паливних баків зокрема;

– Виявлено, що внутрішні перегородки широко застосовуються у конструкції паливних баків та інших ємностей, призначених для зберігання та транспортування палива, як у автомобілебудуванні, так і в інших галузях. Метою застосування перегородок є зниження шумів від переміщення палива, зниження впливу переміщення палива на керованість транспортного засобу (насамперед характерно для ракет та автоцистерн), а в деяких випадках – збільшення жорсткості конструкції корпусу паливного бака;

– Показано, що сучасні пластикові паливні баки легкових автомобілів виробляються за технологією видувного формування та виготовляються із чотирьох видів матеріалів, розподілених по шести шарах. Внутрішні перегородки корпусів пластикових паливних баків виготовляються з поліетилену високої щільності (HDPE), що є матеріалом з найбільшим вмістом під час виробництва корпусу паливного бака;

– Встановлено, що для вдосконалення конструкції корпусів паливних баків, що мають у складі внутрішню перегородку, доцільно розробити методику на основі САПР Siemens NX, яка дозволить відмовитися від внутрішньої перегородки паливного бака при збереженні його експлуатаційних характеристик.

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2 Розробка в САПР електронної моделі паливного бака

2.1 Побудова в САПР електронних моделей компонентів паливного бака

Корпус пластикового паливного бака – найважливіша складова паливного бака у зборі. Його основне призначення полягає в тому, щоб зберігати в собі паливо, дозволяючи транспортним засобам та устаткуванню працювати ефективно і безпечно.

Вимоги до корпусу паливного бака залежать від різних факторів, включаючи тип транспортного засобу або обладнання, тип палива, що зберігається, і застосовні правила або галузеві стандарти. Однак деякі загальні вимоги до корпусів паливних баків включають:

– Міцність та довговічність. Корпус повинен витримувати тиск і навантаження, створювані паливом, а також чинити опір ударам, вібраціям та іншим зовнішнім впливам. Він повинен мати достатню міцність, щоб запобігти розриву або витоку;

– Корозійна стійкість. Паливні баки часто зазнають впливу вологи та інших агресивних елементів. Корпус повинен бути виготовлений із матеріалів або покриттів, стійких до корозії, щоб забезпечити довговічність та цілісність резервуара;

– Герметичність та запобігання витокам. Корпус паливного бака повинен мати ефективні механізми герметизації для запобігання витоку палива. Це включає правильно спроектовані з'єднання, ущільнення і з'єднання, що забезпечують щільну і надійну посадку;

– Вентиляція та регулювання тиску. У паливних баках потрібна наявність системи вентиляції для регулювання тиску та запобігання накопиченню пари. У корпусі мають бути передбачено можливість розміщення компонентів, що забезпечують вентиляцію, для підтримки безпечного рівня

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

тиску всередині резервуару;

– Відповідність нормам. Корпуси паливних баків повинні відповідати відповідним нормам безпеки та охорони навколишнього середовища, які можуть відрізнятися залежно від регіону застосування транспортного засобу;

– Удароміцність. Корпус повинен бути сконструйований таким чином, щоб витримувати ударні навантаження та зводити до мінімуму ризик витоку або розриву палива у разі аварії.

Наявність такого широкого переліку вимог до корпусу паливного бака наділяє процес його розробки та проектування особливою важливістю.

Вихідними даними для розробки є:

– Тип палива. Властивості палива, включаючи його щільність, в'язкість та хімічний склад впливатимуть на конструкцію та вибір матеріалу;

– Місткість паливного бака. Ці відомості, як правило, передаються з боку замовника розробки паливного бака або визначаються виходячи з вимог до характеристик транспортного засобу;

– Доступний простір та тип кріплення;

– Виробничі процеси;

– Умови довкілля.

Для безпосередньо створення математичної моделі паливного бака в зборі, як правило, замовником розробки надаються цифрові дані, у вигляді тривимірного оточення паливного бака (частини кузова транспортного засобу, рис. 8) або доступний об'єм, у вигляді твердотільного елемента, який необхідно вмістити паливний бак (рисунок 9).

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

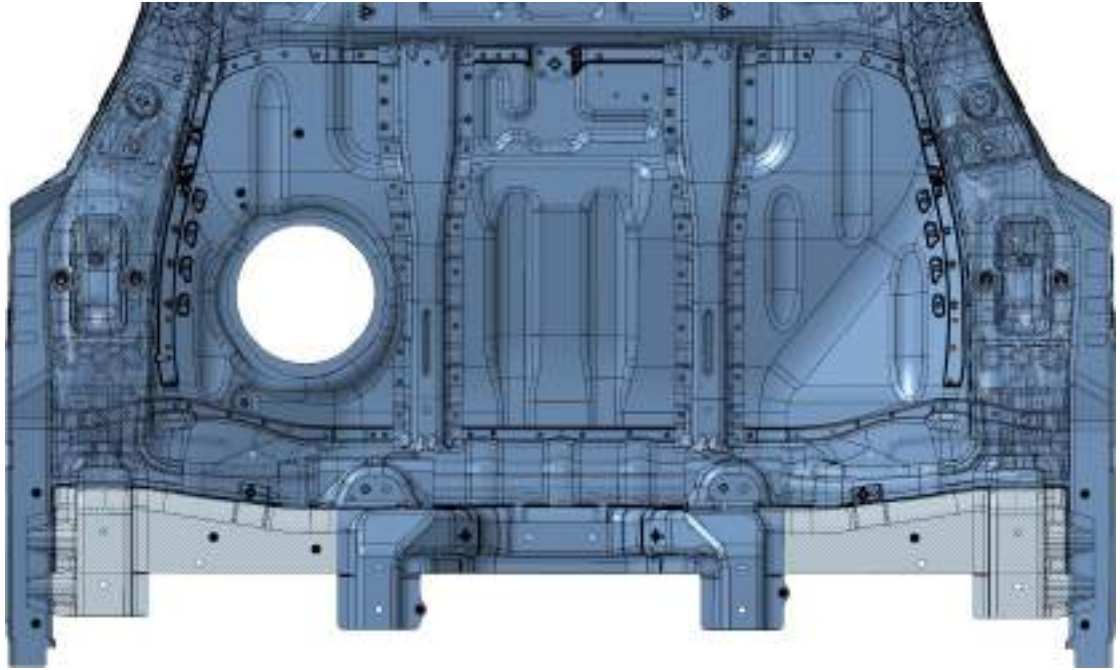


Рисунок 8 – Приклад оточення паливного бака (елементи кузова)

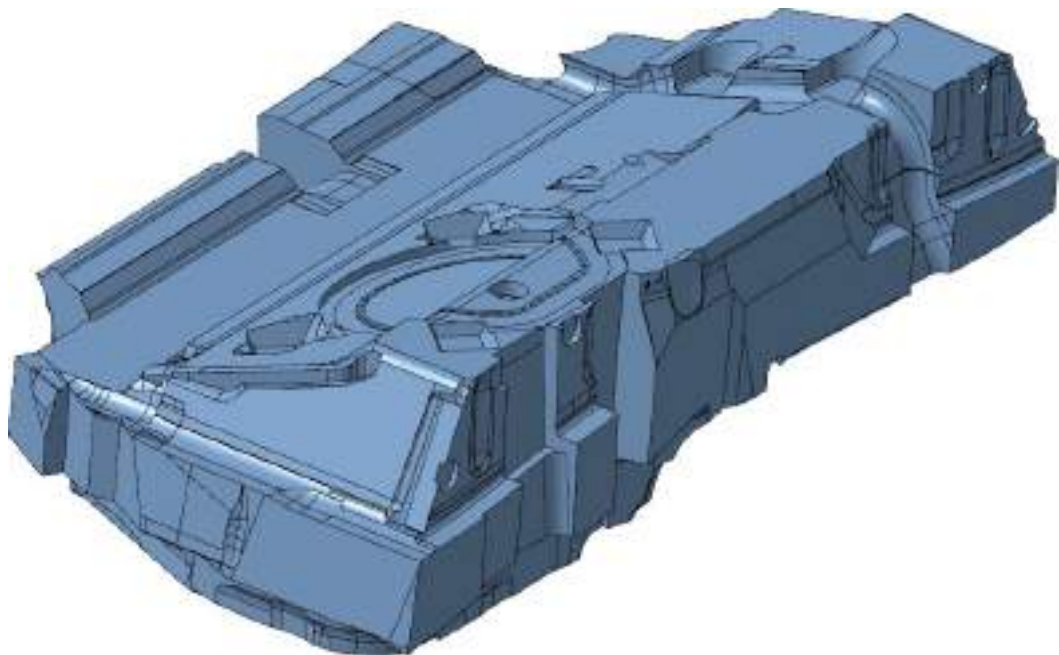


Рисунок 9 – Приклад оточення паливного бака (доступний обсяг)

Розглянемо процес створення математичної моделі корпусу паливного

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

бака за допомогою системи автоматизованого проектування Siemens NX 11.0.

Для початку моделювання корпусу паливного бака слід імпортувати отримані від замовника геометричні обмеження. Якщо формат вихідних даних не відповідає формату NX (файли з розширенням .prt), слід імпортувати вихідні дані за допомогою функції «Імпорт» (Меню → Файл → Імпорт), вибравши відповідний формат вихідних даних.

Після завантаження вихідних даних, слід визначити базову площину, на базі якої проводитиметься подальша побудова. Для цього слід вибрати функцію «Координатна площина» (Меню → Вставити → База/точка → Координатна площина). Потім, вибравши з доступних варіантів (рисунок 10), створити площину, прив'язавшись до існуючої геометрії вихідних даних або з базових площин.

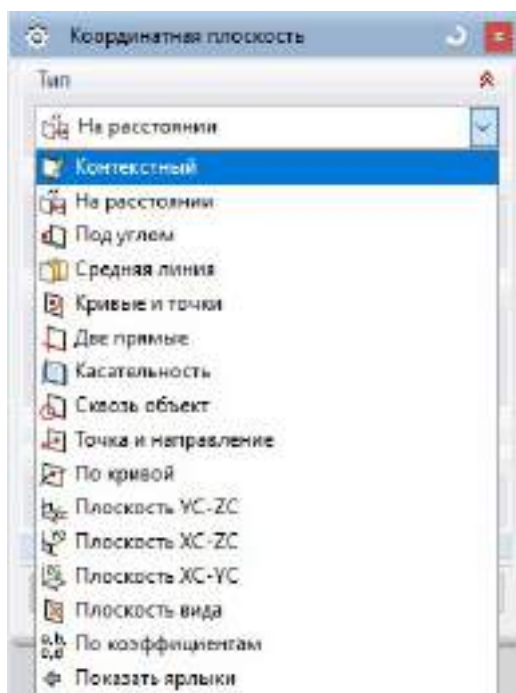


Рисунок 10 – Варіанти створення координатної площини

Наступним кроком необхідно створити на цій площині ескіз (Меню → Вставити → Ескіз), який полегшить створення вихідного твердого тіла-заготівлі

для корпусу паливного бака. За допомогою інструментів ескізу (рисунок 11) окреслюємо контур майбутньої фігури, явно більшого розміру, ніж вихідні геометричні обмеження. Контур може бути прямокутної, трапецієподібної чи іншої форми, залежно від відведеного замовником робочого простору. Також, при необхідності, елементи ескізу можуть бути параметризовані та обмежені (рисунок 12). Після завершення геометричних побудов слід натиснути кнопку «Закінчити ескіз».

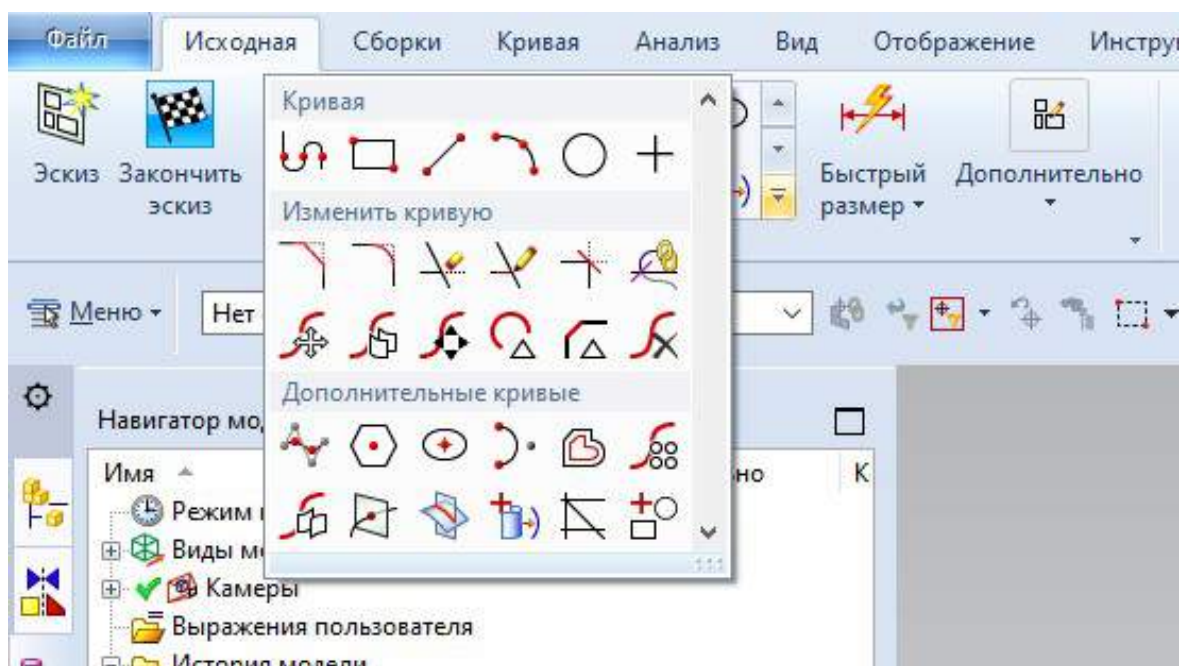


Рисунок 11 – Інструменти геометричних побудов ескізу Siemens NX 11.0

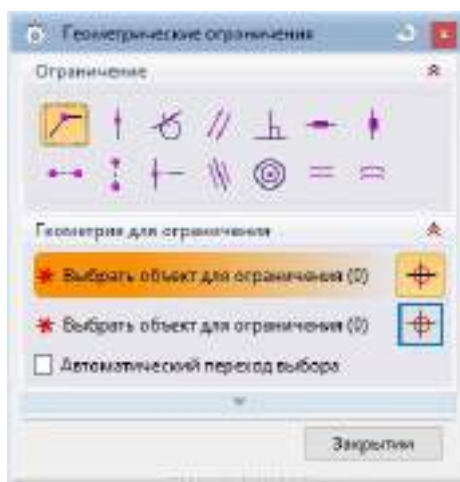


Рисунок 12 – Вікно геометричних обмежень ескізу Siemens NX 11.0

Далі необхідно надати товщину плоского контуру, сформованого за допомогою команди «Ескіз» [8]. Для цього необхідно вибрати команду «Витягування» (Меню → Вставити → Конструктивний елемент → Витягування). Вибрати потрібний контур, визначити вектор, уздовж якого необхідно здійснити надання товщини, і задати значення, що перевищує відведене вихідних даних. У налаштуваннях виставити тип тіла – «Тіло», щоб отримати повнотілу геометрію заготовки (рисунок 13).

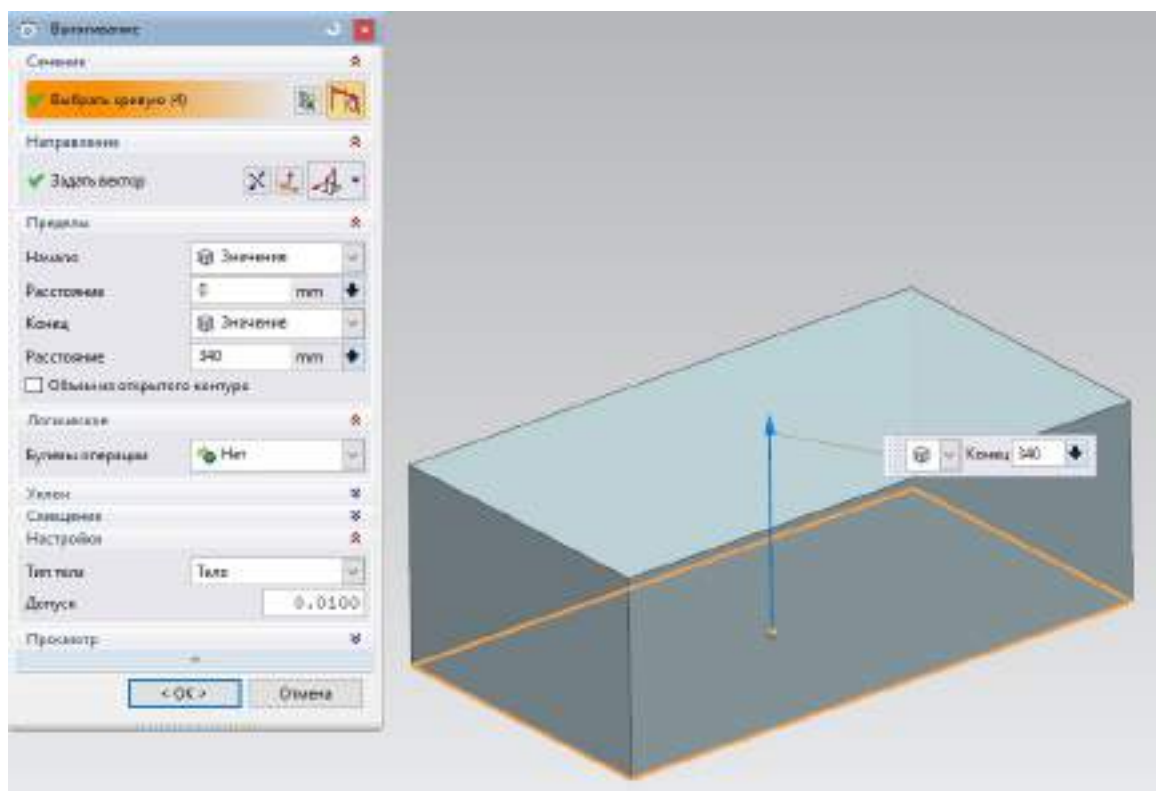


Рисунок 13 – Операція «Витягування» у Siemens NX 11.0

Після отримання твердотільного елемента необхідно провести первинне, грубе відсікання маси тіла, наблизивши геометрію тіла до відведеного під проектування обсягу. Для цього слід спроектувати криві з вихідних даних (елементів кузова або твердотільного об'єму) на базову площину за допомогою функції проектування (Меню → Вставити → Крива по кривій → Проектування). При нестачі спроектованих ліній можна скористатися функціями побудови

кривих (поза ескізом, Меню → Вставити → Крива). Потім отриманий контур потрібно витягнути у потрібному напрямку, змінивши тип тіла на «Аркуш». Отриманою в результаті поверхнею без товщини слід обрізати заготовку по контуру або по одній із сторін за допомогою функції «Обрізання тіла» (Меню → Вставити → Обрізка → Обрізання тіла, рисунок 14).

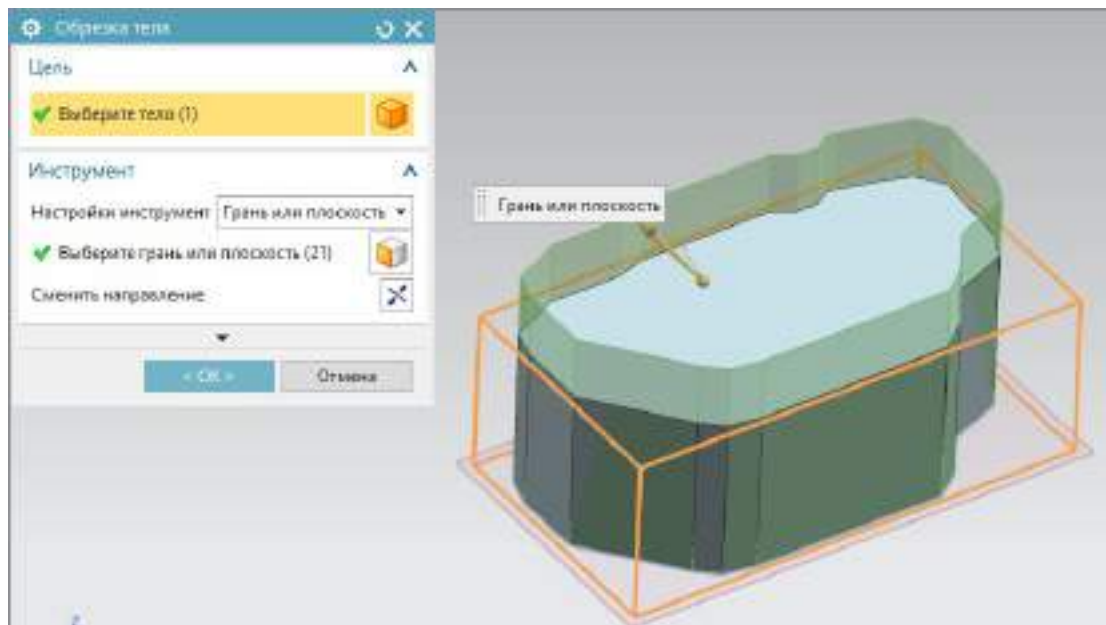


Рисунок 14 – Операція «Обрізання тіла» у Siemens NX 11.0

Операцію обрізки заготовки слід повторити багаторазово, відсікаючи зайві частини тіла з різних сторін і в різних напрямках, використовуючи геометрію виділеного під проектування об'єму як посилальну. Для отримання додаткових геометричних побудов, необхідних для надання заготівлі необхідної форми, можуть бути корисними такі команди:

- "Поверхня обрізки" (Меню → Вставити → Обрізка → Поверхня обрізки);
- «Розширити поверхню» (Меню → Вставити → Обрізка → Розширити поверхню);
- «Обрізка та розширення» (Меню → Вставити → Обрізка → Обрізка та розширення);

- «Зміщення поверхні» (Меню → Вставити → Зміщення/масштаб → Зміщення поверхні);
- «Змінне зміщення» (Меню → Вставити → Зміщення/масштаб → Змінне усунення);
- «Мостик» (Меню → Вставити → Елементи деталі → Місток);
- «Сіткою кривих» (Меню → Вставити → Поверхня сіткою кривих → Сіткою кривих).

Отриманий результат чорнового відсікання можна спостерігати на рис. 15.

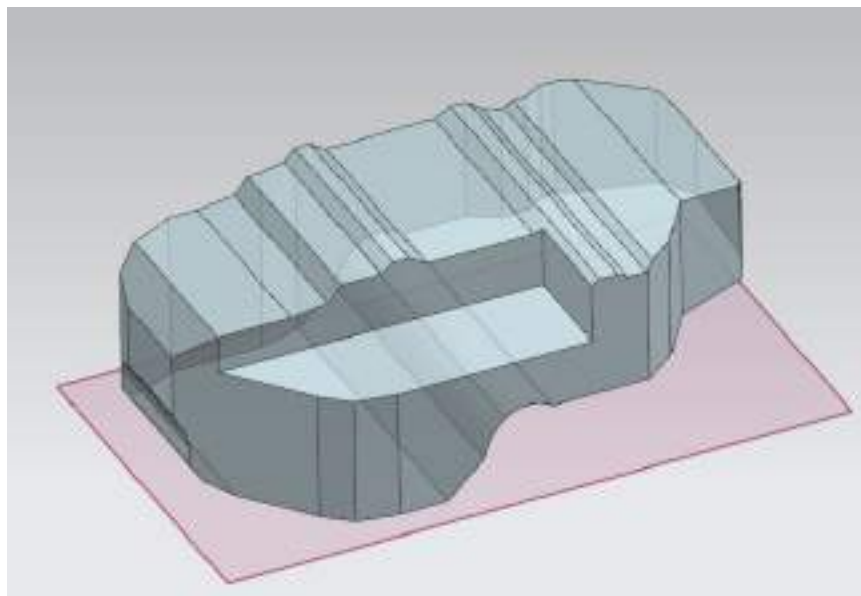


Рисунок 15 – Результат чорнового обрізання твердотільної заготовки

Отриманий результат вимагає ретельного доведення з метою унеможливлення перетину корпусу паливного бака з елементами оточення, виконання мінімальних зазорів від оточення до стінок паливного бака, створення попередньої концепції розміщення всіх необхідних для функціонування компонентів паливного бака. Для цього слід застосовувати вищезгадані операції, а також інші, доступні в модулі «Моделювання» Siemens

NX 11.0 та їх комбінації. Результат побудов представлений на рис. 16.

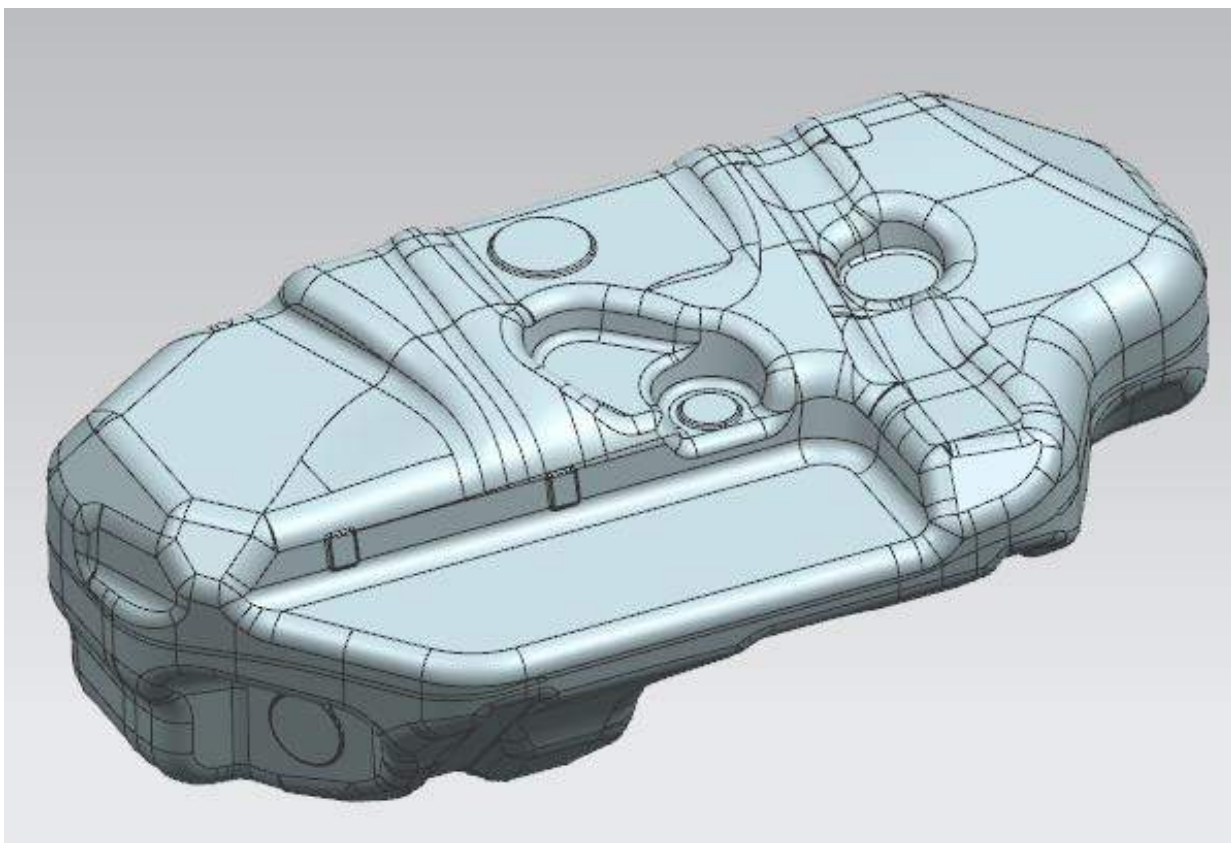


Рисунок 16 – Результат побудов зовнішньої оболонки корпусу паливного бака

Після остаточного доведення геометрії корпусу паливного бака за формою слід надати твердотільній моделі товщину, що відповідає реальній. У пластикових баках товщина, як правило, неоднорідна, що викликано особливостями процесу видувного формування. Однак значення усередненої товщини паливного бака подібних розмірів, як правило, приймається 5 мм.

Здійснити надання товщини Siemens NX 11.0 можна декількома способами:

- За допомогою команди «Потовщення» (Меню → Вставити →

Зміщення/масштаб → Потовщення). Для цього потрібно спочатку «зняти» поверхневий шар з твердотільного виробу, для отримання поверхонь із нульовою товщиною, за допомогою команди «Виділити геометрію» (Меню → Вставити → Асоціативна копія → Виділити геометрію). Після чого викликати команду «Потовщення», вибрати поверхні нульової товщини та задати необхідну товщину;

– За допомогою команди «Тонкостінне тіло» (Меню → Вставити → Зміщення/масштаб → Тонкостінне тіло);

– За допомогою команди «Віднімання» (Меню → Вставити → Комбінувати → Віднімання). Для цього спочатку потрібно викликати команду «Зміщення поверхні» (Меню → Вставити → Зміщення/масштаб → Зміщення поверхні), вибрати всі зовнішні поверхні твердотільного виробу та змістити їх на необхідну величину вглиб деталі. Потім за допомогою команди «Зшивання» (Меню → Вставити → Комбінувати → Зшивання) з'єднати зміщені поверхні. За відсутності розривів понад зазначений допуск має вийти тверде тіло. Після чого, викликавши команду «Віднімання», відняти від більшого тіла менше, не зберігаючи інструмент віднімання. Результат побудов корпусу паливного бака з товщиною стінки 5 мм показаний малюнку 17 за допомогою перерізу.

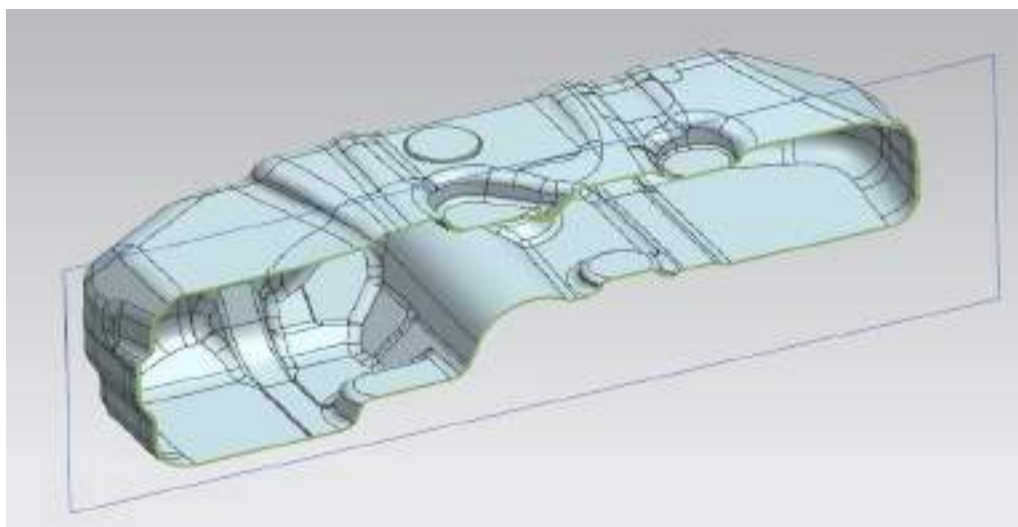


Рисунок 17 – Результат побудов корпусу паливного бака з товщиною стінки

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Не існує єдиного правильного шляху побудови об'ємного тіла з товщиною стінки, САПР Siemens NX 11.0 дозволяє дійти необхідного результату безліччю способів виходячи зі складності виробу, якості геометрії посилянь, а також навичок конкретного конструктора.

Наступним етапом після отримання об'ємного тіла з товщиною йде вирізка технологічних отворів для розміщення в подальшому необхідних компонентів. Для цього слід скористатися командами "Ескіз", "Витягування", "Віднімання", або спеціальною командою «Отвор» (Меню → Вставити → Конструктивний елемент → Отвір). Результат вирізки отворів представлений рис. 18.

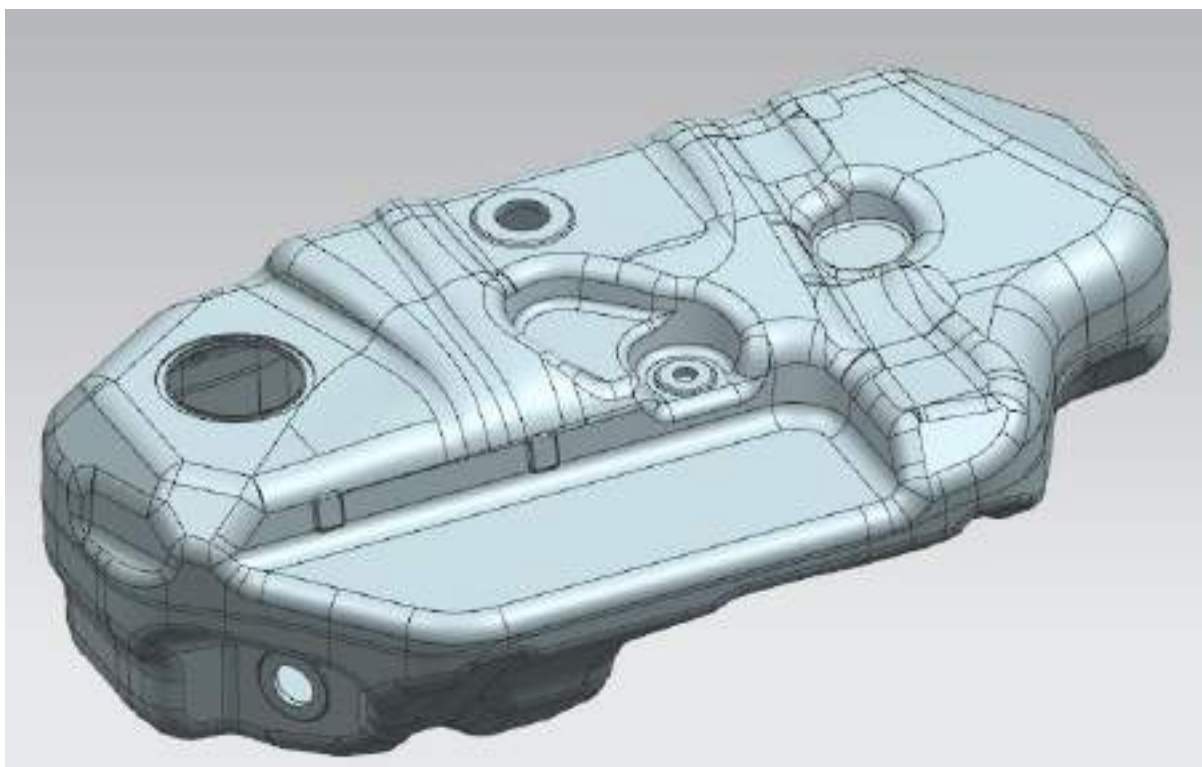


Рисунок 18 – Результат вирізки отворів у корпусі паливного бака

Після завершення моделювання корпусу паливного бака, необхідно розробити заставну деталь – внутрішню перегородку, що знаходиться всередині корпусу бака [24].

При розробці перегородки слід застосовувати раніше описані команди,

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

такі як "Ескіз", "Витягування", "Віднімання", "Обрізання тіла". Внутрішні поверхні корпусу паливного бака повинні бути використані як посилення для зон занурення перегородки тіла бака, що імітують його вплавлення. При розробці перегородки слід передбачити технологічні елементи, за які деталь переноситиметься і закріплюватиметься у видувній формі, а також локальні потонання перегородки біля кожного місця вплавлення його в тіло корпусу бака, з метою її контрольованого зламу та мінімізації впливу на поверхню корпусу бака при впливі ударного навантаження на паливний бак.

Тривимірна модель внутрішньої перегородки паливного бака представлена на рис. 19.

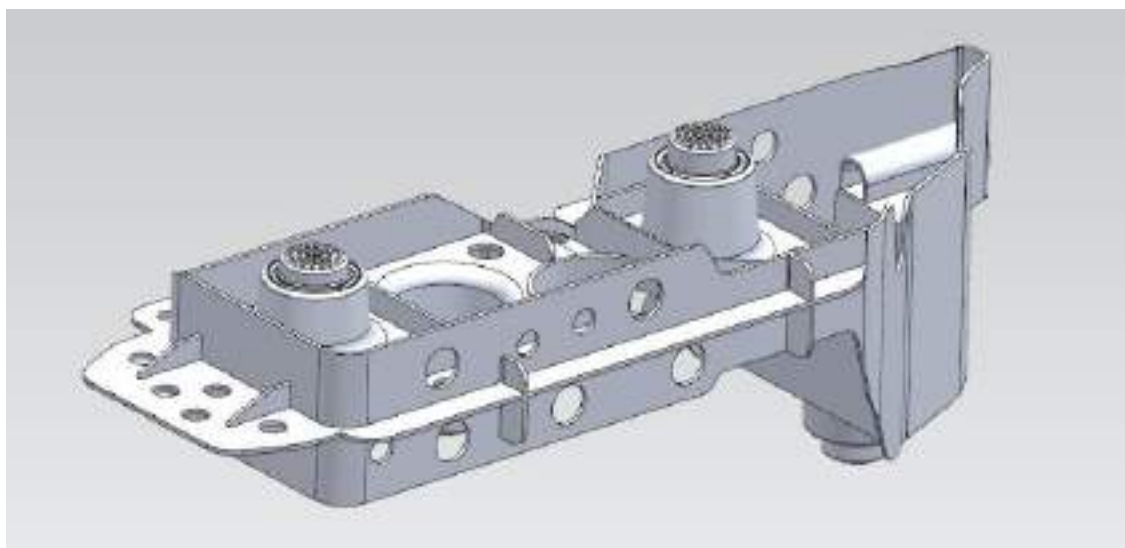


Рисунок 19 – Внутрішня перегородка паливного бака

Інші складові компоненти паливного бака в зборі набагато простіші в плані геометричних побудов, можуть бути створені за допомогою розглянутих раніше або інших доступних у команді Siemens NX 11.0. Також можливе запозичення тривимірних моделей баз даних, що надаються виробниками компонентів, що застосовуються в складі паливного бака.

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

2.2 Побудова в САПР електронної моделі збирання паливного бака

Паливний бак у транспортному засобі складається з кількох компонентів, що у сукупності утворюють працездатну систему, що забезпечують надійне та безпечне зберігання палива. Залежно від вимог, що висуваються до паливного бака, комплектації транспортного засобу та інших факторів, комплектація бака в зборі може змінюватись. Наведемо нижче основні компоненти паливного бака у зборі [7]:

- Вентиляційний клапан, що дозволяє повітря надходити і виходити з паливного бака при зміні рівня палива, що запобігає підвищенню тиску або утворення вакууму в баку;
- Наливна горловина, якою паливо надходить безпосередньо у корпус паливного бака. Може бути приварена до паливного бака окремо або у складі наливної труби;
- Вентиляційний ніпель, що забезпечує вихід повітря з бака та обмежує рівень палива;
- Модуль електробензонасоса у зборі, що відповідає за забір палива з бака та подачу його в двигун;
- Паливний фільтр. Може розміщуватись як на самому баку, так і бути вбудованим у насос;
- Паливопроводи. Є полімерними трубками або гумовими шлангами, що з'єднують компоненти бака між собою або з інтерфейсами транспортного засобу;
- Сталеві або пластикові кільця, що фіксують. Застосовуються для збирання та затягування модуля електробензонасоса у зборі;
- Гумові кільця ущільнювачів, службовці для герметизації з'єднань.

У цьому випадку бак складається з наступних компонентів:

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

- Корпус паливного бака з інтегрованою внутрішньою перегородкою;
- Заставне сталеве кільце;
- Наливна горловина;
- Вентиляційний клапан;
- Вентиляційна трубка у зборі з вентиляційним ніпелем;
- Кронштейни кріплення трубки у кількості двох штук.

Зробимо розміщення перелічених вище компонентів у просторі, об'єднавши в складання [8]. У Siemens NX 11.0 робота зі складання здійснюється за допомогою активації спеціального модуля "Складання" (вкладка "Додаток" → "Складання"). Після підключення зазначеного модуля в панелі інструментів активується додаткова вкладка «Складання». Додавання нових компонентів можна виконувати за допомогою команди «Додати» або «Створити новий», додаючи компоненти збирання з числа вже створених, або створюючи новий компонент безпосередньо у файлі збирання. У даному випадку компоненти паливного бака в зборі вже були створені заздалегідь. Модуль «Складання» має й інші команди для роботи з компонентами збирання, наведемо опис деяких з них:

- "Перемістити компонент". Переміщає компонент у збиранні;
- "Масив компонентів". Копіює компонент у вказаний масив;
- "Дзеркальна збірка". Створює відбиту версію повного складання або вибраних компонентів;
- «Рознесені види». Позичіонує і запам'ятовує становищекомпонентів так, щоб створити рознесений вигляд;
- "Редактор геометричних зв'язків WAVE". Копіює геометрію з інших деталей у збиранні в робочу деталь;
- «Аналіз зазорів». Перевіряє зазори і перетину міжкомпонентами складання, що сполучаються.

Вибравши команду «Додати», виберемо з відповідної директорії файл корпусу паливного бака, як компонент, що утворює збірку. Розмістимо його на початок абсолютної системи координат. На рис. 20 представлено вікно додавання компонента збирання з можливістю попереднього перегляду та завдання інших параметрів додавання компонента.

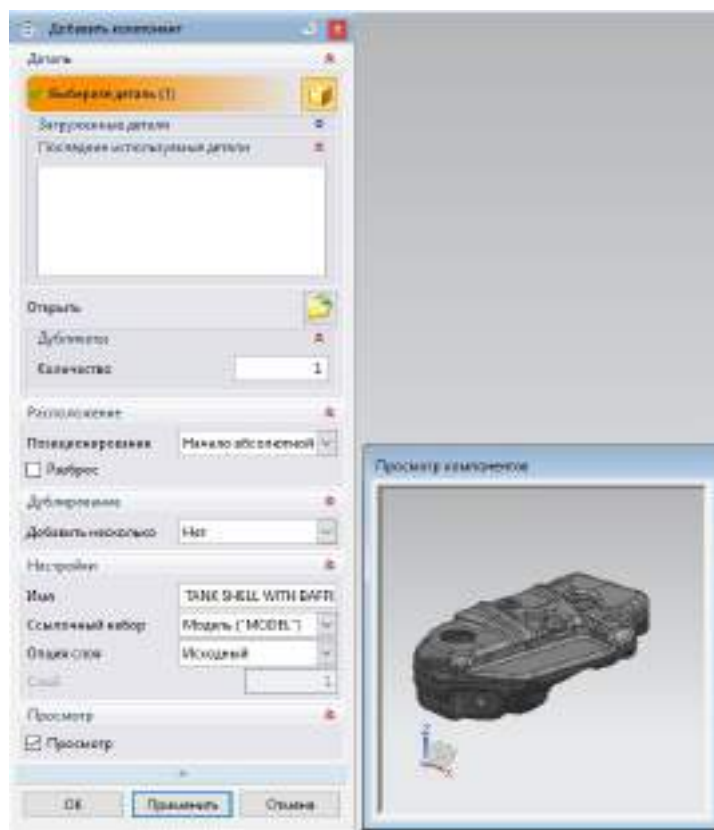


Рисунок 20 – Вікно додавання компонента збирання

Після розміщення у просторі складання основного компонента, зробимо додавання та позиціонування інших компонентів паливного бака у зборі. Позиціонування компонентів найпростіше можна здійснити за допомогою вибору опції «По сполученням» або "Перемістити" поля "Позиціонування" вікна додавання компонента складання (рисунок 21).

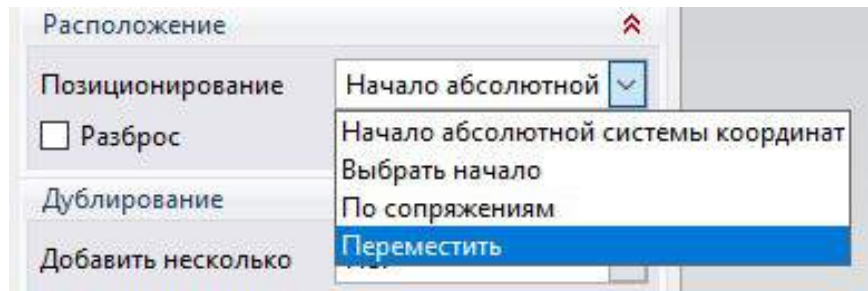


Рисунок 21 – Варианты позиционирования компонентов збирання

При позиціонуванні за допомогою пар, необхідно задавати геометричні обмеження, що накладаються на елементи компонентів, що сполучаються, такі як «Концентричність», «Паралельність», "Перпендикулярність", "Фіксація" і т.д. (Рис. 22).

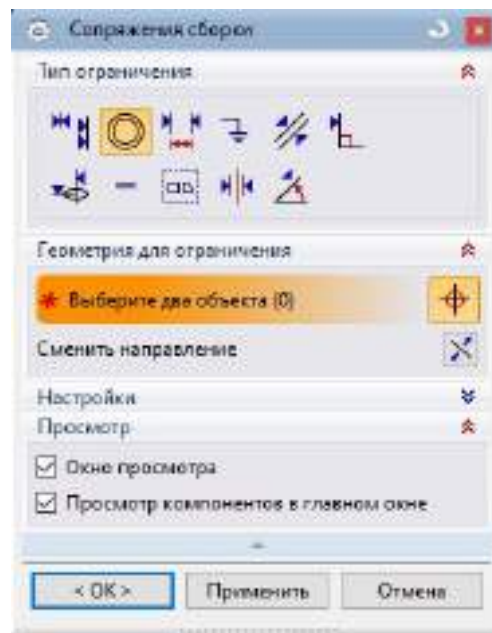


Рисунок 22 – Вікно позиціонування компонентів складання по сполученням

При позиціонуванні переміщенням необхідно встановити положення компонента в просторі використовуючи доступні можливості, такі як динамічне

переміщення, переміщення на задану відстань, поворот на заданий кут, суміщення двох точок, суміщення двох систем координат та інші (рисунок 23).

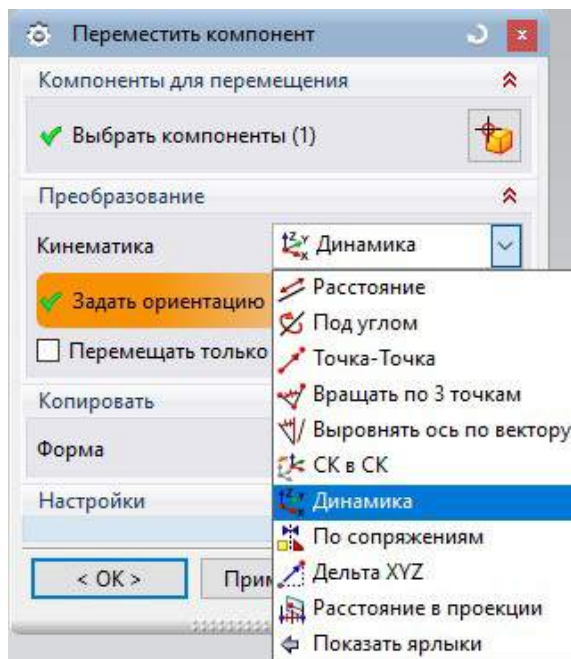


Рисунок 23 – Вікно позиціонування компонентів збирання переміщенням

Позиціонування по поєднанням більш трудомістке, ніж позиціонування переміщенням. Однак має перевагу, що полягає в тому, що при переміщенні будь-якого компонента, що має обмеження та взаємозв'язки, решта всіх компонентів переміщуються разом з ним, не змінюючи свого початкового положення відносно один одного. Або переміщуються, змінюючи своє становище залежно від заданих обмежень.

Для складання з невеликою кількістю компонентів, як у даному випадку, застосуємо позиціонування по переміщенням. Результат формування складання паливного бака представлений рис. 24.

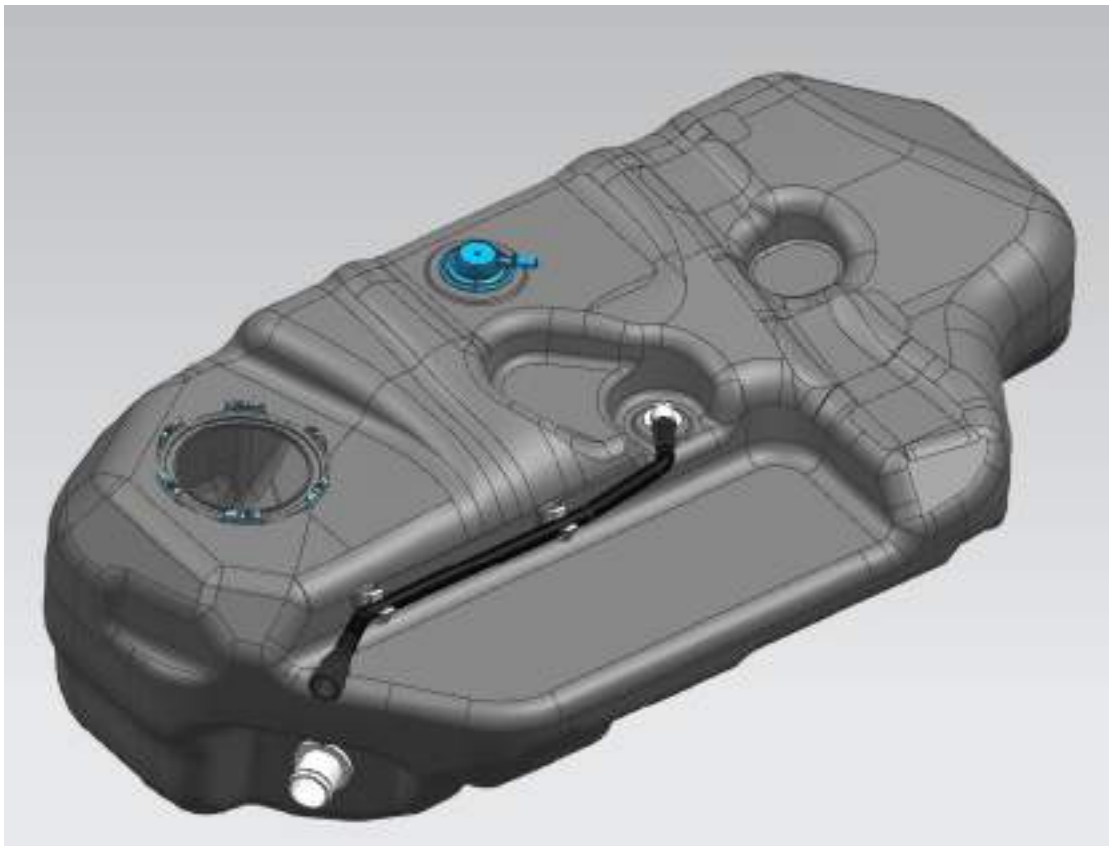


Рисунок 24 – Паливний бак у зборі

2.3 Вдосконалення електронної моделі паливного бака в САПР

Заявленою метою даної є створення методики вдосконалення конструкції корпусів паливних баків, що дозволяє економити сировину, за рахунок виключення зі складу паливного бака внутрішньої перегородки. Так як в даному випадку перегородка виконує не тільки функцію, що обмежує переміщення палива, але і надає конструкції необхідну жорсткість, не дозволяючи корпусу паливного бака надмірно розширюватися або стискатися при впливі тиску всередині бака, при вдосконаленні необхідно врахувати це в першу чергу. Вдосконалимо вихідну 3D модель корпусу паливного бака за рахунок виключення перегородки та введення спеціальної зони змикання матеріалу верхньої та нижньої частин корпусу, яка повинна надати конструкції необхідну

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

жорсткість, а також сприятиме обмеженню надмірного переміщення палива.

Зміна електронної моделі існуючої конструкції Siemens NX 11.0 можна виконати декількома способами, за допомогою інструментів поверхневого [11] і твердотільного моделювання.

Для початку видалимо зі складу 3D моделі внутрішню перегородку, виділивши її в робочій області моделі або в дереві побудови і натиснувши клавішу "Delete". Один із майданчиків розташований приблизно по центру бака щодо осей X та Y (поверхня позначена зеленим кольором, рис. 25), виберемо її для початку внесення змін.

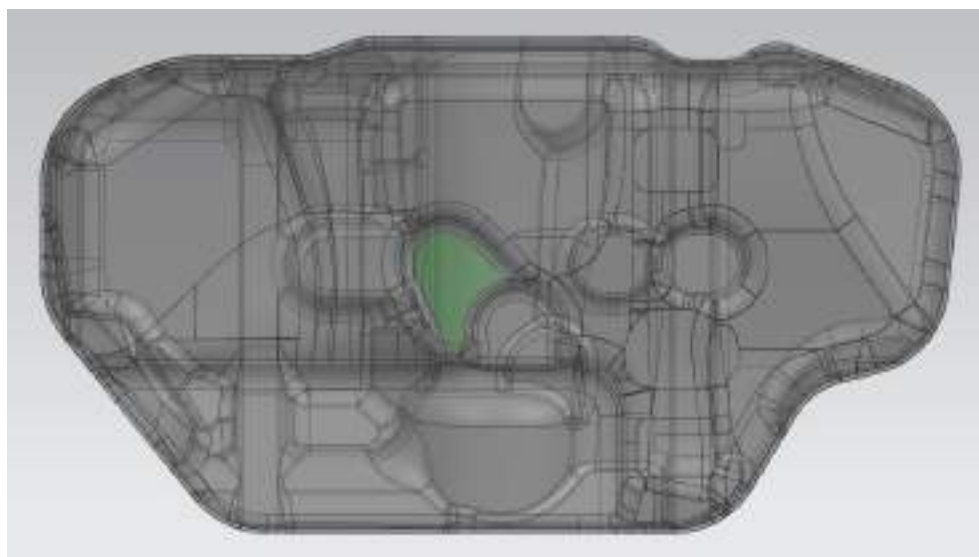


Рисунок 25 – Зона початку зміни моделі корпусу паливного бака

Створимо площину на відстані від обраної в якості стартової поверхні і задамо відстань зсуву таким чином, щоб поверхня розташовувалась приблизно посередині внутрішніх поверхонь бака (рисунок 26).

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

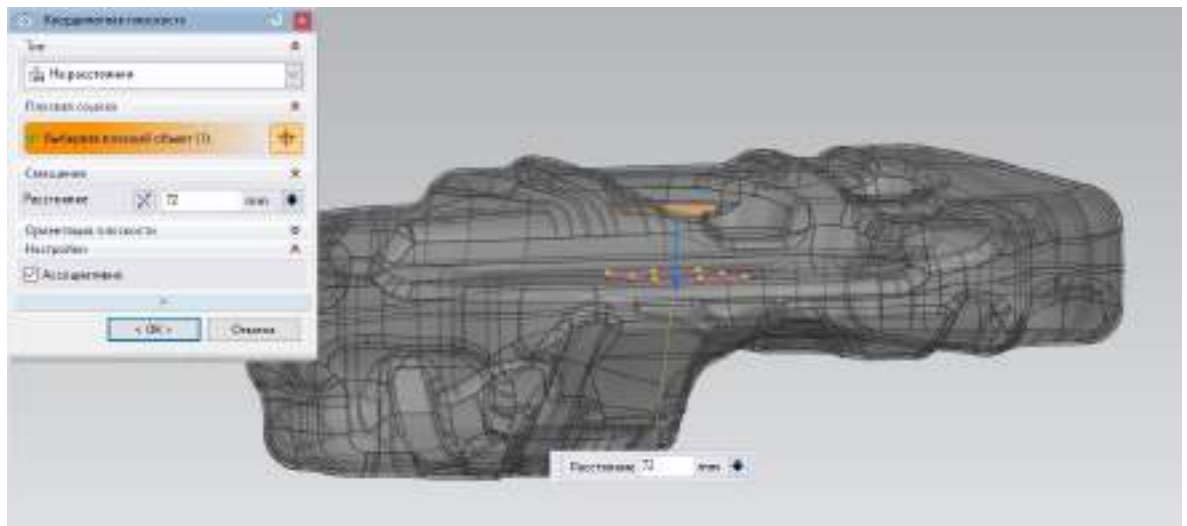


Рисунок 26 – Створення нової площини

Створимо на отриманій площині ескіз, в ескізі накреслимо коло діаметром 40мм, прив'язуючись до центру дуги стартової поверхні. Потім за допомогою команди «Витягування» зробимо витягування даного кола по осі Z і -Z на відстань, що виходить за межі корпусу паливного бака як зверху, так і знизу. Значення початку витягування кожного тіла підберемо таким чином, щоб зазор між двома ними по осі Z становив 3,5 мм (рисунок 27).

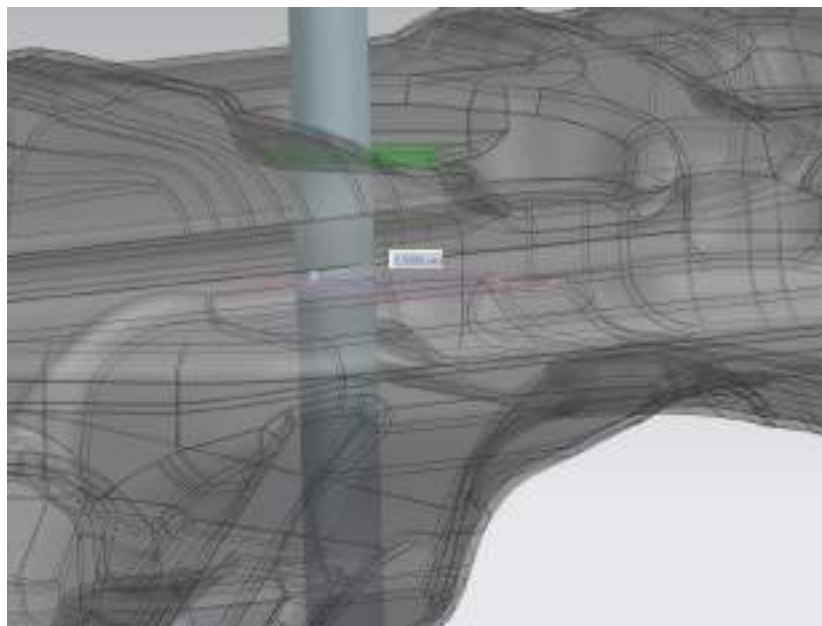


Рисунок 27 – Створення двох тіл витягування із зазором між ними

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

За допомогою команди «Ухил» (Меню → Вставити → Елементи деталі → Ухил) задаємо ухил граней тіл таким чином, щоб збільшення діаметра отриманого в результаті зрізаного конуса йшло у напрямку +Z для верхнього тіла і по Z для нижнього, вибираючи рухомі і нерухомі грані і задаючи значення ухилу (рисунок 28).

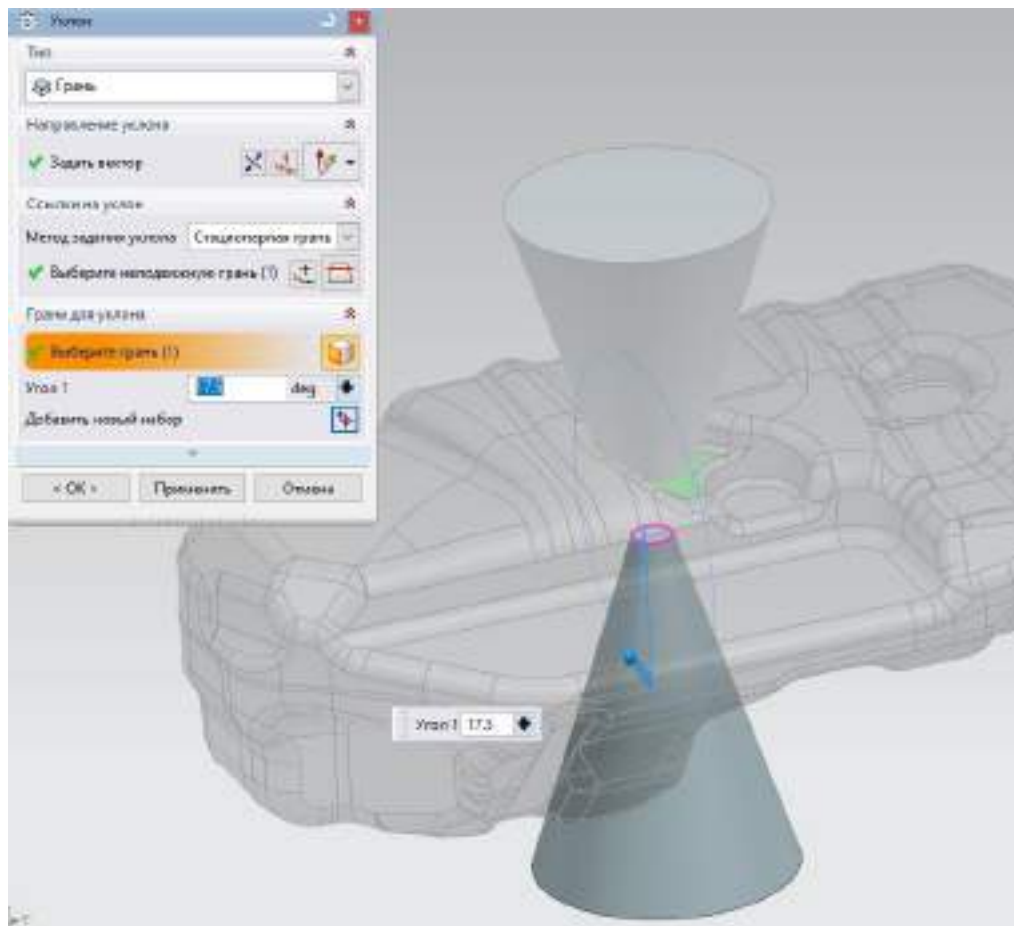


Рисунок 28 – Завдання ухилу граней тіл

Виділимо з отриманих зрізаних конусів зовнішню грань (Меню → Вставити → Асоціативна копія → Виділити геометрію) і змістимо її на величину прийнятої товщини стінки корпусу паливного бака (5 мм) за допомогою команди «Зміщення поверхні». Побудуємо заокруглення двох зміщених поверхонь за допомогою команди «Округлення поверхонь» (Меню → Вставити

→ Елементи деталі → Округлення поверхонь), отримавши таким чином єдине листове тіло (рисунок 29).

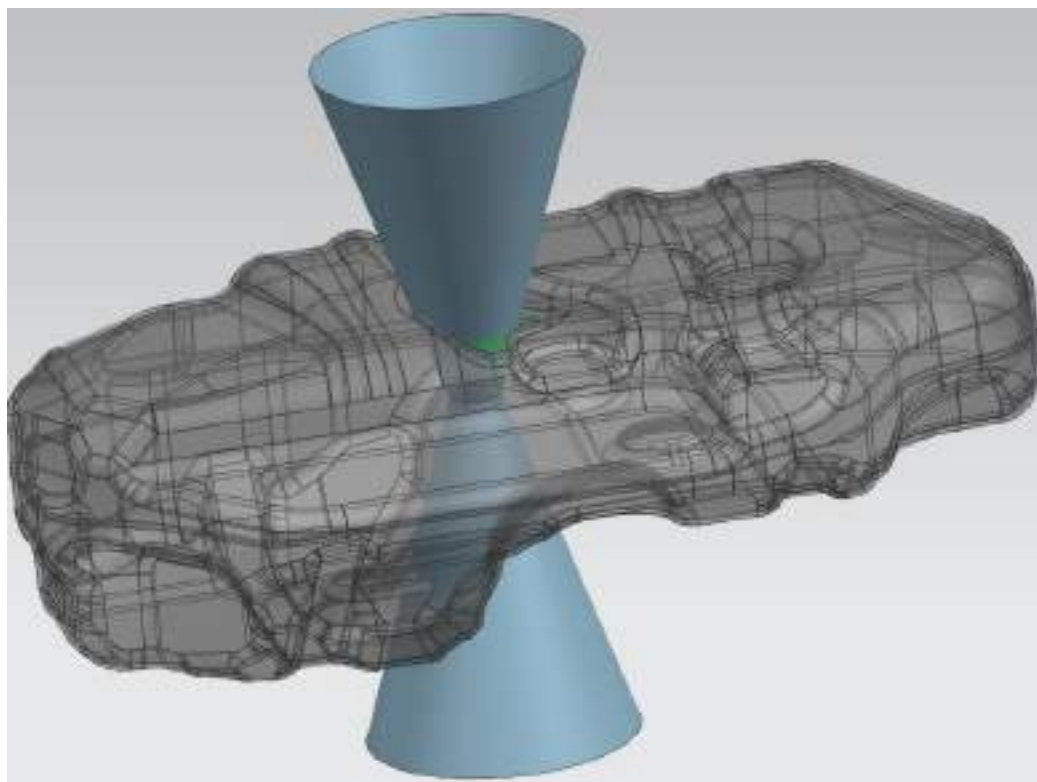


Рисунок 29 – Єдине листове тіло

Надамо товщину отриманого листового тіла на величину прийнятої товщини стінки корпусу паливного бака (5 мм) за допомогою команди "Потовщення", отримавши таким чином чорнове тіло зони змикання. Для подальших операцій обрізки тіл, необхідно отримати допоміжну геометрію. Виділимо прилеглі до потовщеного листового тіла поверхні з корпусу паливного бака за допомогою команди "Виділити геометрію", об'єднаємо їх в єдині листові тіла за допомогою команди "Сшивка" і задамо рожевий колір для наочності (рисунок 30).

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

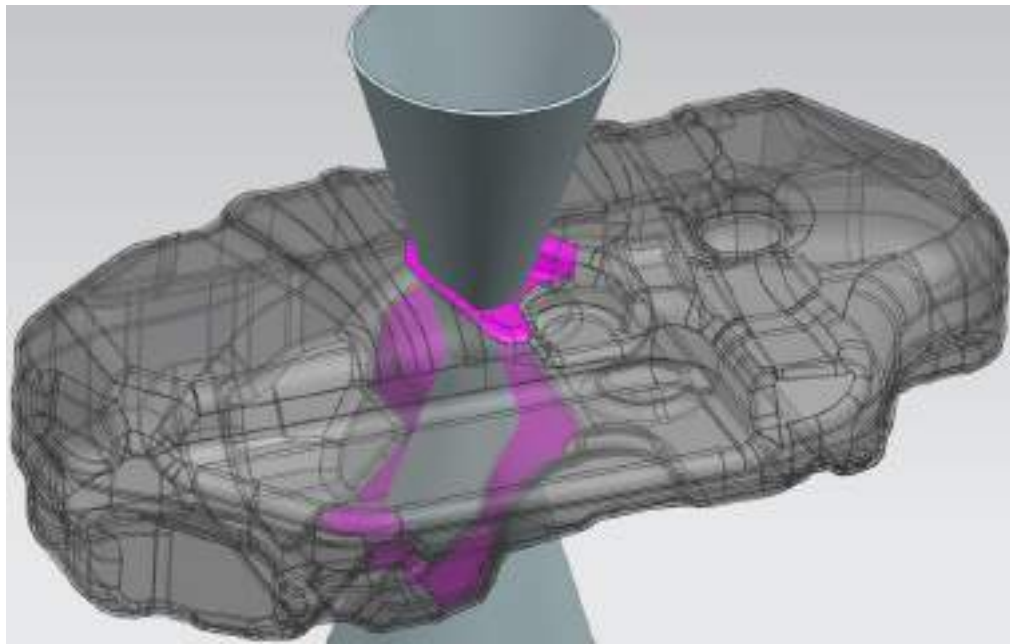


Рисунок 30 – Створення допоміжної геометрії

Обріжемо чорнове тіло зони змикання за допомогою отриманих поверхонь (рисунок 31).

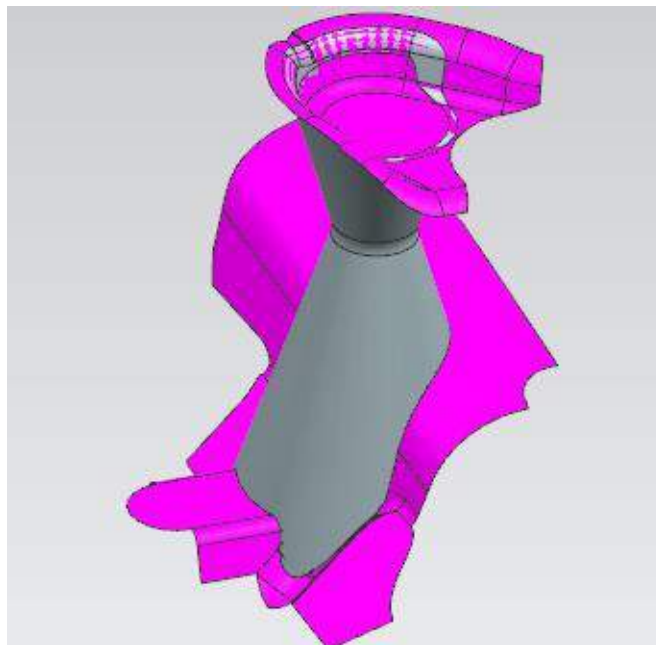


Рисунок 31 – Результат обрізання тіла зони змикання

Обріжемо тіло корпусу паливного бака за допомогою листового тіла, за допомогою потовщення якого було отримано чорнову геометрію зони змикання (рисунок 32).

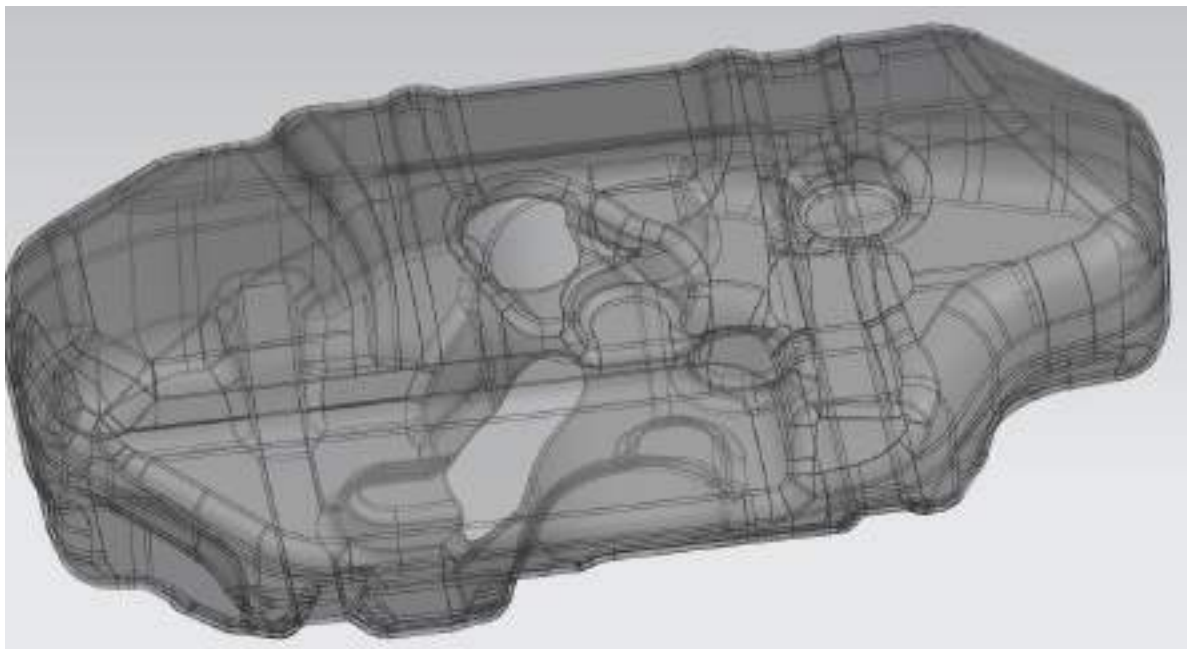


Рисунок 32 – Результат обрізання корпусу паливного бака

Об'єднаємо тіло обрізаного корпусу паливного бака та обрізане тіло зони змикання. Повернувшись до вихідного ескізу, відновимо перемичку зони змикання, товщиною 3,5 мм і поєднаємо з тілом корпусу паливного бака. Після об'єднання всіх тіл, задамо необхідні радіуси заокруглення отриманих в результаті геометричних побудов гострих кутів. Результат удосконалення корпусу паливного бака представлений рис. 33.

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

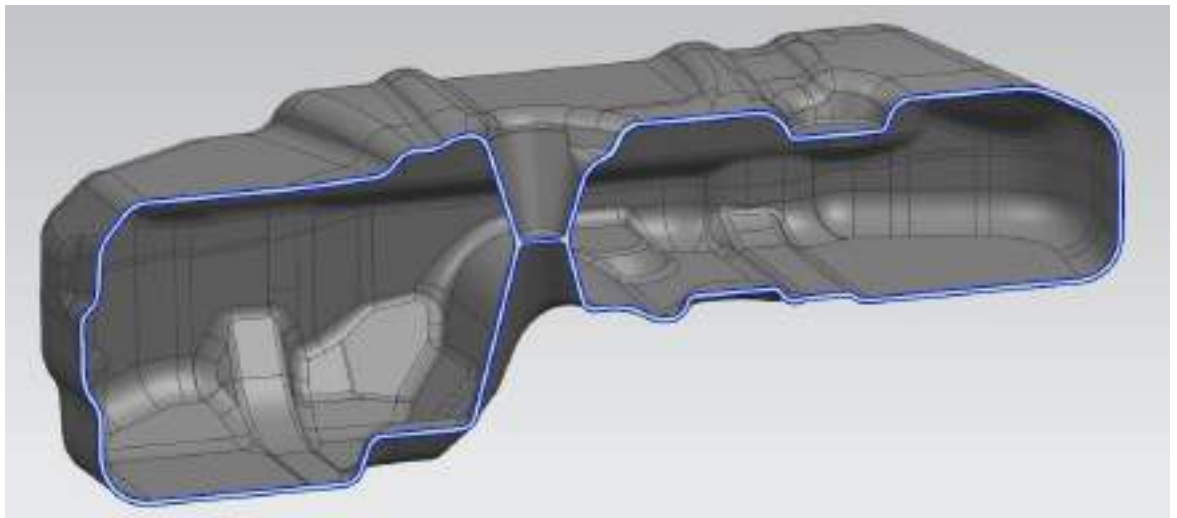


Рисунок 33 – Результат удосконалення корпусу паливного бака – введення зони змикання

Після проведення вдосконалення електронної моделі корпусу паливного бака необхідно провести порівняння мас двох створених варіантів конструкції. Для цього тривимірним моделям корпусів слід надати матеріал, фізико-механічні властивості якого максимально наближені до існуючої марки. В даному випадку для порівняльного аналізу мас було надано створений матеріал HDPE, що має характеристики спеціально розроблених для виробництва паливних баків марок. Детальний процес створення матеріалу розглянуто у наступному розділі. Результати порівняння мас отримані за допомогою інструмента «Вимірювання тіла» (Меню → Аналіз → Вимірювання тіла) та занесені до таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльні дані щодо ваги корпусів паливних баків

	Варіант із перегородкою	Варіант без перегородки
Маса, кг	7,25	6,36

Як видно з таблиці, виняток зі складу корпусу паливного бака

внутрішньої перегородки дозволяє заощадити 0,89 кг поліетилену високої щільності, що є суттєвим значенням (12,3% від ваги корпусу паливного бака, що розглядається).

Висновки:

- Розроблено тривимірні електронні моделі корпусу паливного бака, його внутрішньої перегородки, а також описано процес їх створення;
- Побудовано тривимірне складання паливного бака в зборі, з компонентами, що входять до його складу, і описаний процес їх додавання і позиціонування в складання;
- Зроблено вдосконалення електронної моделі корпусу паливного бака, що полягає у видаленні з конструкції внутрішньої перегородки та впровадження зони змикання натомість, також описаний процес його здійснення. Результатом удосконалення є конструкція корпусу паливного бака, що має на 12,3% меншу вагу, ніж вихідний варіант (із застосуванням внутрішньої перегородки);
- Отримано два варіанти конструкції корпусів паливних баків, що відрізняються наявністю або відсутністю у складі внутрішньої перегородки, придатні для проведення інженерного аналізу та порівняння отриманих результатів.

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

3 Інженерний аналіз характеристик паливного бака в САПР

3.1 Опис методу кінцевих елементів

Метод кінцевих елементів (МКЕ) - це чисельний метод, що використовується для вирішення різноманітних інженерних завдань, пов'язаних з розрахунками напруг, деформацій та теплових полів.

Основна ідея МКЕ полягає у поданні складної структури (наприклад, твердого тіла або деталі конструкції) у вигляді кінцевого числа більш простих підструктур, які називають кінцевими елементами. Ці елементи з'єднані вузлами, і основі рівнянь рівноваги і критеріїв допустимих деформацій будується система лінійних рівнянь, що описує поведінку всієї структури.

Основні етапи методу кінцевих елементів включають [17]:

1. Дискретизація: поділ складної геометрії на кінцеве число найпростіших елементів;
2. Формулювання рівнянь: на основі фізичних законів та критеріїв деформації формулюються рівняння, що описують поведінку кожного елемента;
3. Складання системи рівнянь: рівняння для кожного елемента об'єднуються в загальну систему рівнянь для всієї структури;
4. Застосування граничних умов: враховуються граничні умови, які можуть містити фіксовані точки, прикладені навантаження та інші обмеження;
5. Вирішення системи рівнянь: система лінійних рівнянь вирішується чисельними методами, такими як метод Гауса або метод сполучених градієнтів;
6. Оцінка результатів: після розв'язання системи рівнянь проводиться оцінка отриманих результатів, наприклад аналіз напруг, деформацій, температурних полів і т.д.

Метод кінцевих елементів надає інженерам та дослідникам потужний інструмент для аналізу та проектування складних систем, дозволяючи

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

отримувати чисельні рішення для широкого спектру фізичних проблем.

Основні кроки під час виконання інженерного аналізу з допомогою методу кінцевих елементів у системах CAE – це (рисунок 34) [3]:

- Створення ідеалізованої моделі. Цей етап відповідає переходу від реальної фізичної моделі до зміненої (спрощеної) математичної моделі;
- Створення кінцево-елементної моделі (FEM), якій надаються властивості матеріалів або параметри оболонкових або стрижневих об'єктів;
- Створення розрахункової моделі проводиться на підставі кінцево-елементної моделі. Для неї визначаються кінцеві та початкові умови та умови контактної взаємодії;
- Розв'язання системи роздільних рівнянь, які відповідають обраному типу аналізу з подальшим аналізом отриманих результатів.

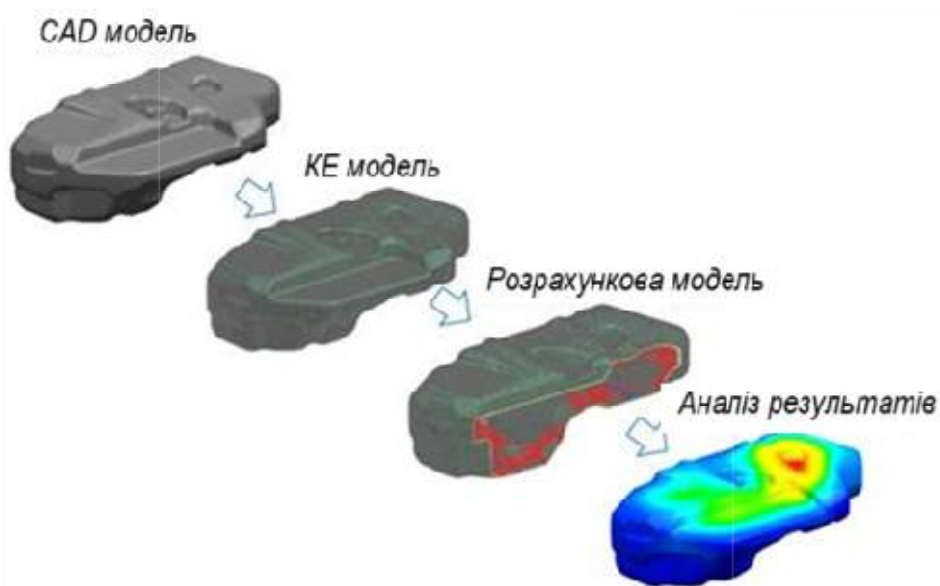


Рисунок 34 – Етапи виконання інженерного аналізу

3.2 Підготовка геометрії електронної моделі для проведення інженерного аналізу

Перед розрахунком необхідно спростити геометрію електронної моделі

[3]. Спрощення геометрії є важливим етапом при виконанні кінцево-елементного аналізу з кількох причин:

– Обчислювальна ефективність: більш проста геометрія спрощує розрахунки, що покращує обчислювальну ефективність. Складні геометричні форми можуть призвести до великої кількості кінцевих елементів, що потребує більше обчислювальних ресурсів;

– Зменшення часу розрахунку: спрощення геометрії може значно скоротити час, необхідний проведення аналізу. Це особливо важливо при виконанні великих та складних моделювань;

– Поліпшення збіжності: прості форми можуть сприяти кращій збіжності чисельних методів, які у конечно- елементном аналізі. Складні форми можуть викликати чисельні проблеми, такі як нестійкість чи повільну збіжність;

– Підвищення точності: іноді спрощення геометрії може покращити точність розв'язання, особливо якщо деякі деталі не суттєві для конкретного аналізу;

– Полегшення побудови кінцево-елементної моделі: проста геометрія може зробити процес побудови кінцево-елементної моделі більш простим і менш трудомістким. Це особливо важливо під час роботи з великими та складними проектами.

Тим не менш, при спрощенні геометрії важливо зберігати суттєві особливості структури, щоб результати аналізу залишалися репрезентативними та застосовними до реальної системи.

Розглянемо спрощення геометрії з прикладу варіанта корпусу паливного бака без внутрішньої перегородки. У даному випадку доцільним є виключення з електронної моделі наступних елементів:

– Наскрізнi отвори, т.к. планованi для проведення симуляційнi випробування у разi реальних зразків можуть проводитися на баках без отворів (рисунок 35, позиція 1);

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

– Підвищення (майданчика), необхідні для коректного приварювання фізичних компонентів до корпусу паливного бака, зважаючи на наявність на них малих радіусів, здатних призвести до подрібнення кінцевої елементної сітки та збільшення часу розрахунку (рисунок 35, позиція 2).

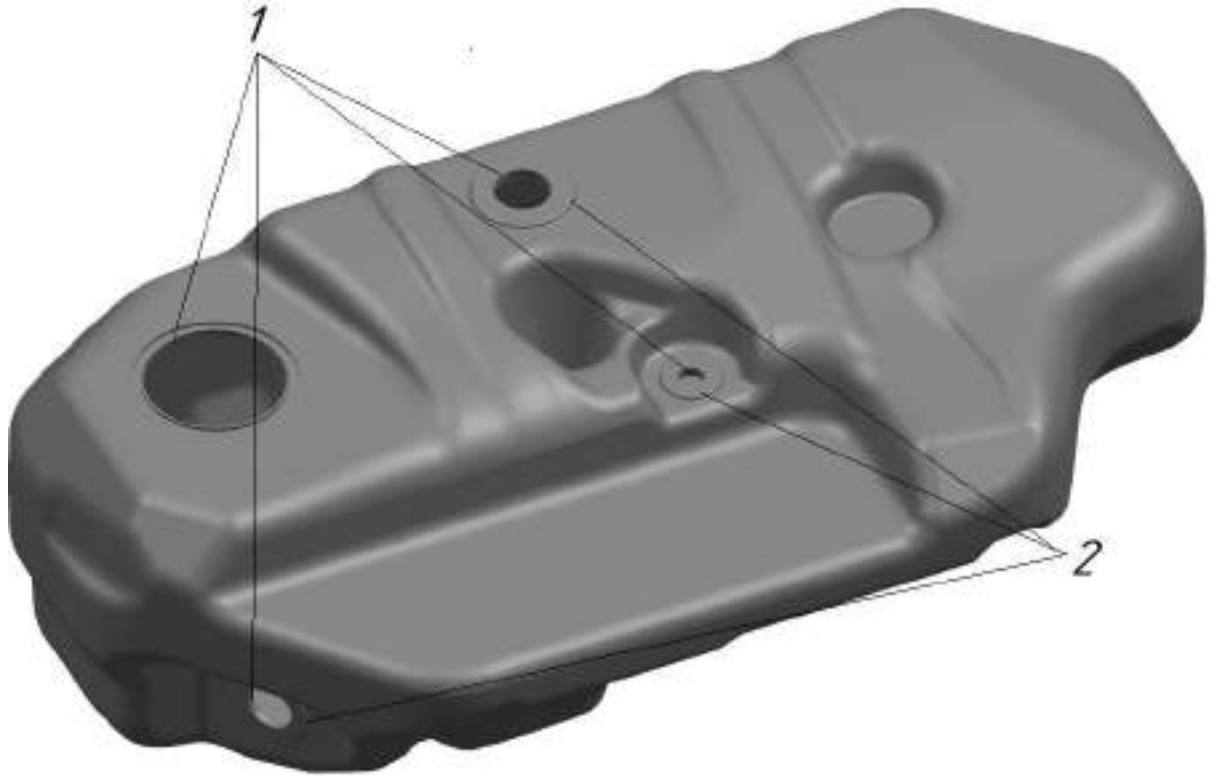


Рисунок 35 – Елементи геометрії, що підлягають виключенню

Для здійснення подібних змін відповідним є інструмент «Видалити грань» [13], доступний як у модулі «Моделювання» Siemens NX, так і в модулі «Розширена симуляція» (Меню → Вставити → Синхронне моделювання → Видалити грань). Корпус паливного бака з вибраними елементами, що підлягають видаленню, показаний рис. 36. Результат спрощення геометрії корпусу паливного бака у варіанті без внутрішньої перегородки показаний рис. 37.



Рисунок 36 – Вибрані елементи за допомогою інструмента «Видалити грань»



Рисунок 37 – Результат спрощення геометрії корпусу паливного бака

3.3 Побудова сітки кінцевих елементів електронної моделі бака

Наступним етапом є розбиття моделі сіткою кінцевих елементів, тобто поділ геометрії на елементи, пов'язані між собою вузлами.

Модуль «Розширена симуляція» дозволяє автоматично створювати:

- одинірні (1D) стрижневі елементи на ребрах та лініях;
- двомірні (2D) оболонкові елементи на гранях та поверхнях;
- тривимірні (3D) об'ємні елементи [12].

3D-тетраедральну сітку рекомендується використовувати для об'єктів, що мають складну геометричну форму. Використовують тетраедральні елементи першого (СТЕТРА(4)) та другого (СТЕТРА(10)) порядку, що містять 4 та 10 вузлів відповідно (рисунок 38) [17] [25].

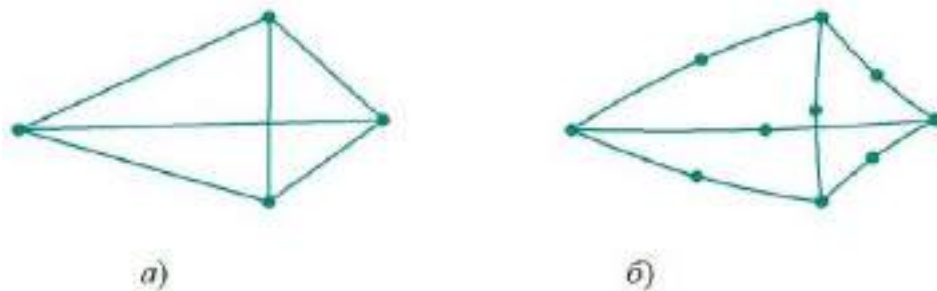


Рисунок 38 – Тетраедральні елементи першого (СТЕТРА(4)) (а) та другого (СТЕТРА(10)) (б) порядку

Перейти до модуля «Розширена симуляція» можна через меню Файл → Усі програми → Пре/постпроцесор. Після цього запуститься інтерфейс, що містить інструменти для спрощення геометрії, зібрані в одному робочому просторі, такі як інструменти синхронного моделювання, інструмент виділення серединної поверхні, інструменти об'єднання та поділу тіл та граней та інші (рисунок 39).

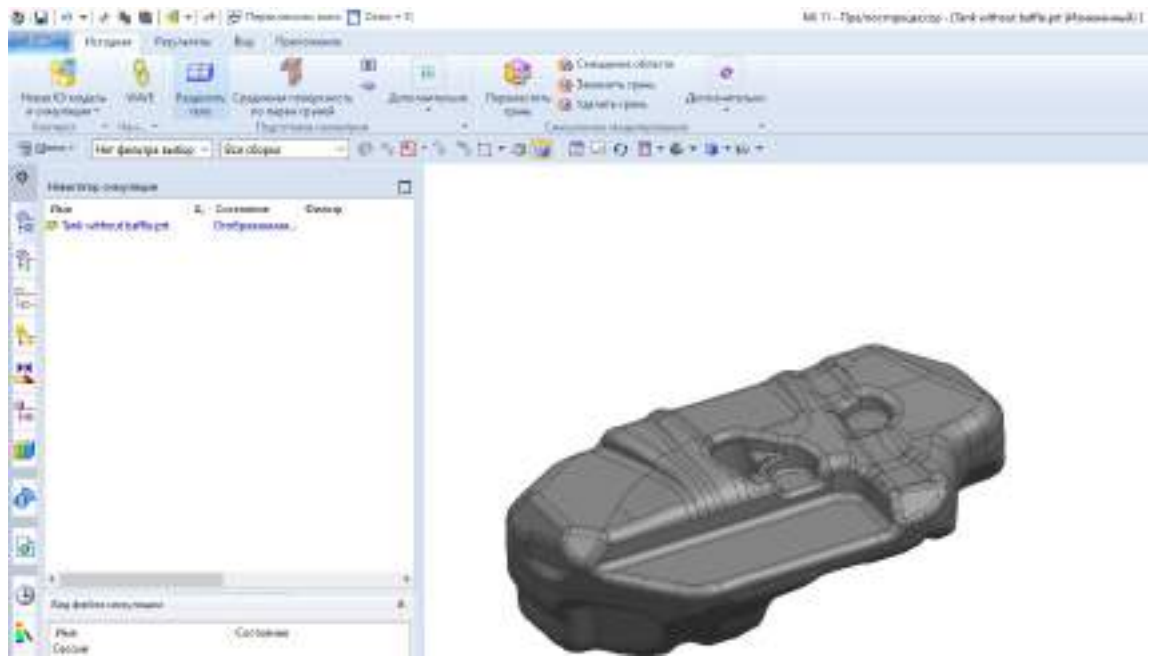


Рисунок 39 – Інтерфейс, що містить інструменти спрощення геометрії

У нашому випадку спрощення геометрії вже було здійснено на попередньому кроці, у модулі «Моделювання», тому можна перейти до наступного етапу – безпосередньо створення сітки кінцевих елементів. Для цього необхідно вибрати розділ "Нова KE модель та симуляція".

У вікні, що з'явилось, необхідно з CAD моделі вибрати тіла, необхідні для розрахунку. Якщо 3D модель була раніше відкрита, можна відразу приступити до вибору. Якщо ні – спочатку вказати місце розташування необхідної моделі натисканням кнопки «Відкрити» у розділі «Деталь CAD». Для вибору лише потрібної геометрії найзручніше користуватися методом «Вибрати» у розділі «Тіла», однак можливості модуля дозволяють здійснювати вибір усіх деталей, що містяться в моделі, тільки всіх видимих або лише певних типів геометрії, попередньо налаштувавши фільтр.

Після підтвердження вибору геометрії відкриється вікно вибору необхідного вирішувача. Можна задати необхідний решатель, якщо заздалегідь відомий вид симуляції, що планується, або натисканням кнопки «Скасувати»

відхилити вибір решателя, задаючи його на наступному етапі. Вчинимо таким чином. вікно розділу створення кінцево-елементної сітки, що відкрилося, показано на рис. 40.

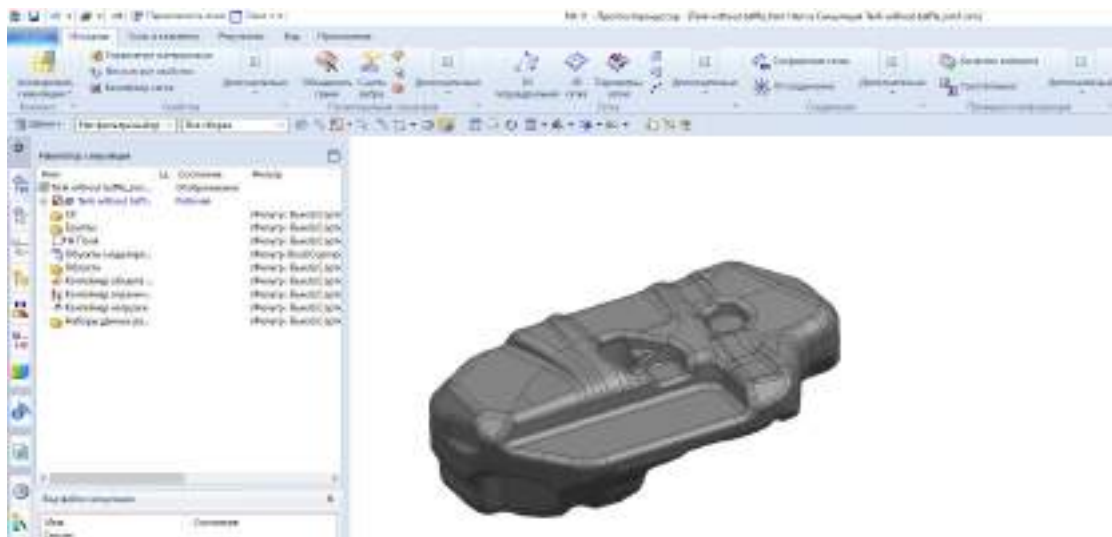


Рисунок 40 – Розділ створення кінцево-елементної сітки

Наступним етапом необхідно безпосередньо побудувати сітку. Після натискання кнопки «3D тетрадральна», у вікні виберемо тіло, тип сітки і розмір елемента. Задамо тип сітки STETRA(4), зважаючи на те, що для деталі складної просторової форми великого розміру застосування типу STETRA(10), здатного більш точно описати криволінійні поверхні, призведе до кратно більшого часу, витраченого на побудову сітки, а також до необхідності використання графічної станції з значно більшими обчислювальними потужностями. Враховуючи також те, що в даній роботі передбачається перевірка запропонованого варіанта конструкції порівняно з наявним, застосування типу сітки STETRA(10) не є доцільним. Розмір елемента може бути заданий автоматично шляхом вибору відповідної функції. Задамо розміри кінцевих елементів виходячи з того, що максимальний розмір елемента не може перевищувати характерний мінімальний мінімальний геометричний розмір досліджуваного тіла [14]. Інші параметри

залишимо за замовчуванням. Після створення сітки її необхідно перевірити наявність помилок за допомогою функції «Якість елемента». Ця команда перевіряє геометричну форму кінцевих елементів. За наявності великої кількості попереджень щодо загальної кількості елементів за результатами перевірки, рекомендується перебудувати сітку, змінюючи розмір елемента, налаштування сітки та опції абстракції моделі для досягнення найкращого з можливих результатів перевірок. Попередження про невідповідність деяких елементів у більшості випадків не є критичними для проведення розрахунку, однак можуть вплинути на якість та достовірність результату. На рис. 41 показана кінцево-елементна сітка, побудована на корпусі паливного бака.

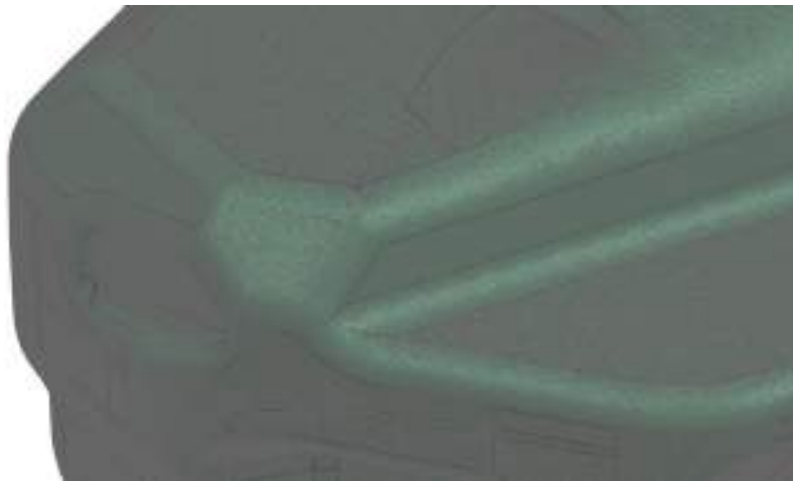


Рисунок 41 – Звичайно-елементна сітка на корпусі паливного бака

3.4 Моделювання матеріалу для кінцево-елементної моделі

Для аналізу поведінки конструкції на основі методу кінцевих елементів необхідно на етапі створення FEM-моделі задати фізико-механічні властивості матеріалів. Зробити це можна або заздалегідь надавши деталі матеріал у модулі «Моделювання», або в модулі "Розширена симуляція", задавши матеріал у колекторі, що містить кінцево-елементну сітку. У бібліотеці матеріалів NX

міститься велика кількість матеріалів, включаючи метали, пластики та рідини. У випадку, якщо представлених матеріалів недостатньо, є можливість додавання до бібліотеки самостійно створеного матеріалу, взявши за основу вже подібний матеріал або створюючи матеріал з нуля.

У цьому випадку потрібно створити марку поліетилену високої щільності (HDPE) з характеристиками спеціально розроблених для виробництва паливних баків марок. Для цього відкриємо бібліотеку матеріалів (Меню → Інструменти → Матеріали → Управління матеріалами), виберемо максимально схожий матеріал (Polyethylene). Потім, натиснувши правою клавішею мишки, виберемо пункт «Копіювати». Відкриється вікно виправлення властивостей матеріалу, в якому на всіх вкладках необхідно задати основні властивості, зазначені в специфікації виробника реального матеріалу (таблиця 2). Не зазначені у специфікації параметри будуть успадковані від стандартного матеріалу бібліотеки матеріалів, взятих за основу (рис. 42).

Таблиця 2 - Основні властивості матеріалу для розрахунку

Властивість	Значення
Показник плинності розплаву	6.0 г/10 хв
Щільність	0.947 г/см ³
Межа плинності при розтягуванні	20 МПа
Міцність під час розриву	24 МПа
Відносне подовження при розриві	500%
Модуль пружності при згинанні	800 МПа
Ударна в'язкість по Шарпі	9.0 кДж/м ²
Стійкість до розтріскування	1000 год

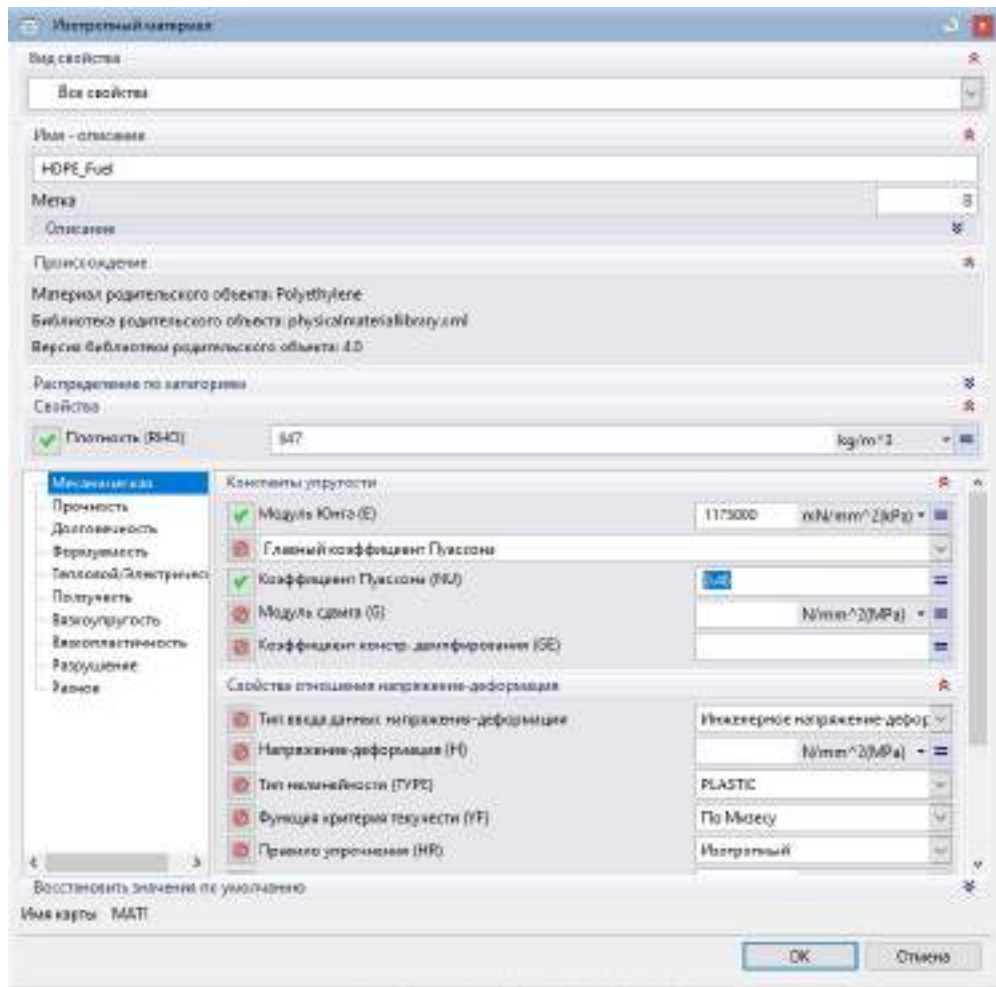


Рисунок 42 – Вікно створення та редагування матеріалу

Створений матеріал доступний у вкладці «Локальні матеріали». При необхідності, створений матеріал можна експортувати (Меню → Інструменти → Матеріали → Управління бібліотекою матеріалів → Експорт матеріалів до бібліотеки (правою кнопкою миші)) та використовувати при розрахунках надалі, переміщуючи *.xml-файл до іншої папки або переносячи на іншу графічну станцію .

Потім створений матеріал присвоїмо побудованій раніше кінцево-елементної моделі корпусу паливного бака. Для цього у розділі «3D Колектори» правою кнопкою миші натиснемо на створений за замовчуванням колектор Solid(1), що містить у собі побудовану сітку, та виберемо пункт "Змінити"

(рисунок 43). У вікні необхідно вибрати іконку у формі гайкового ключа, у вікні, що відкрилося, вибрати матеріал у правій частині рядка «Матеріал», натиснувши розташовану праворуч іконку (рисунок 44). У вікні бібліотеки матеріалів, що відкрилося, перейти на вкладку «Локальні матеріали», вибрати створений і підтвердити кілька разів послідовно натиснувши ОК у відкритих раніше вікнах.

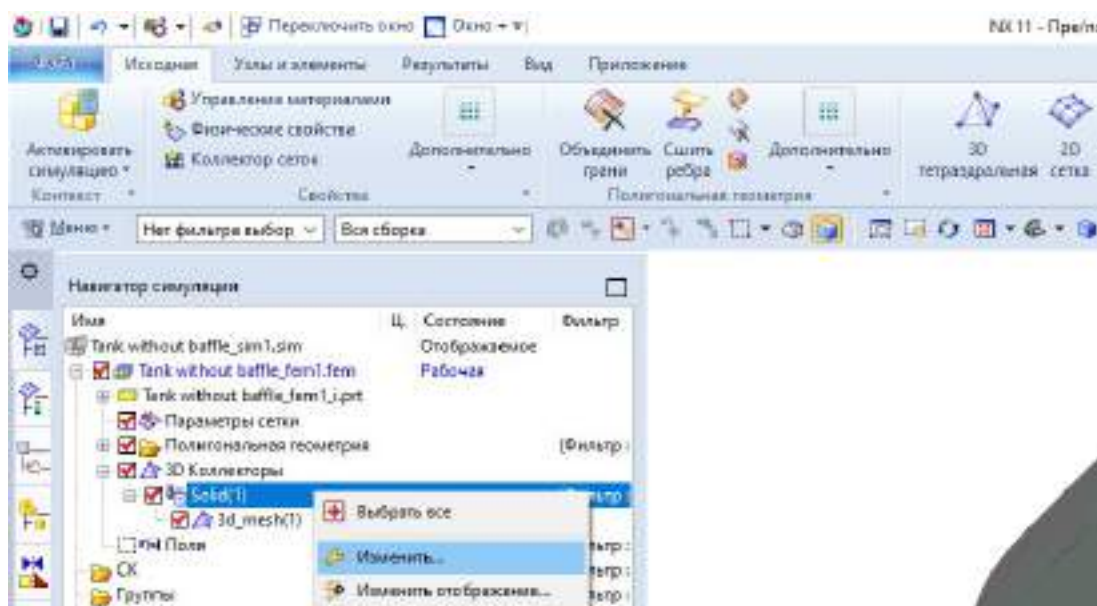


Рисунок 43 – Присвоєння матеріалу кінцево-елементної сітки

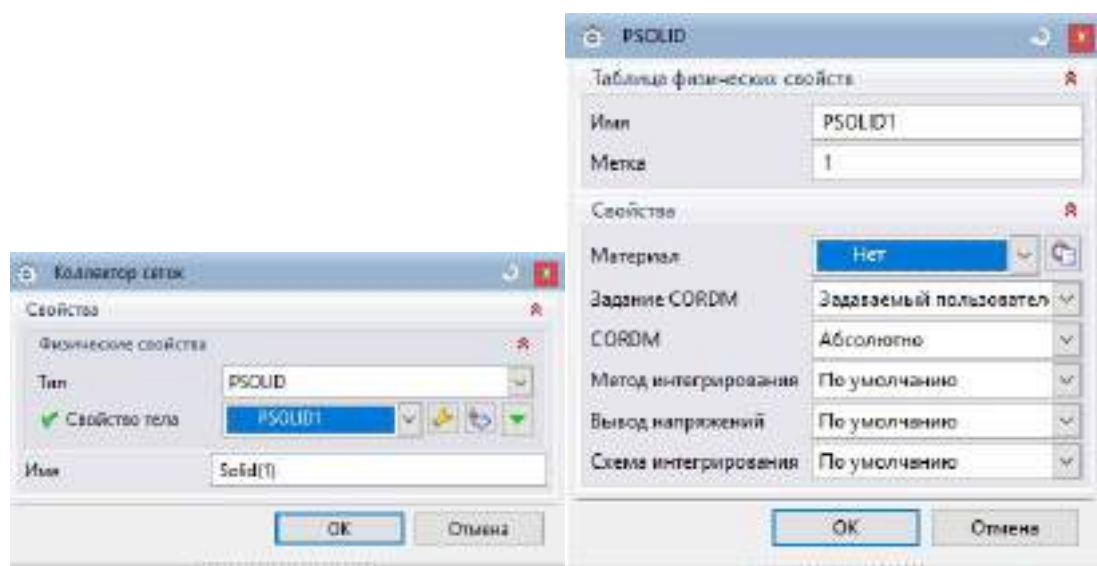


Рисунок 44 – Присвоєння матеріалу кінцево-елементній сітці

Після завдання перерахованих вище параметрів процес створення кінцево-елементної моделі можна вважати завершеним. Можна переходити до створення розрахункової кінцево-елементної моделі.

3.5 Створення розрахунковий моделі для симуляції надлишкового тиску в баку

Випробування надлишковим тиском є базовим випробуванням, якому піддаються усі вироблені паливні баки. У разі проведення випробування на виробничій лінії підприємства тиск подається всередину бака в зборі через один з патрубків на короткий період (15-30 секунд). Метою є визначення герметичності паливного бака, зануреного у ємність із водою. У дещо відмінному вигляді цей тест включений до методик випробувань згідно з ДСТУ, заснованого на Правилі ЄЕК ООН № 34 (Єдині приписи щодо офіційного затвердження транспортних засобів щодо запобігання небезпеці виникнення пожежі) [23]. Задовільним є результат, у якому немає ні розриву корпусу, ні витоку, проте допускаються залишкові деформації бака.

Завданням відтворення випробування за допомогою симуляції є визначення та порівняння деформацій двох варіантів корпусів паливних баків, а також напруги, що виникають у них внаслідок застосування надлишкового тиску до стінок корпусу паливного бака зсередини.

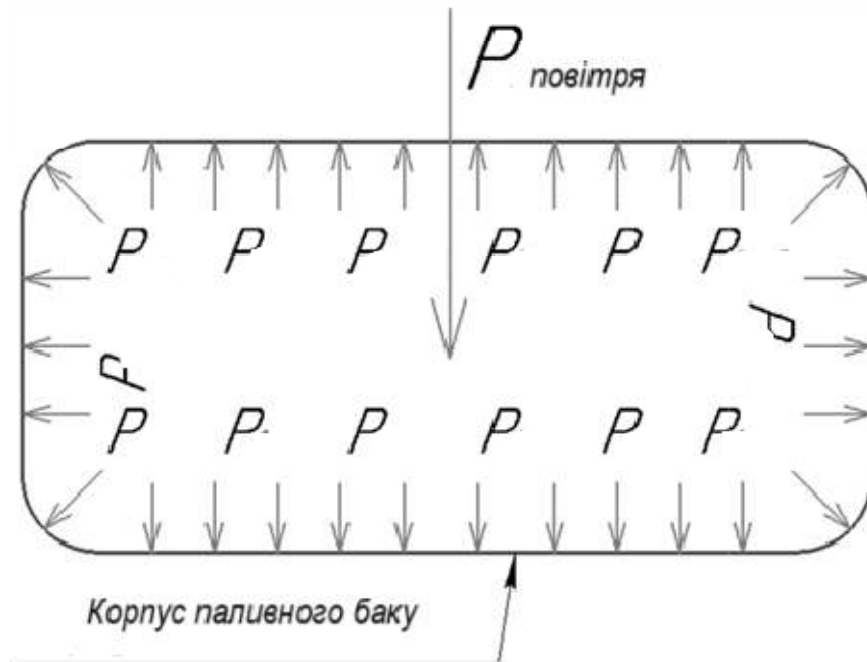


Рисунок 45 – Схема застосування навантажень при випробуванні надлишковим тиском

Для переходу до створення розрахункової моделі потрібно увійти в режим симуляції, натиснувши в лівому верхньому куті кнопку "Активувати симуляцію" [9]. Якщо раніше вікно вибору необхідного вирішувача було відхилено, необхідно вибрати верхній рядок (.sim-файл) у дереві "Навігатора симуляції" і клацнути по ній правою кнопкою миші. Серед варіантів, що з'явилися, вибрати «Нове рішення». Потім послідовно вибрати вирішувач, тип аналізу і тип рішення, залежно від виду випробування, що симулюється. У аналізованому випробуванні параметри, виставлені за умовчанням (тип аналізу – структурний, тип рішення – SOL 101 [4]), задовольняють симуляції. Вікно вибору параметрів решателя показано рис. 46.

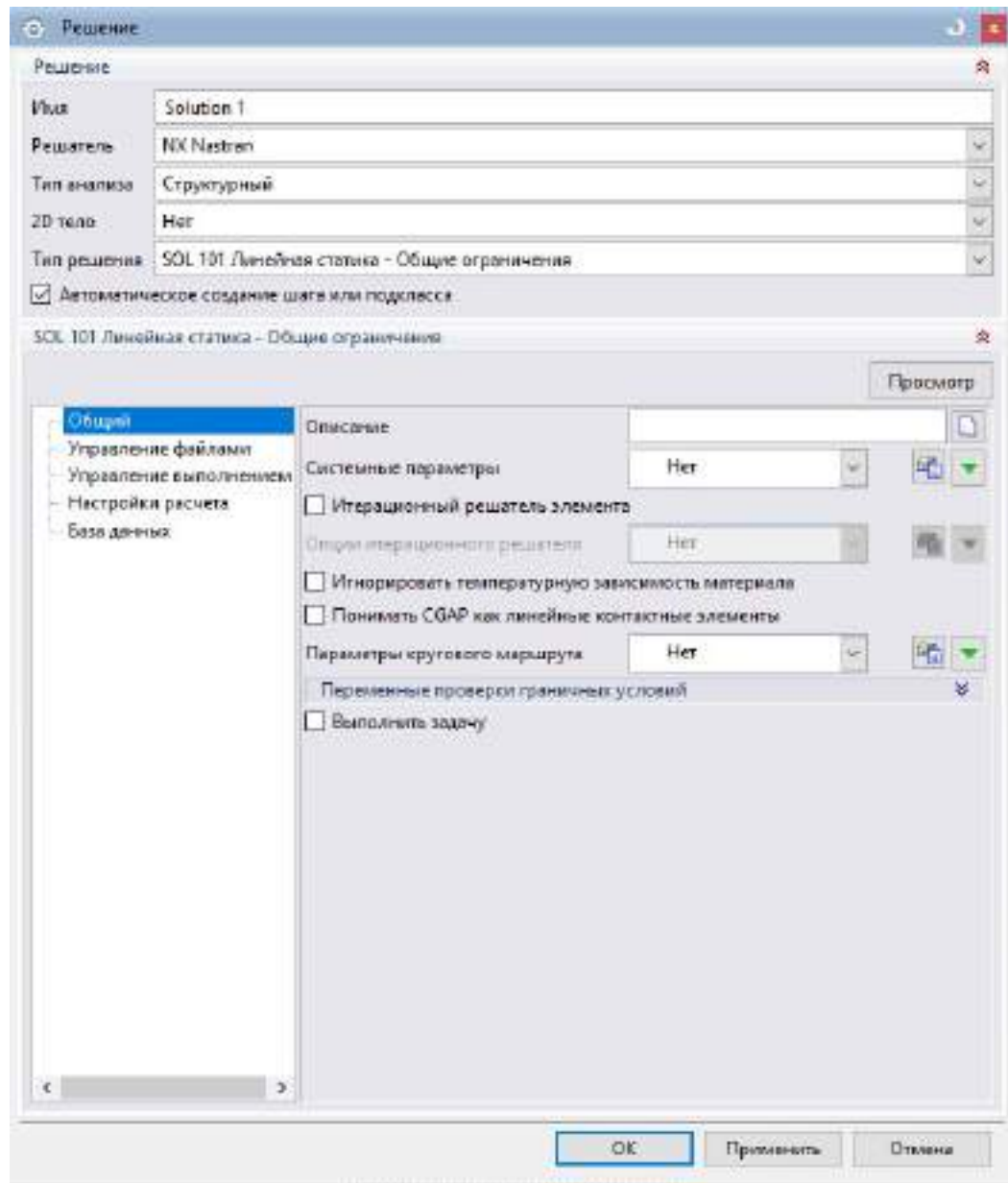


Рисунок 46 – Вікно вибору параметрів вирішувача

Після підтвердження вибору параметрів у дереві «Навігатора симуляції» з'явиться гілка з найменуванням Solution 1, заданим за умовчанням. У цій галузі безпосередньо задаються обмеження та навантаження, необхідні для створення розрахункової моделі. Для симуляції надлишкового тиску всередині корпусу бака задаємо наступні навантаження:

- Сила тяжіння (Навігатор симуляції → Solution 1 →

Навантаження (права кнопка миші) → Нове навантаження → Сила тяжіння). Це навантаження застосовується до всієї розрахункової моделі, вибір тіл або зон застосування навантаження не потрібний. Значення навантаження є константою, здебільшого не потребує коригування. Як вектор необхідно вказати напрямок по осі Z (рисунок 47);

– Тиск (Навігатор симуляції → Solution 1 → Навантаження (права кнопка миші) → Нове навантаження → Розподіл тиску). Необхідно застосувати даний вид навантаження тільки до внутрішніх областей корпусу паливного бака, що неможливо виконати без застосування операції перерізу через те, що в процесі спрощення моделі для розрахунку були зашиті всі отвори, що є в корпусі бака. Для виконання цієї операції необхідно викликати вікно завдання параметрів тиску та, не закриваючи його, викликати інструмент «Змінити перетин» (Меню → Вид → Перетин → Змінити перетин або натиснувши клавіші Ctrl + H). У вікні необхідно розсікти бак, переміщуючи маніпулятор у вигляді системи координат по осі X, Y або Z таким чином, щоб стали видима внутрішня поверхня бака. Після цього підтвердити вибір натисканням кнопки «ОК». Далі у фільтрі вибору виставити «Дотичні грані» і вказати одну з внутрішніх граней корпусу бака. Переконавшись, що відбувся вибір усіх граней, задати значення тиску. У даному випадку задано 30 кПа, що є широко використовуваним значенням при випробуваннях реальних паливних баків (рис. 48).

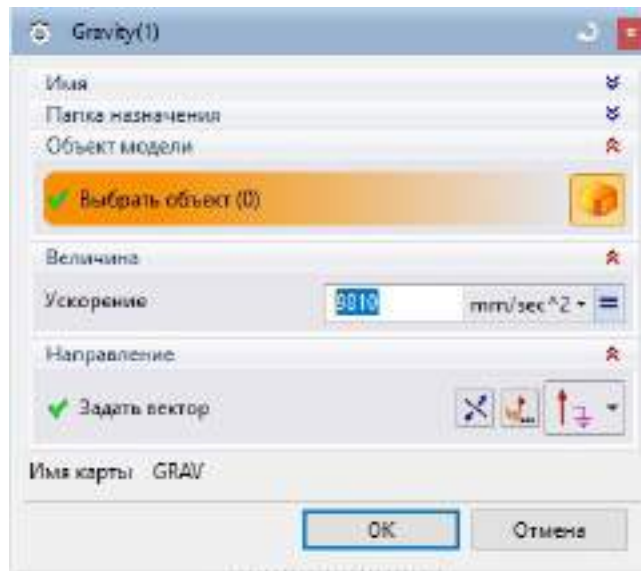


Рисунок 47 – Вікно завдання параметрів сили тяжіння

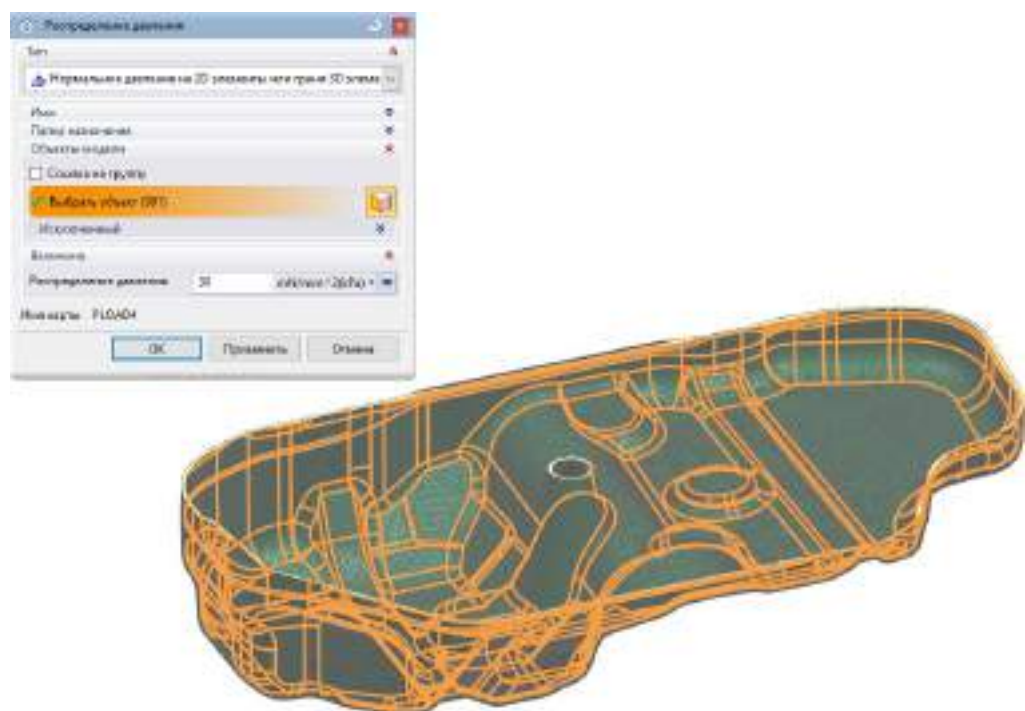


Рисунок 48 – Вікно завдання параметрів та зони застосування тиску

Після завдання навантажень необхідно також визначити обмеження. У даному випадку задаємо фіксованими поверхні корпусу паливного бака, спроектовані для закріплення паливного бака до кузова автомобіля за

допомогою кріпильних стрічок (Навігатор симуляції → Solution 1 → Обмеження (права кнопка миші) → Нове обмеження → Фіксоване обмеження). У вікні необхідно вказати поверхні обмеження (позначено червоним кольором на рис. 49). Підсумкова розрахункова модель показана рис. 50. Виконаємо аналогічні дії іншого варіанту конструкції паливного бака.

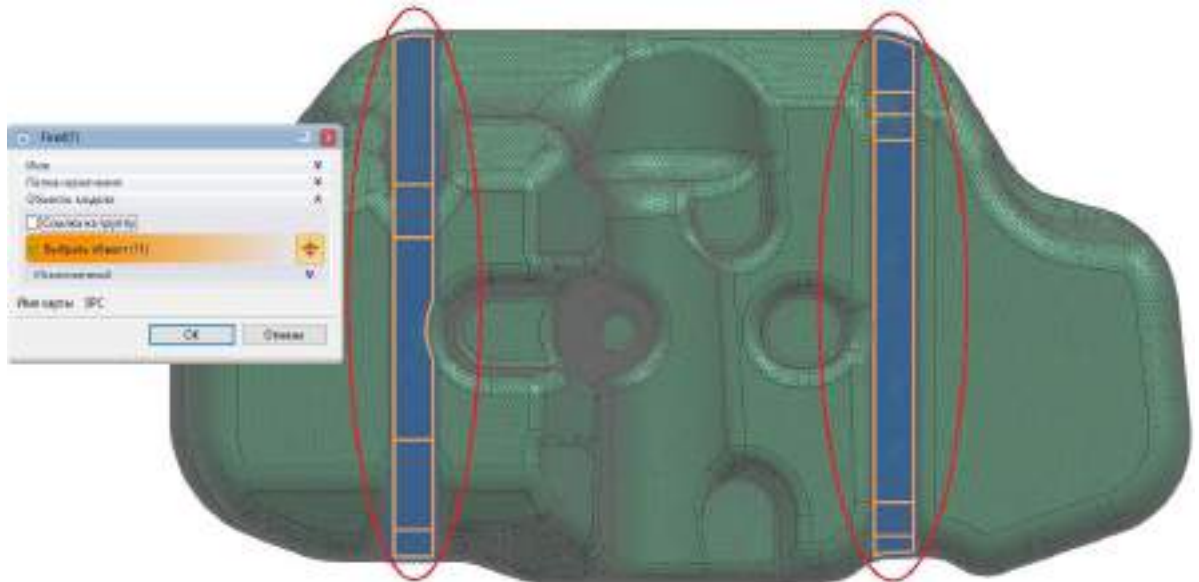


Рисунок 49 – Вікно завдання фіксованого обмеження

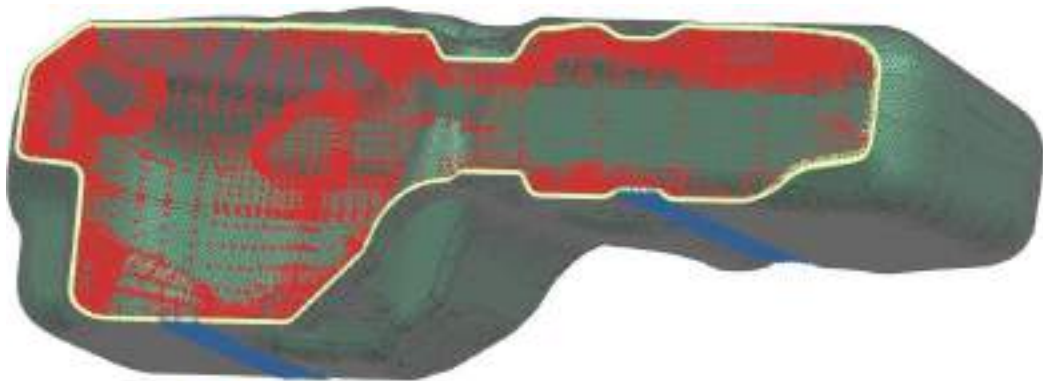


Рисунок 50 – Розрахункова модель корпусу паливного бака для симуляції надлишкового тиску у баку

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ

Арк.

64

Наступним кроком потрібно запустити процес розрахунку. Для цього необхідно в дереві Навігатора симуляції правою кнопкою миші натиснути на Solution 1, вибравши варіант "Рішити". У вікні, що з'явилося, натиснути «ОК». Після початку розрахунку з'являться кілька додаткових вікон, що містять інформацію про можливі помилки та попередження, а також вікно вирішувача (рис. 51) [16].



Рисунок 51 – Вікно вирішувача

Час розрахунку залежить від обчислювальних потужностей конкретної графічної станції, кількості, розміру та типу кінцевих елементів, а також кількості та виду заданих обмежень та навантажень. Про закінчення розрахунку свідчить відповідне повідомлення у інформаційному вікні. Після закінчення розрахунку, для аналізу результатів необхідно перейти у вікно постпроцесора (Навігатор симуляції → Solution 1 → Результати → Structural (подвійний клік лівою кнопкою миші)).

3.6 Створення розрахункової моделі для симуляції гідравлічного випробування бака

Гідравлічне випробування включено до методик випробувань згідно з ДСТУ, заснованого на Правилі ЄЕК ООН № 34 (Єдині приписи щодо офіційного затвердження транспортних засобів щодо запобігання небезпеці виникнення пожежі [23]). тиску (щонайменше 30 кПа). Задовільним є результат, у якому немає ні розриву корпусу, ні витоків, проте допускаються залишкові деформації бака.

Завданням відтворення випробування за допомогою симуляції є визначення та порівняння деформацій двох варіантів корпусів паливних баків, а також напруги, що виникають в них внаслідок застосування надлишкового тиску рідини до стінок корпусу паливного бака зсередини. Схема застосування навантажень показана малюнку 52.

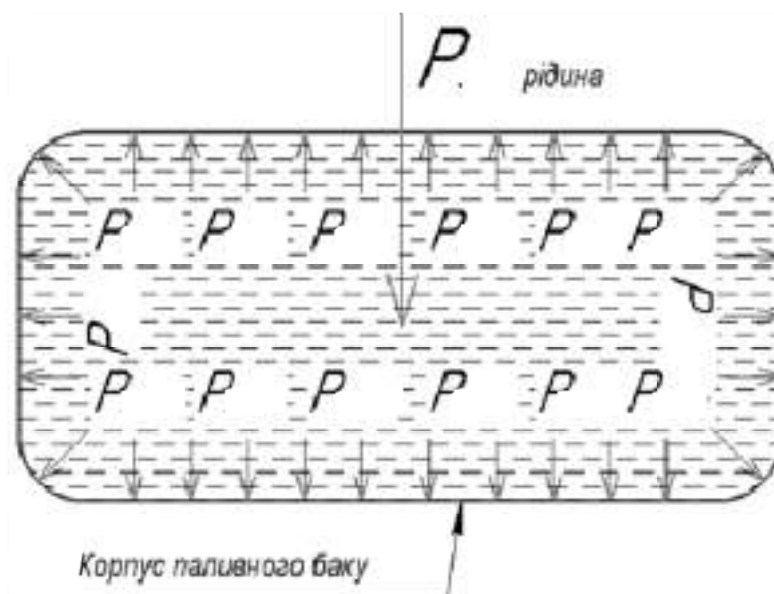


Рисунок 52 – Схема застосування навантажень при гідравлічному випробуванні

Параметри решателя задаються аналогічно п.5. Додані навантаження:

- Сила важкості. Порядок застосування та параметри задаються аналогічно описаним у п.3.5;
- Тиск рідини (Навігатор симуляції → Solution 1 → Навантаження (права кнопка миші) → Нове навантаження → Гідростатичний тиск). Необхідно застосувати цей вид навантаження тільки до внутрішніх областей корпусу паливного бака, порядок вибору граней за допомогою перерізу описаний у п.3.5. Також необхідно вказати вектор застосування тиску та точку застосування. Вкажемо ідентичну точку для обох варіантів конструкції в нижній зоні паливного бака, що відповідає зоні, що використовується в реальному випробуванні. Щільність рідини залишимо за умовчанням (1000 кг/м³), як і параметр постійної гравітаційної (9,81м/с²). Тиск також 30 кПа (рисунок 53).

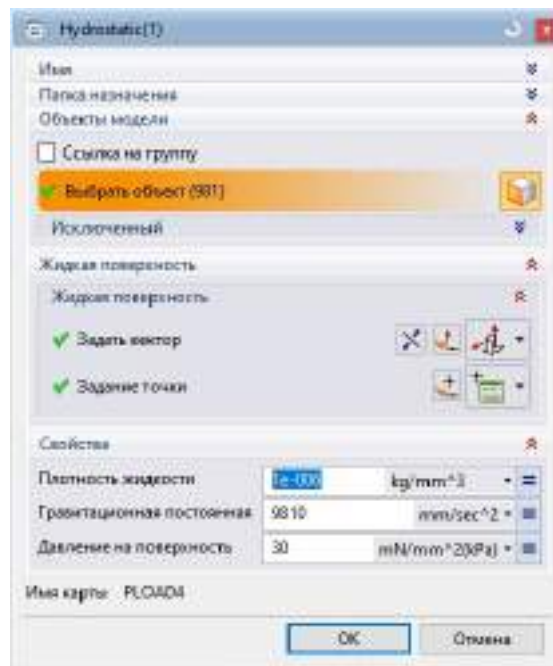


Рисунок 53 – Вікно завдання параметрів гідростатичного тиску

Задамо фіксовані поверхні корпусу паливного бака, спроектовані для закріплення паливного бака до кузова автомобіля за допомогою кріпильних

стрічок (описано в п.3.5). Підсумкова розрахункова модель показана малюнку 54. Виконаємо аналогічні дії іншого варіанту конструкції паливного бака. Запуск розрахунку ідентичний описаному у п.3.5.

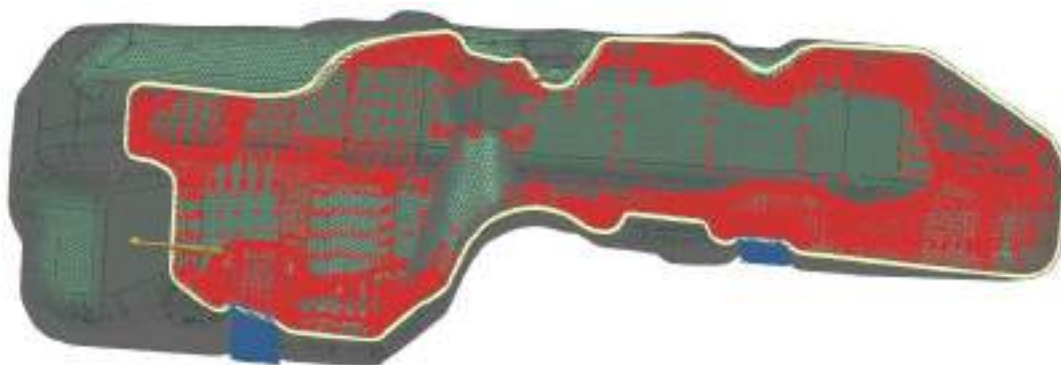


Рисунок 54 – Розрахункова модель корпусу паливного бака для симуляції гідравлічного випробування

3.7 Створення розрахункової моделі для симуляції випробування на провисання бака

Визначення величини провисання дна паливного бака під тривалим впливом палива, що зберігається в баку, є одним з основних при перевірці конструкцій проєктованих паливних баків. У разі випробування фізичних зразків, бак заповнюється паливом і витримується певний час, після чого заміряються деформації дна і порівнюються з вихідними значеннями, або ж в бак подається поперемінно позитивний і негативний тиск, після чого деформації поверхні бака порівнюються з допустимими значеннями.

Завданням відтворення випробування за допомогою симуляції є визначення та порівняння деформацій поверхонь дна двох варіантів корпусів паливних баків, а також напруги, що виникають у них внаслідок впливу навантаження, що імітує вагу об'єму палива, що заправляється (50 літрів). Схема застосування навантажень показана рис. 55.

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

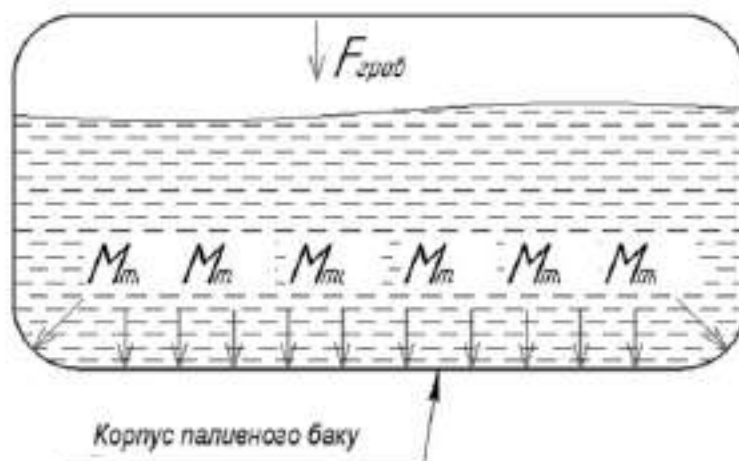


Рисунок 55 – Схема застосування навантажень при випробуванні на провисання

Параметри решателя задаються аналогічно п.3.5. Додані навантаження:

- Сила важкості. Порядок застосування та параметри аналогічно описаним у п.3.5;
- Сила (Навігатор симуляції → Solution 1 → Навантаження (права кнопка миші) → Нове навантаження → Сила). Сила, що впливає на дно паливного бака, визначається за формулою сили тяжіння: $F = m \times g$, де маса дорівнює номінальному об'єму паливного бака (50 літрів \approx 50 кілограм), $g = 9.8$ Н/кг і дорівнює 490 Н. Задається напрямок докладання сили по осі Z (рисунок 56). Як поверхні, до яких прикладена сила, обрані всі поверхні дна і перехідні поверхні корпусу паливного бака. Для їх вибору знадобиться інструмент «Змінити перетин».

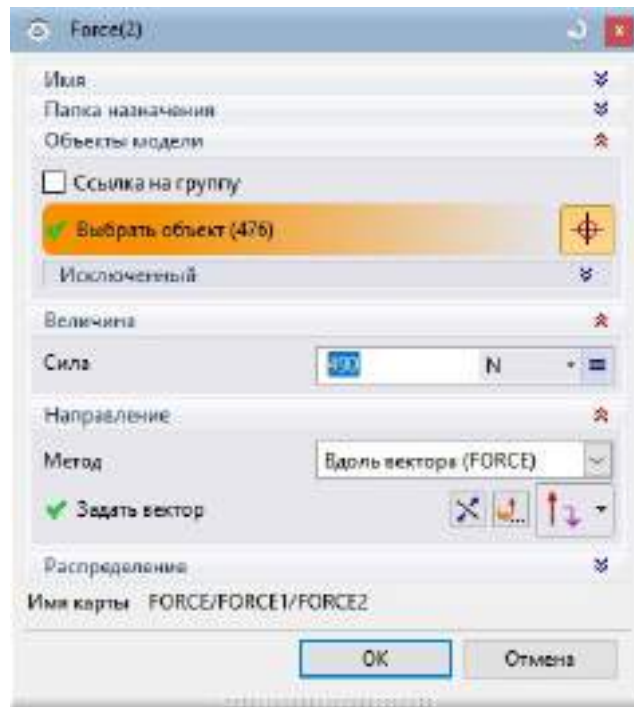


Рисунок 56 – Вікно завдання параметрів випробування на провисання

Задамо фіксовані поверхні корпусу паливного бака, спроектовані для закріплення паливного бака до кузова автомобіля за допомогою кріпильних стрічок (описано в п.3.5). Підсумкова розрахункова модель показана малюнку 57. Виконаємо аналогічні дії іншого варіанту конструкції паливного бака. Запуск розрахунку ідентичний описаному у п.3.5.

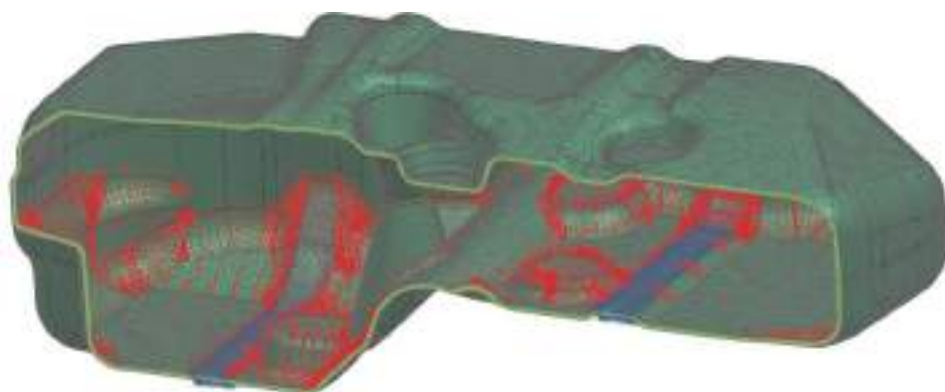


Рисунок 57 – Розрахункова модель корпусу паливного бака для симуляції випробування на провисання

3.8 Створення розрахункової моделі для симуляції випробування на стійкість бака впливу температур

Температурні випробування широко поширені під час перевірки паливних баків. Критерієм оцінки результатів є герметичність реального зразка, враховуючи те, що постійні або тимчасові деформації допускаються у певній межі.

У даному випадку можна побічно оцінити і порівняти жорсткість конструкції, застосувавши як позитивні (+80 °C), так і негативні температури (-40 °C) і зіставивши деформації, що виникають у двох розглянутих рішеннях.

Процес визначення симуляції дещо відрізняється від описаних у п.3.5 – 3.7. Після активації симуляції та вибору нового рішення у вікні вибору параметрів вирішувача слід змінити тип аналізу зі структурного на тепловий, у графі «Тип рішення» задати «SOL 153 Нелінійна теплопередача в стаціонарному режимі », підтвердити натисканням «ОК».

Для розрахунку розподілу температури по об'єкту, що досліджується, слід задати одне обмеження (Навігатор симуляції → Solution 1 → Обмеження (права кнопка миші) → Нове обмеження → Теплове обмеження). У вікні вибрати зовнішні поверхні корпусу бака і задати необхідну температуру. Після цього запустити даний розрахунок на рішення (описано в п.3.5). За результатами розрахунку в папці, що містить файли розрахунку, з'явиться файл з розширенням *.op2 і припискою «Solution 1» в імені файлу. Цей файл знадобиться на наступному етапі.

Після розрахунку температурного розподілу можна здійснити структурний аналіз, використовуючи отримані результати. Для цього в навігаторі симуляції слід створити нове рішення (за промовчанням – Solution 2, тип аналізу – структурний, тип рішення – SOL 101). Задати наступні навантаження:

– Сила важкості. Порядок застосування та параметри аналогічно

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

описаним у п.3.5;

– Температурне навантаження. Для цього виконати: Навігатор симуляції → Температури (права кнопка миші) → Створити набір навантажень → Температурний набір. У випадаючому списку «Тип» вибрати "Температурне навантаження". Залишивши порожнім поле "Температура за промовчанням" натиснути "ОК". У навігаторі симуляції з'явиться рядок у списку розділу «Температури». Натиснувши правою кнопкою миші, виберіть опцію Створити → Розподіл температур. У списку «Тип», що випадає, вибрати «Температура – постійна із зовнішніх даних», у графі «Величина» натиснути іконку у вигляді папки та вказати шлях до файлу результатів із розширенням *.or2. Підтвердити натисканням ОК.

Задамо фіксовані поверхні корпусу паливного бака, спроектовані для закріплення паливного бака до кузова автомобіля за допомогою кріпильних стрічок (описано в п.3.5). Підсумкова розрахункова модель показана малюнку 58. Виконаємо аналогічні дії іншого варіанту конструкції паливного бака. Запуск розрахунку ідентичний описаному у п.3.5.

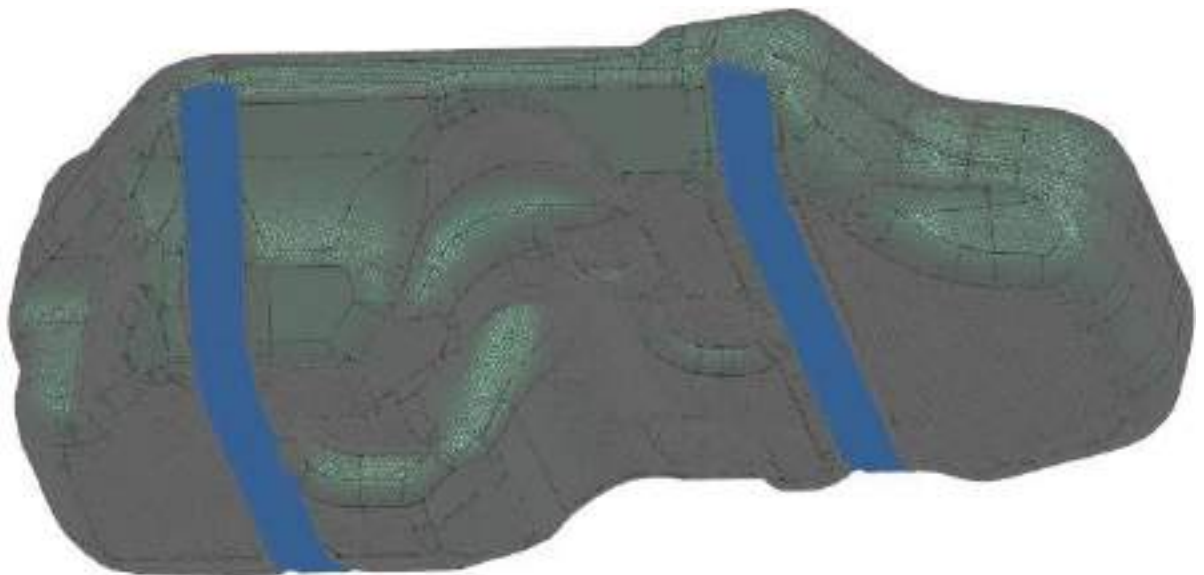


Рисунок 58 – Розрахункова модель корпусу паливного бака для симуляції випробування на стійкість до впливу температур

Слід повторити описані вище дії для розрахунку із застосуванням негативних температур для двох варіантів конструкцій корпусу паливного бака.

3.9 Створення розрахункової моделі для симуляції випробування на міцність бака (при вільному падінні)

Тести на визначення здатності паливних баків протистояти різним видам ударних навантажень є одними з найважливіших при перевірці конструкції та можуть проводитися як у складі автомобіля (удар про бар'єр / удар ззаду) [6] [19] [23], так і на рівні самого паливного бака [20] [28]. Основним критерієм приймання результатів фізичних випробувань є відсутність витoku з паливного бака після ударного навантаження.

Завданням відтворення випробування за допомогою симуляції є визначення та порівняння величини максимальної напруги та зон її виникнення у двох варіантах корпусів паливних баків при моделюванні вільного падіння бака з шестиметрової висоти. Схема випробування показана рис. 59.

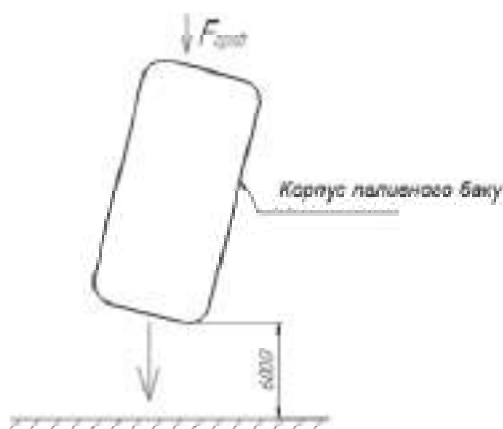


Рисунок 59 – Схема проведення випробування на ударостійкість бака при вільному падінні з висоти

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Процес визначення симуляції дещо відрізняється від описаних у п.3.5 – 3.7. Після активації симуляції та вибору нового рішення у вікні вибору параметрів вирішувача слід у графі «Тип рішення» задати вирішувач «SOL 402 Багатокрокова нелінійна кінематика», підтвердити натисканням "ОК". Додані навантаження та обмеження:

– Короткочасні початкові умови. Необхідно вказати початкову швидкість у напрямку DOF3 (вісь Z) із негативним значенням. Для тіла, що падає з висоти шести метрів, швидкість становитиме 10,848 м/с;

– Контакт поверхні з поверхнею. Необхідно задати контакт між поверхнями заздалегідь спозиційованого паливного бака (в модулі «Моделювання») та заздалегідь заготовленою поверхнею, що імітує підлогу, задаючи області контакту в полях «Вихідна область» та «Цільова область». Вірне завдання контакту поверхонь є ключовим моментом під час проведення подібного виду розрахунків.

Задамо повністю фіксовану поверхню, що імітує підлогу.

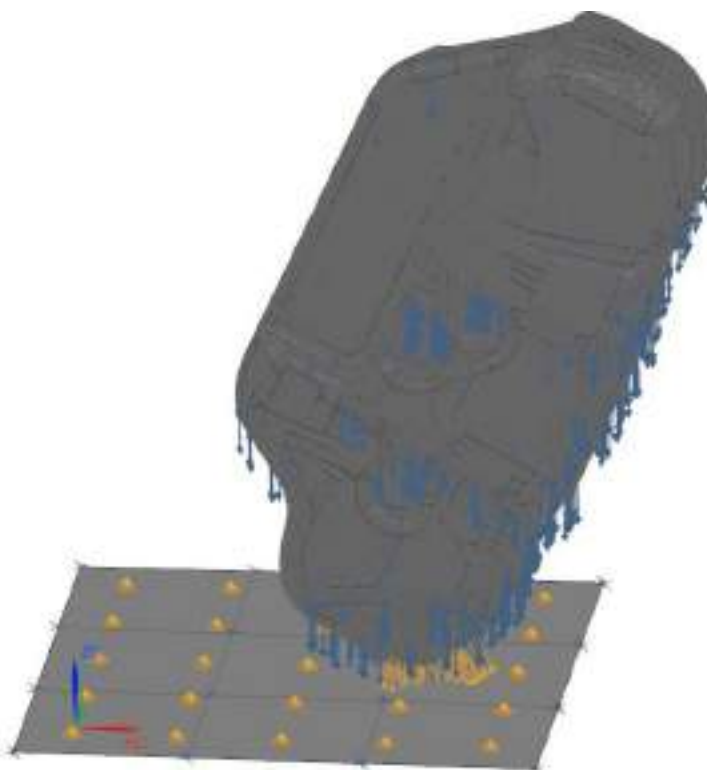


Рисунок 60 – Розрахункова модель корпусу паливного бака для симуляції випробування на ударостійкість бака при вільному падінні з висоти

3.10 Відображення та перегляд результатів у вікні постпроцесора

Після завершення розрахунку та переходу до інструментів інтерфейсу постпроцесора можна переглядати необхідні для аналізу результати, наявні в навігаторі постпроцесора (у разі структурного аналізу див. рис. 61).

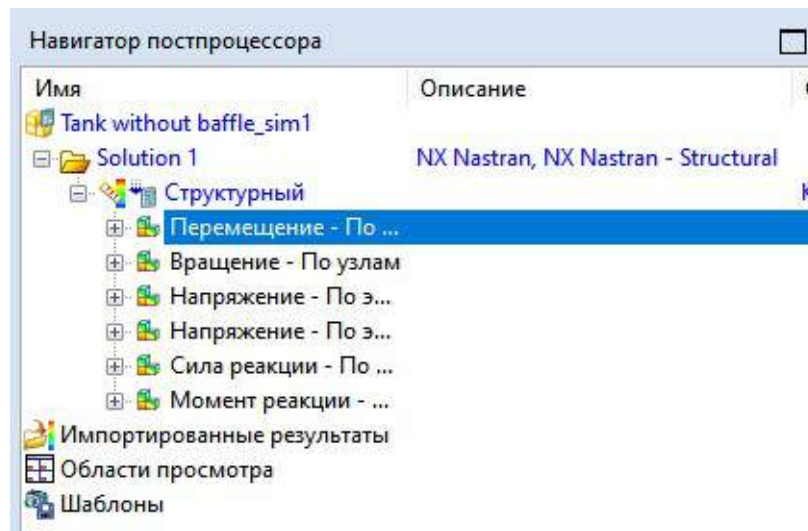


Рисунок 61 – Дерево навігатора постпроцесора, структурний аналіз

Вікно постпроцесора має широкі можливості налаштування відображення результатів, виміру значень, анімації симуляції, побудові графіків та ін. При аналізі результатів також доступна можливість застосування перерізів, для більшої візуалізації. Вікно постпроцесора у вигляді представлено рис. 62.

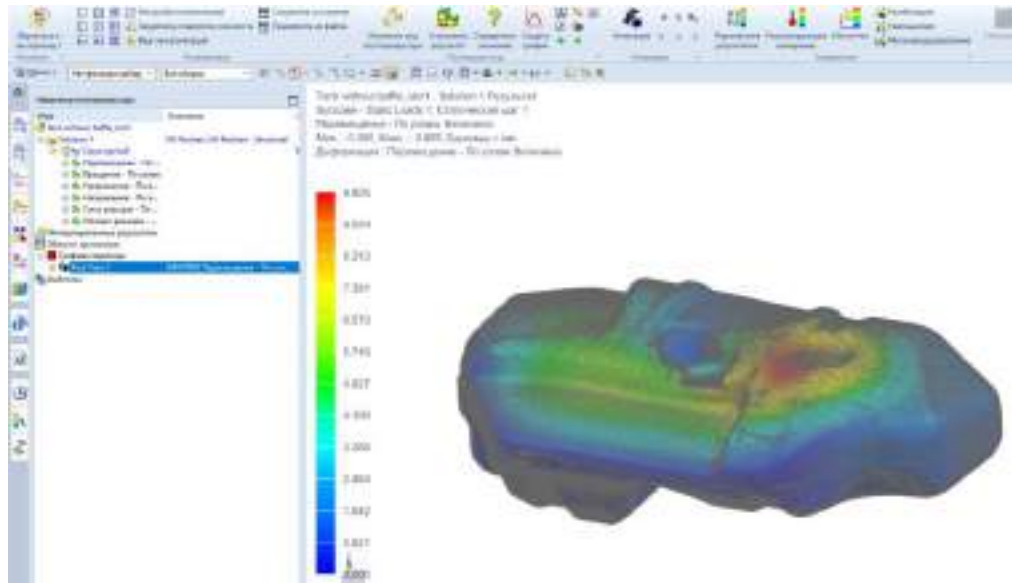


Рисунок 62 – Вікно постпроцесора

Розглянемо докладніше деякі з представлених у модулі "NX Розширена симуляція" інструментів.

- "Змінити вигляд постпроцесора". Потужний інструмент, що дозволяє в широкому обсязі налаштовувати візуалізацію результатів, встановлювати граничні межі результатів, включити відображення недеформованої деталі, збільшити або зменшити ступінь реальної деформації деталі і багато іншого. Вікно інструмента показано рис. 63;

- "Визначити значення". Дозволяє виміряти значення того чи іншого параметра в будь-якій потрібній точці моделі. Вікно інструменту показано рис. 64;

- "Анімація". Дозволяє анімувати відображення результатів, суттєво спрощуючи сприйняття зсувів і деформацій моделі, що виникають. Має можливість експорту анімації результатів до GIF-файлу. Вікно інструменту показано рис. 65.

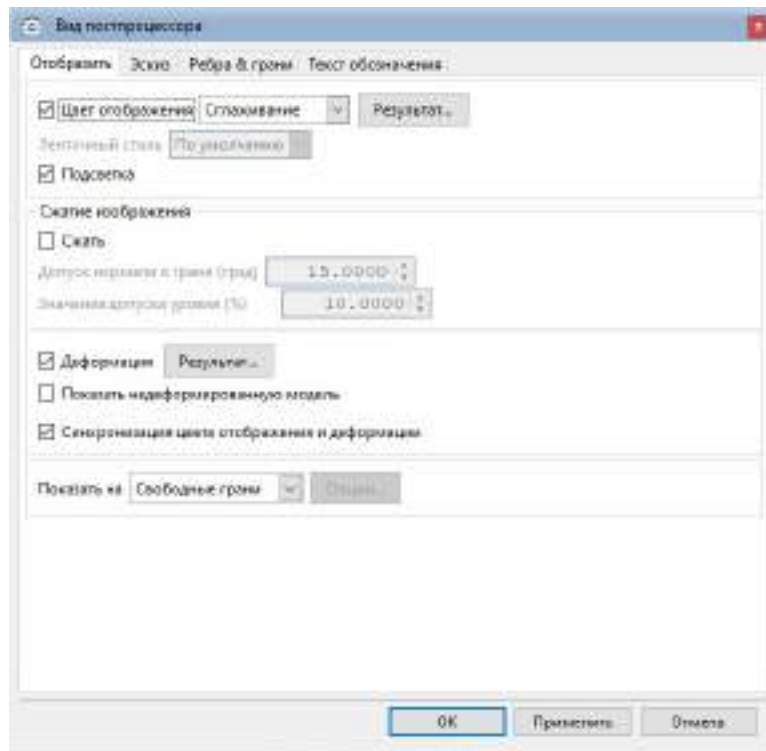


Рисунок 63 – Вікно інструменту «Змінити вигляд постпроцесора»

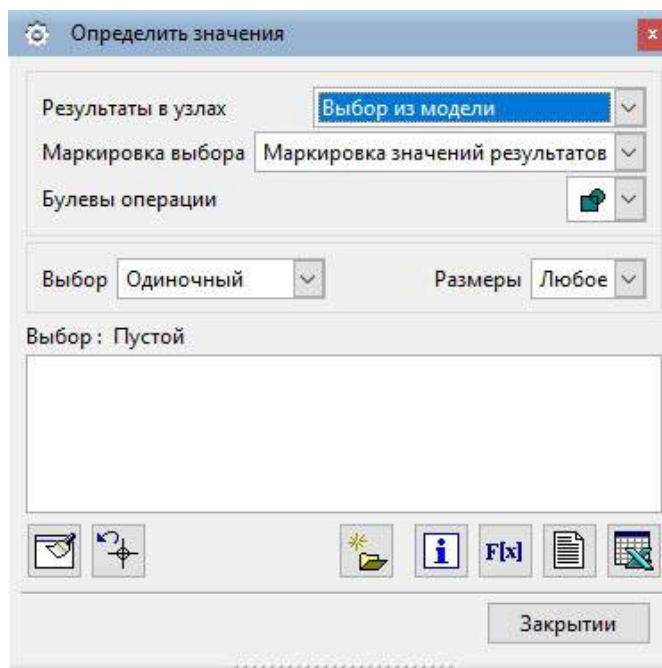


Рисунок 64 – Вікно інструменту «Визначити значення»

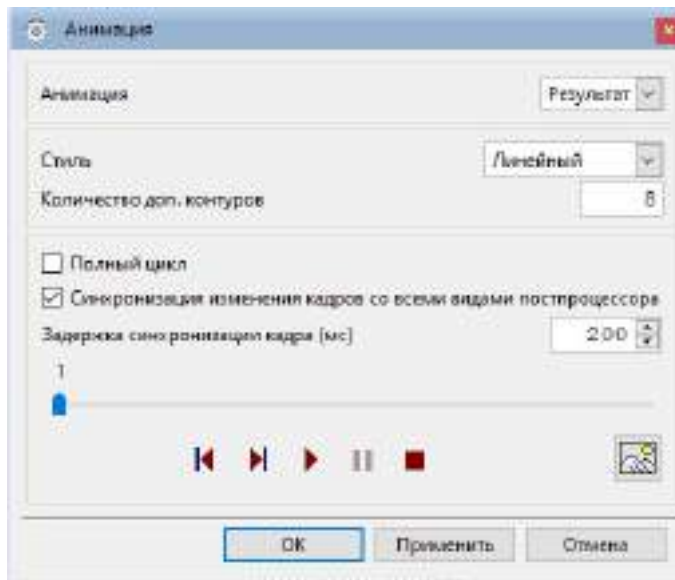


Рисунок 65 – Вікно інструменту «Анімація»

У постпроцесорі модуля NX Розширена симуляція також закладено функціонал автоматичної генерації звітів на підставі отриманих результатів.

3.11 Аналіз результатів тестів інженерного моделювання паливного бака

У цьому розділі розглядаються отримані за підсумками розрахунків результати та проводиться їхній порівняльний аналіз.

Результати випробування надлишковим тиском зведені до таблиці 3, візуалізація результатів наведена на рисунках 66-69.

Таблиця 3 – Результати випробування надлишковим тиском

Випробування надлишковим тиском			
Варіант із перегородкою		Варіант без перегородки	
Переміщення (max, мм)	11,02	Переміщення (max, мм)	9,86
Напруга (за елементами, по Мізесу) (max, МПа)	63,31	Напруга (за елементами, по Мізесу) (max, МПа)	20,44

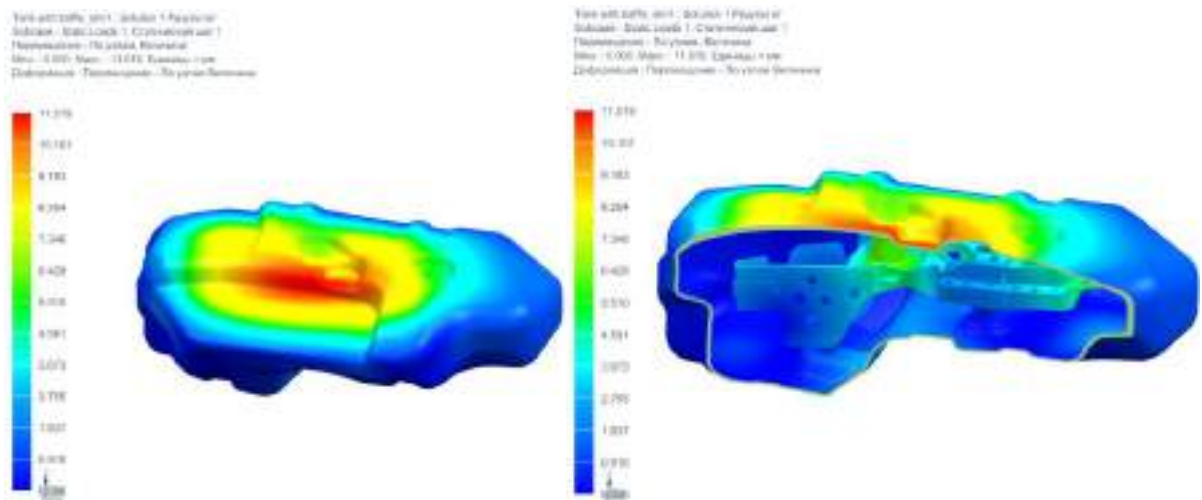


Рисунок 66 – Візуалізація деформацій корпусу паливного бака (варіант із перегородкою), що виникають при випробуванні надлишковим тиском

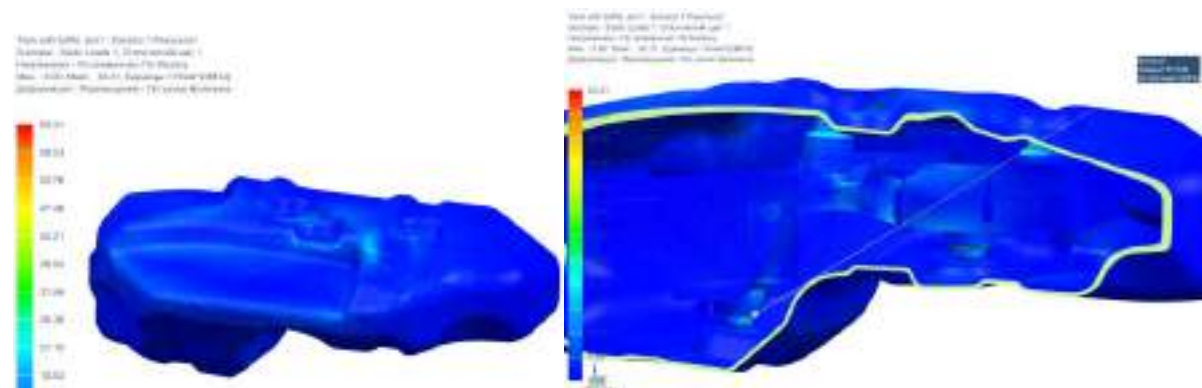


Рисунок 67 – Візуалізація напруги, що виникають у корпусі паливного бака (варіант з перегородкою) при випробуванні надлишковим тиском

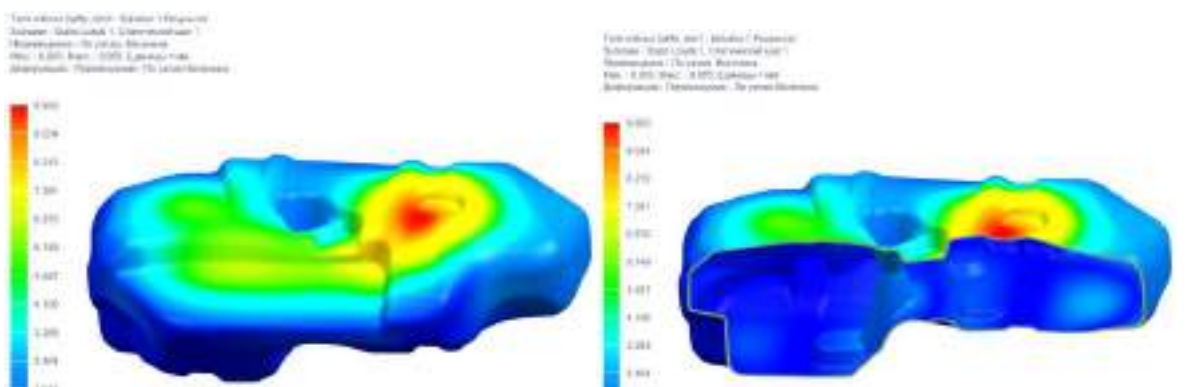


Рисунок 68 – Візуалізація деформації корпусу паливного бака (варіант без перегородки), що виникають при випробуванні надлишковим тиском

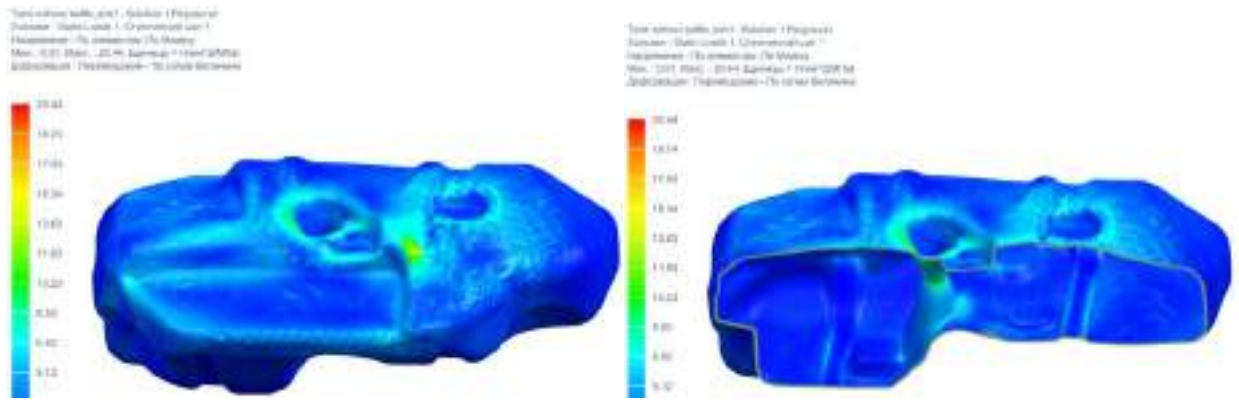


Рисунок 69 – Візуалізація напруги, що виникають у корпусі паливного бака (варіант без перегородки) при випробуванні надлишковим тиском

Висновок: варіант конструкції корпусу паливного бака без перегородки показав кращі результати як по максимальній деформації геометрії, так і напругам, що виникають. У випадку з перегородкою максимальна напруга (63,31 МПа) виникає в зоні вплавлення перегородки в тіло корпусу бака, і свідчить про злам перегородки (межа міцності розрахункового матеріалу дорівнює 24 МПа).

Результати гідравлічного випробування зведені у таблицю 4, візуалізація результатів наведена на рисунках 70-73.

Таблиця 4 - Результати гідравлічного випробування

Гідравлічне випробування			
Варіант із перегородкою		Варіант без перегородки	
Переміщення (max, мм)	12,01	Переміщення (max, мм)	11,34
Напруга (за елементами, по Мізесу) (max, МПа)	69,38	Напруга (за елементами, по Мізесу) (max, МПа)	23,78

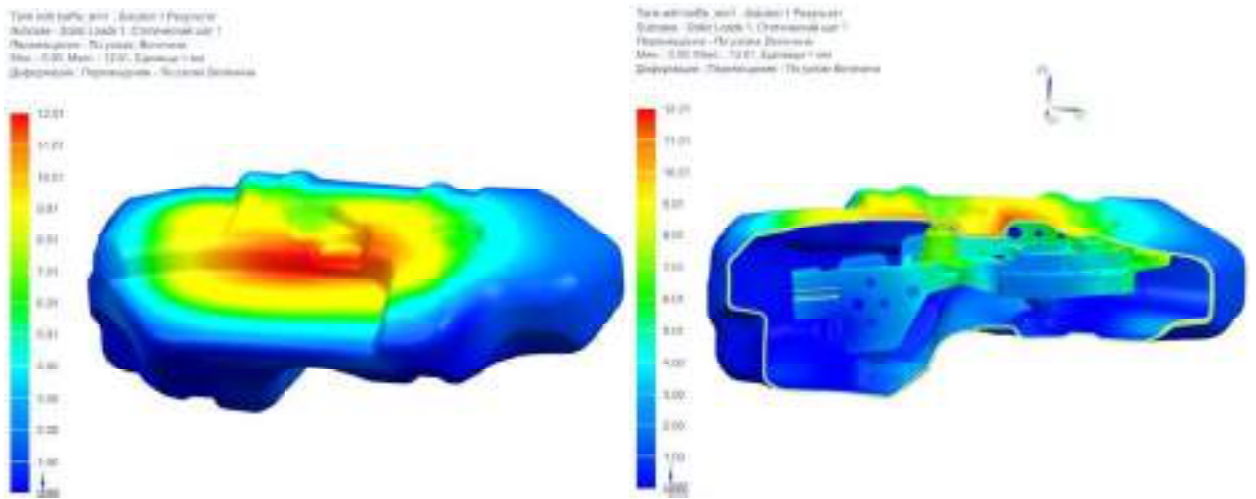


Рисунок 70 – Візуалізація деформацій корпусу паливного бака (варіант із перегородкою), що виникають при гідравлічному випробуванні

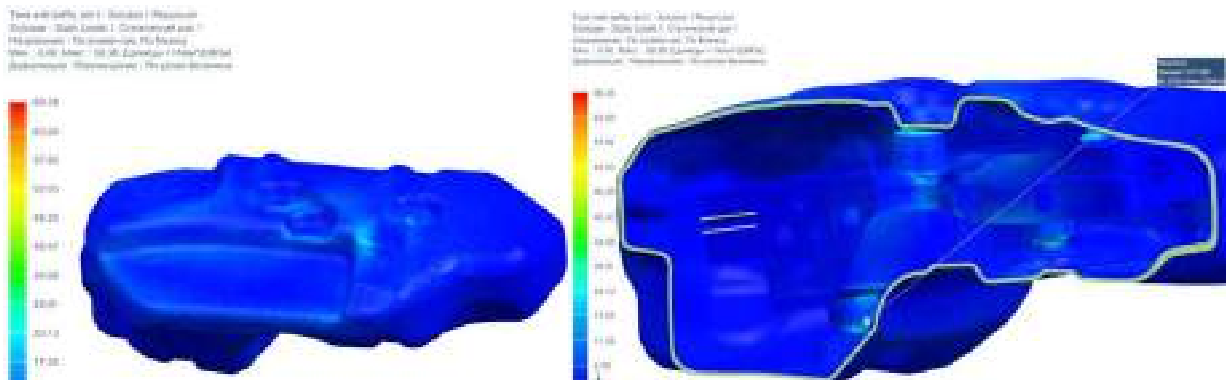


Рисунок 71 – Візуалізація напруги, що виникають у корпусі паливного бака (варіант з перегородкою) при гідравлічному випробуванні

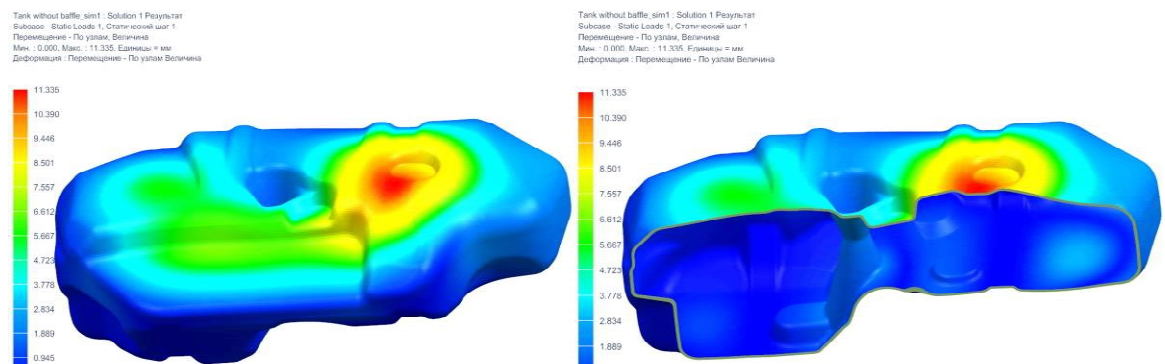


Рисунок 72 – Візуалізація деформацій корпусу паливного бака (варіант без перегородки), що виникають при гідравлічному випробуванні

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ

Арк.

81

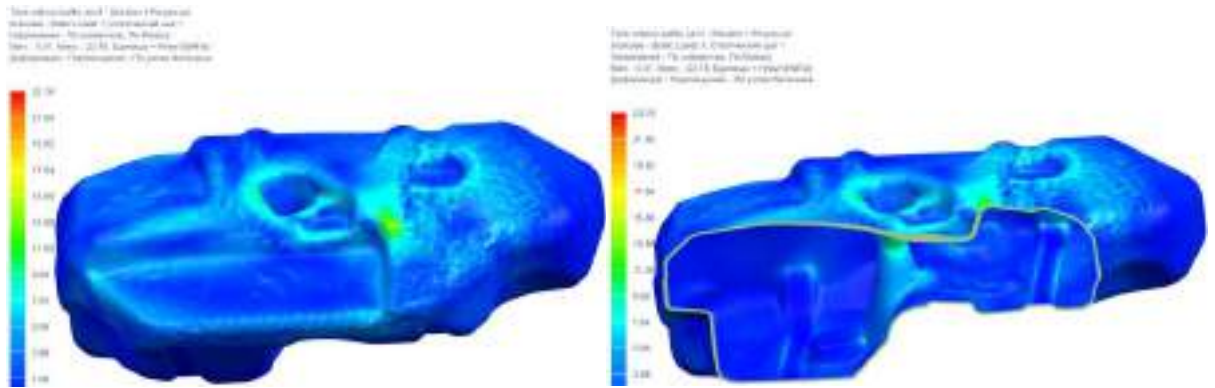


Рисунок 73 – Візуалізація напруги, що виникають у корпусі паливного бака (варіант без перегородки) при гідравлічному випробуванні

Висновок: варіант конструкції корпусу паливного бака без перегородки показав кращі результати як по максимальній деформації геометрії, так і напругам, що виникають. У випадку з перегородкою максимальна напруга (69,38 МПа), як і в попередньому випробуванні, виникає в зоні вплавлення перегородки в тіло корпусу бака, і свідчить про злам перегородки (межа міцності розрахункового матеріалу дорівнює 24 МПа).

Результати випробування на провисання зведені таблицю 5, візуалізація результатів наведено на малюнках 74-77.

Таблиця 5 - Результати випробування на провисання

Випробування на провисання			
Варіант із перегородкою		Варіант без перегородки	
Переміщення (max, мм)	0,15	Переміщення (max, мм)	0,18
Напруга (за елементами, по Мізесу) (max, МПа)	1,06	Напруга (за елементами, по Мізесу) (max, МПа)	0,83

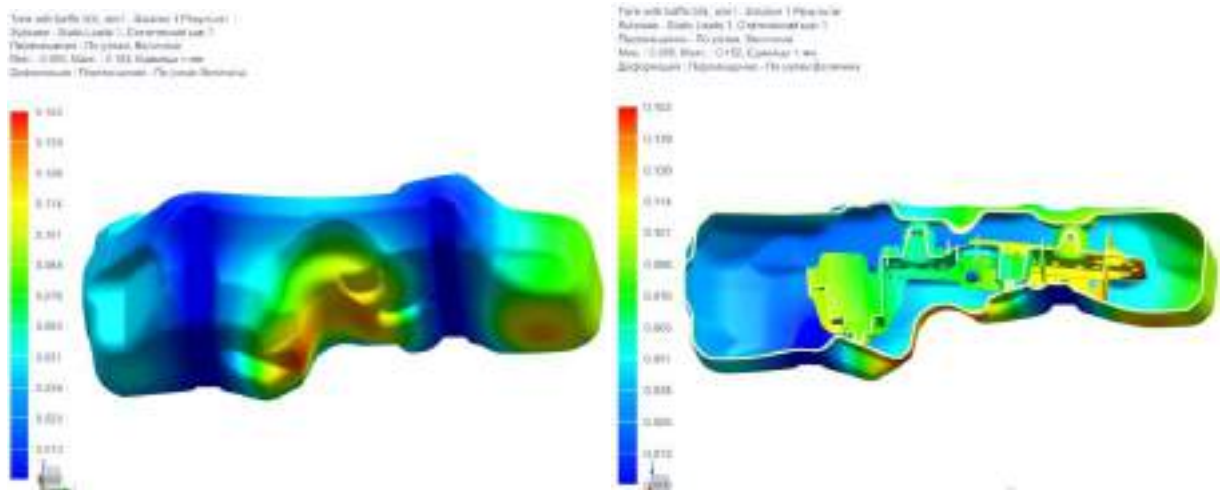


Рисунок 74 – Візуалізація деформацій корпусу паливного бака (варіант із перегородкою), що виникають при випробуванні на провисання



Рисунок 75 – Візуалізація напруги, що виникають у корпусі паливного бака (варіант з перегородкою) при випробуванні на провисання

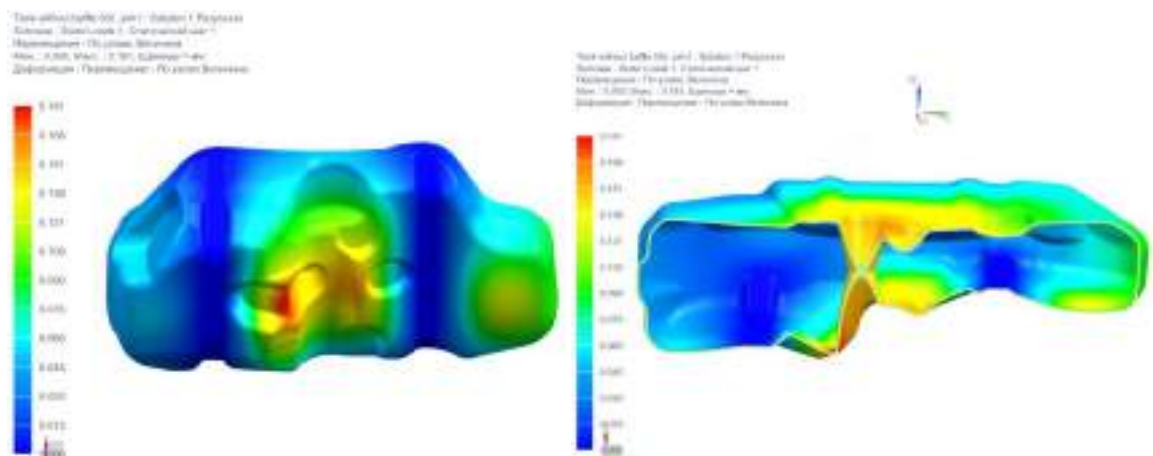


Рисунок 76 – Візуалізація деформацій корпусу паливного бака (варіант без перегородки), що виникають під час випробування на провисання

Кристалізація (2016) 002_002 / 002_002 / 002_002
 Додаток: 002_002_002 / 002_002_002 / 002_002_002
 Напрямок: 002_002_002 / 002_002_002 / 002_002_002
 Код: 002_002 / Макс: 002_002 / Единиця: 002_002_002
 Додаток: 002_002_002 / 002_002_002 / 002_002_002



Рисунок 77 – Візуалізація напруги, що виникають у корпусі паливного бака (варіант без перегородки) при випробуванні на провисання

Висновок: в обох випадках вплив ваги палива на дно бака є несуттєвим. У разі варіанта без перегородки виникають дещо більші деформації, але менші напруги.

Результати випробування на стійкість до впливу температур зведені до таблиці 6, візуалізація результатів наведена на рисунках 78-81.

Таблиця 6 – Результати випробування на стійкість до впливу температур

Випробування на стійкість до впливу температур			
Варіант із перегородкою		Варіант без перегородки	
Переміщення (max, мм) (+80 °C)	6,80	Переміщення (max, мм) (+80 °C)	6,50
Переміщення (max, мм) (-40 °C)	7,49	Переміщення (max, мм) (-40 °C)	7,16

Tank with baffle_sim1 : Solution 2 Результат
 Subcase - Static Loads 1, Статический шаг 1
 Перемещение - По узлам, Величина
 Мин. : 0.000, Макс. : 6.802, Единицы = мм
 Деформация : Перемещение - По узлам Величина

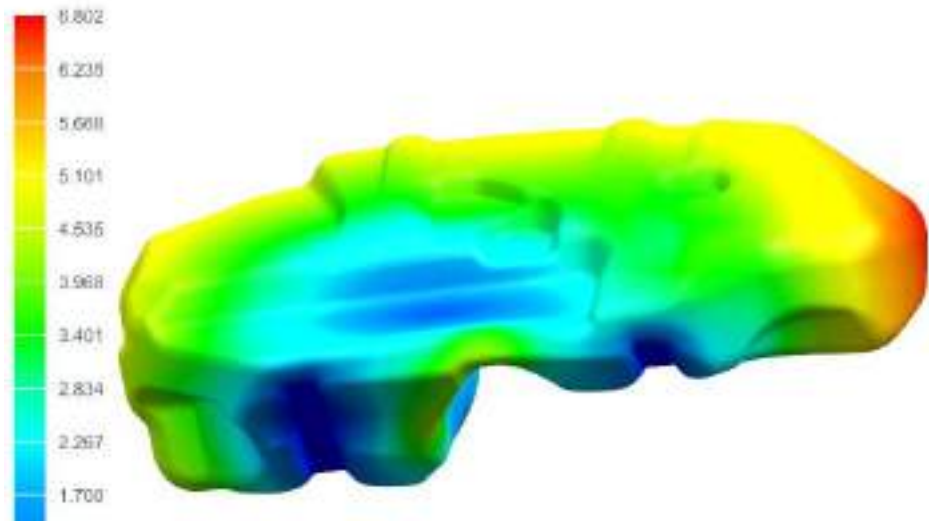
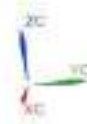


Рисунок 78 – Візуалізація деформацій корпусу паливного бака (варіант з перегородкою), що виникають при випробуванні на стійкість до впливу температур при +80 °С

Tank with baffle_sim1 : Solution 2 Результат
 Subcase - Static Loads 1, Статический шаг 1
 Перемещение - По узлам, Величина
 Мин. : 0.000, Макс. : 7.489, Единицы = мм
 Деформация : Перемещение - По узлам Величина

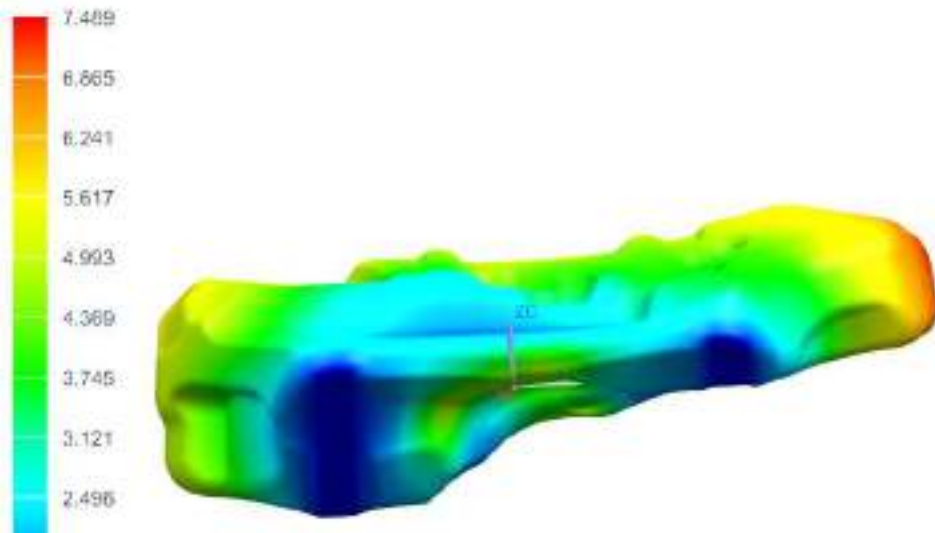


Рисунок 79 – Візуалізація деформацій корпусу паливного бака (варіант з перегородкою), що виникають при випробуванні на стійкість до впливу температур при -40 °С

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ

Арк.

85

Tank without baffle_sim1 - Solution 2 Результат
Subcase - Static Loads 1, Статический шаг 1
Перемещение - По узлам, Величина
Мин.: 0.000, Макс.: 6.495, Единицы = мм
Деформация: Перемещение - По узлам Величина

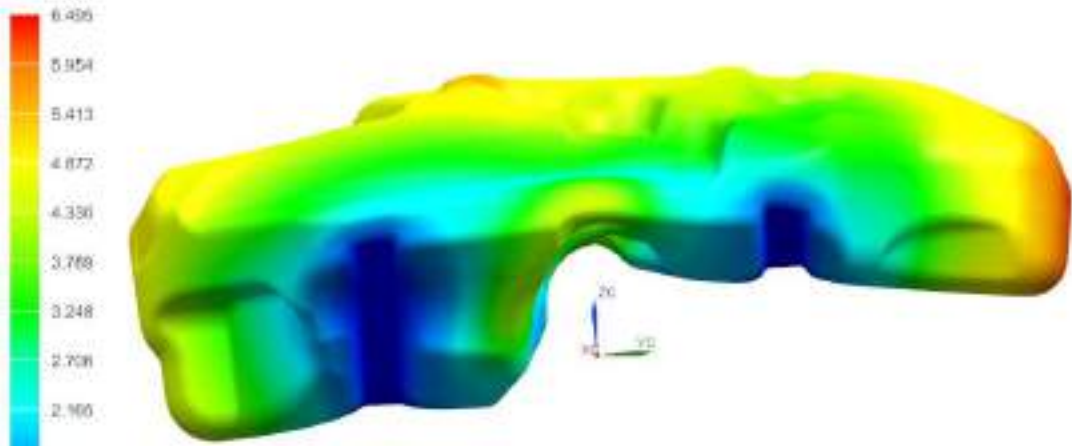


Рисунок 80 – Візуалізація деформацій корпусу паливного бака (варіант без перегородки), що виникають при випробуванні на стійкість до впливу температур при +80 °С

Tank without baffle_sim1 - Solution 2 Результат
Subcase - Static Loads 1, Статический шаг 1
Перемещение - По узлам, Величина
Мин.: 0.000, Макс.: 7.159, Единицы = мм
Деформация: Перемещение - По узлам Величина

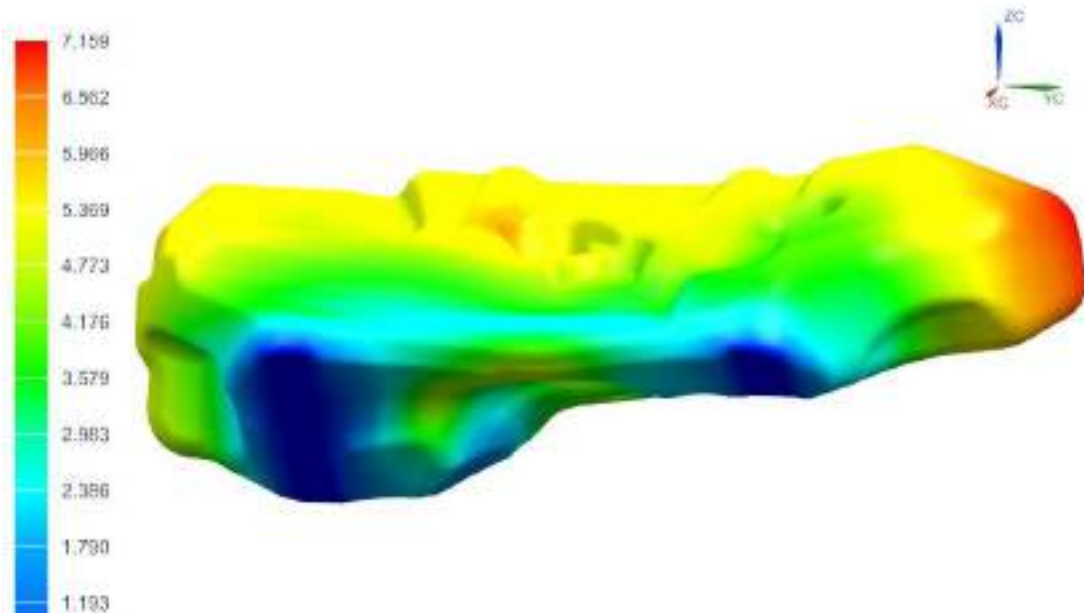


Рисунок 81 – Візуалізація деформацій корпусу паливного бака (варіант без перегородки), що виникають при випробуванні на стійкість до впливу температур при -40 °С

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ

Арк.

86

Висновок: результати деформації корпусів паливних баків після застосування температурного навантаження схожі, з невеликою перевагою у варіанта без перегородки.

Результати випробування на ударостійкість бака (при вільному падінні) зведені в таблицю 7, візуалізація результатів наведена на рисунках 82-83.

Таблиця 7 – Результати випробування на випробування на ударостійкість бака (при вільному падінні)

Випробування на ударостійкість бака (при вільному падінні)			
Варіант із перегородкою		Варіант без перегородки	
Напруга (за елементами/ вузлам, по Мізесу) (max, МПа)	137,97	Напруга (за елементами/ вузлам, по Мізесу) (max, МПа)	137,88

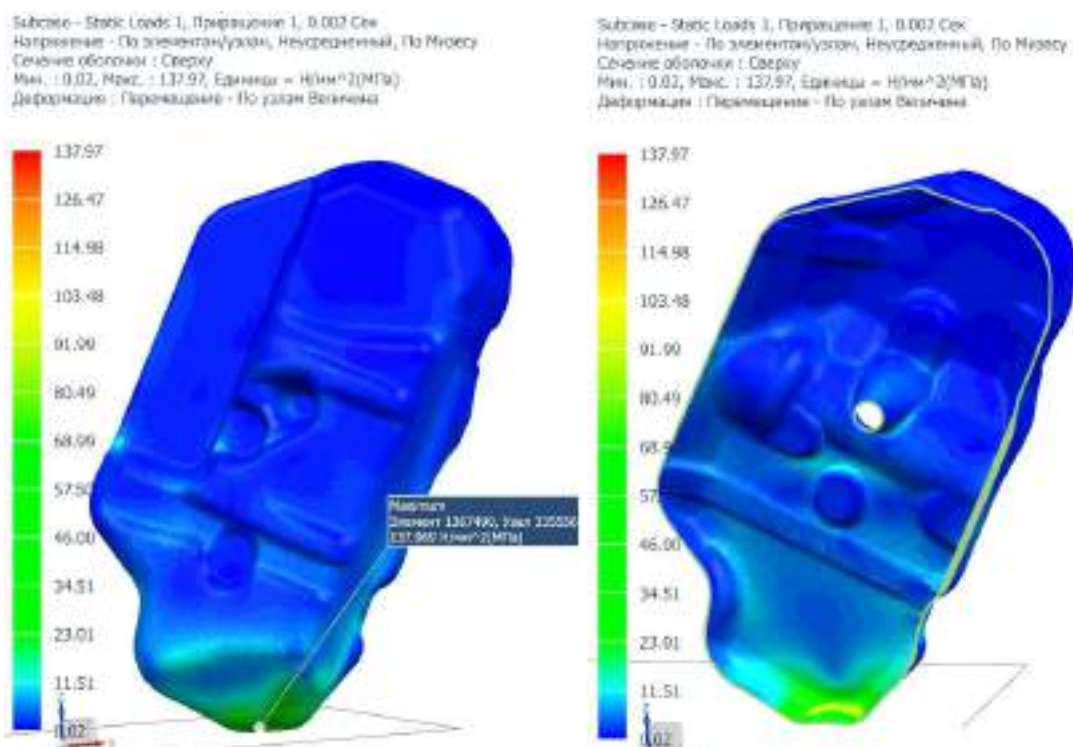
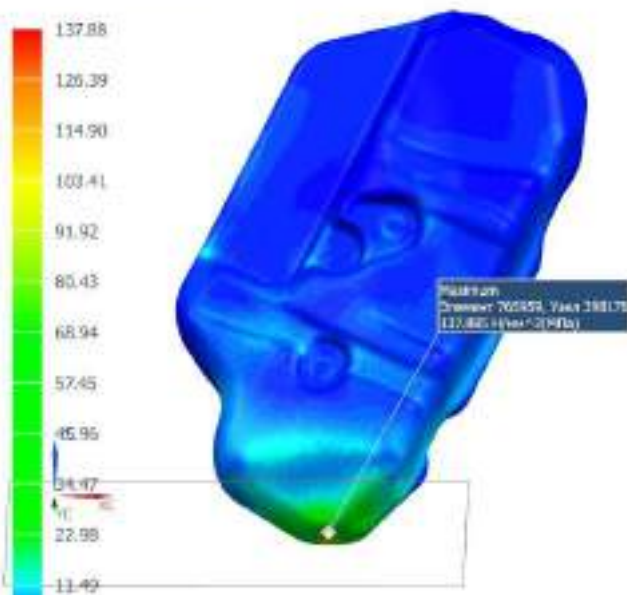


Рисунок 82 – Візуалізація напруги, що виникають у корпусі паливного бака (варіант без перегородки) при випробуванні на ударостійкість бака

Суб'єкт - Static Loads 1, Переваження 1, 0.002 Сек
 Напряження - По елементам/узлам, Невсередній, По Массу
 Сіткова оболонка - Сверху
 Min : 0.00, Макс : 137.88, Единица = Н/мм²(МПа)
 Деформации - Переваження - По узлам Величина



Суб'єкт - Static Loads 1, Переваження 1, 0.002 Сек
 Напряження - По елементам/узлам, Невсередній, По Массу
 Сіткова оболонка - Сверху
 Min : 0.00, Макс : 137.88, Единица = Н/мм²(МПа)
 Деформации - Переваження - По узлам Величина

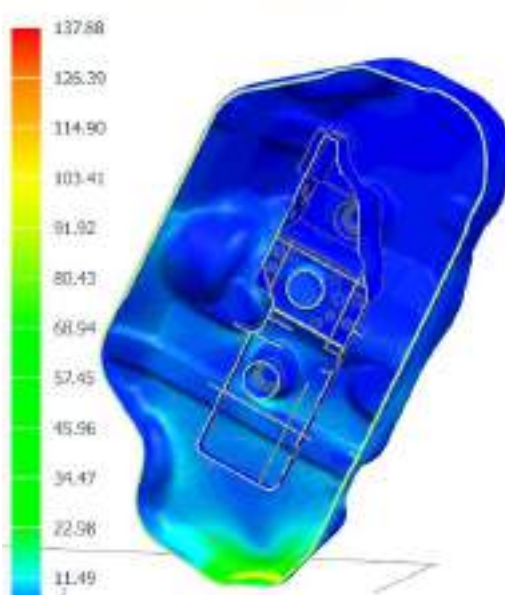


Рисунок 83 – Візуалізація напруги, що виникають у корпусі паливного бака (варіант з перегородкою) при випробуванні на ударостійкість бака

Висновок: максимальна напруга, що виникає в результаті симуляції падіння корпусу торпливого бака з шестиметрової висоти у двох варіантів конструкції паливного бака схожі, з несуттєвою перевагою варіанта з перегородкою (менше на 0,07%). Концентрація максимальної напруги в обох варіантів виникає в ідентичних зонах. Однак, при оцінці результатів і проектуванні їх на фізичні зразки, необхідно враховувати випадки пошкодження корпусу паливного бака, що нерідко зустрічаються на практиці, в зоні вплавлення перегородки в корпус, що викликають негерметичність і призводять до негативного результату випробування.

Висновки:

- Розроблено кінцево-елементні моделі на підставі спрощеної геометрії корпусів паливних баків;

- Створено необхідний симуляцій матеріал, що має характеристики спеціально розроблених для виробництва паливних баків марок;
- Створено розрахункові моделі для моделювання різних випробувань двох варіантів корпусів паливних баків;
- Проведено моделювання поведінки кінцево-елементної моделі корпусів паливних баків при дії сил, тиску та температур;
- За результатами аналізу встановлено, що запропонована зміна конструкції корпусу паливного бака не мала негативного впливу на жорсткість конструкції корпусу паливного бака.

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

4 Методика вдосконалення конструкції корпусу паливного бака у САПР

4.1 Опис методики проектування конструкції паливних баків легкових автомобілів у САПР

Метою даної роботи було створення методики вдосконалення конструкції корпусів паливних баків, що мають у складі внутрішню перегородку, задля економії сировини та зниження собівартості виробництва пластикових паливних баків за збереження їх експлуатаційних характеристик.

Для реалізації цієї мети за допомогою САПР було вирішено заявлені завдання та досягнуто позитивного результату. З отриманого позитивного результату можна дійти невтішного висновку доцільність створення методики.

Дана методика дозволить проводити первинну оцінку конструкції пластикових паливних баків, що мають у складі внутрішню перегородку, та на ранніх етапах визначати можливість здійснення змін у конструкції корпусу, не вдаючись до необхідності створення дорогих прототипів та проведення фізичних випробувань з ними.

Подання методики доцільно виконати у вигляді блок-схеми (рисунок 84) з наступним описом кожного етапу (таблиця 8).

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

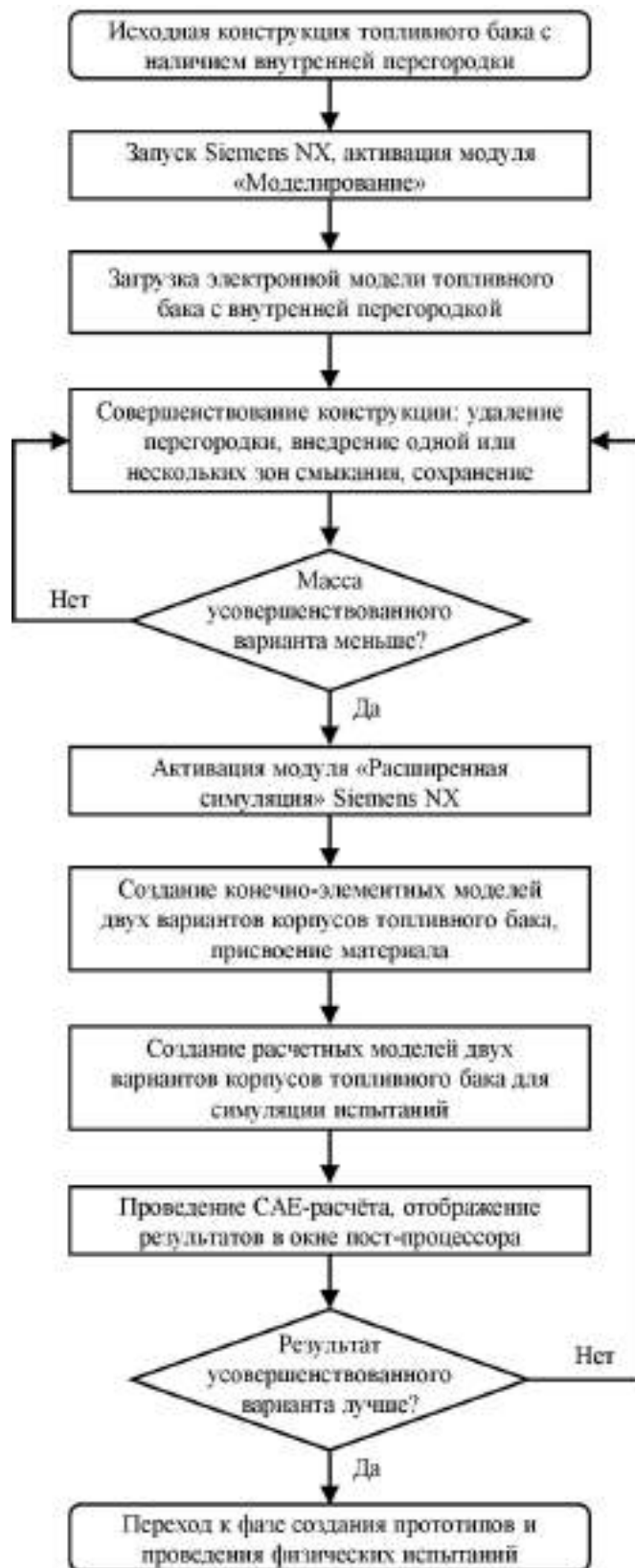


Рисунок 84 – Блок-схема методики вдосконалення конструкції корпусів паливних баків

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ

Арк.

91

Таблиця 8 - Опис етапів методики вдосконалення конструкції паливних баків, перерахованих у блок-схемі

Найменування блоку	Опис
Початкова конструкція паливного бака з наявністю внутрішньої перегородки	На початковому етапі необхідна наявність конструкції корпусу паливного бака, що має у складі внутрішню перегородку. У випадку створення корпусу паливного бака з нуля, доцільніше проектувати його спочатку без внутрішньої перегородки.
Запуск Siemens NX, активація модуля «Моделювання»	Ця методика реалізована і основі інших існуючих САПР. Вибір Siemens NX обумовлений можливістю здійснення робіт з моделювання змін в електронній моделі корпусу паливного бака, а також порівняльного інженерного аналізу в рамках однієї САПР, не вдаючись до стороннього програмного забезпечення.
Завантаження електронної моделі паливного бака із внутрішньою перегородкою	У разі наявності електронної моделі у форматі, який відрізняється від формату Siemens NX, необхідно здійснити імпортування моделі у робоче вікно Siemens NX за допомогою завчасного її збереження в «нейтральному» форматі (STEP, IGES, Parasolid тощо) або скориставшись широкими можливостями Siemens NX з відкриття моделей, створених у сторонніх САПР (CATIA, SolidWorks тощо).
Вдосконалення конструкції: видалення перегородки, впровадження однієї чи кількох зон змикання збереження	Завдяки широким можливостям Siemens NX, внесення змін до електронної моделі корпусу паливного бака може бути успішно здійснено за допомогою наявних інструментів твердотільного та поверхневого моделювання. (випадках – більше) зон змикання у зонах потенційного ризику для механічної міцності конструкції.

Продовження таблиці 8

<p>Перевірка та порівняння маси</p>	<p>На даному етапі необхідно провести оцінку та порівняння мас вихідної та вдосконаленої конструкції. Як правило, вага використовуваної внутрішньої перегородки істотно більша, ніж вага об'єму, що додатково вводиться, необхідного для створення зони змикання. У такому разі слід перейти до наступного етапу. А якщо ні, то вдосконалення з метою зниження витрат сировини не має сенсу і в такому випадку необхідно повернутися на попередній етап і внести зміни в електронну модель, змінивши кількість або місця розташування зон змикання, повторно провівши порівняння мас.</p>
<p>Активація модуля «Розширена симуляція» Siemens NX</p>	<p>Для початку інженерного аналізу необхідно активувати наявний у складі Siemens NX модуль інженерного аналізу - "Розширена симуляція".</p>
<p>Створення кінцево-елементних моделей двох варіантів корпусів паливного бака, присвоєння матеріалу</p>	<p>На даному етапі здійснюється нанесення кінцево-елементної сітки на геометрію двох варіантів корпусів паливних баків – вихідну (з внутрішньою перегородкою) та удосконалену (із паливного бака, присвоєння зонами змикання). Проводиться присвоєння (призначення) матеріалу з бази даних наявних у складі Siemens NX матеріалів або бази даних самостійно створених/імпортованих матеріалів, що мають необхідні властивості і Показники.</p>
<p>Створення розрахункових моделей двох варіантів корпусів паливного бака для симуляції випробувань</p>	<p>На даному етапі здійснюється завдання всіх необхідних умов для моделювання конкретного випробування (температурні умови, діючі сили та навантаження, напрям їх застосування), вибирається відповідний тип решателя.</p>
<p>САЕ-розрахунок, відображення результатів у вікні пост-процесора</p>	<p>На цьому етапі запускається прорахунок заданих умов стосовно кінцево-елементної моделі. Після закінчення розрахунку з'являється можливість запуску інтерфейсу пост-процесора з широким спектром можливостей настроювання відображення та аналізу одержаних результатів.</p>

Продовження таблиці 8

Перевірка та порівняння результатів інженерного аналізу	На даному етапі результати вихідної та вдосконаленої конструкцій порівнюються один з одним. У разі отримання негативного результату (удосконалена конструкція показує найгірші результати, ніж вихідна), необхідно повернутися на етап удосконалення конструкції в модулі «Моделювання» та внести зміни до електронної моделі, змінивши кількість або місця розташування зон змикання. За необхідності можливе використання ребер жорсткості.
Перехід до фази створення прототипів та проведення фізичних випробувань	Після отримання позитивного результату на попередньому етапі необхідно повторно оцінити доцільність впровадження подібної зміни, оцінити економічний ефект і термін окупності і лише після цього прийняти рішення про початок фази створення прототипів та проведення експериментів з ними.

Створена та описана вище методика дозволяє на ранніх етапах виявити можливість чи неможливість удосконалення корпусів пластикових паливних баків, що мають у складі внутрішню перегородку. За кілька ітерацій можна визначити найкращий варіант конструкції, гідний проведення експерименту. Або ж зроблено висновок про неможливість чи недоцільність удосконалення, не вдаючись до витратам коштів на створення прототипів, випробувальною оснастки, підготовку, планування та проведення експерименту.

4.2 Напрямок вдосконалення конструкції паливних баків

Як рекомендації щодо подальшого вдосконалення конструкції паливних баків для легкових автомобілів, а також методів їх проектування, можна виділити наступні пункти:

- Початкова націленість на проектування конструкції корпусу

паливного бака без внутрішньої перегородки: або із застосуванням ребер жорсткості (рис. 85), або – зон змикання (рис. 86);

– Проведення додаткових симуляційних випробувань у САПР у рамках інженерного аналізу конструкції, що розробляється, з метою визначення рівня шуму, що викликається переміщенням палива;

– При незадовільних показниках рівня шуму, що перевищують бажані цільові показники, насамперед розглядати зміни конструкції корпусу паливного бака, не пов'язані з проектуванням внутрішньої занурювальної перегородки. Прикладом можливого рішення щодо обмеження переміщення палива всередині паливного бака можуть бути «натуральні» перегородки (рисунок 87), отримані за допомогою прес-форми в процесі видувного формування бака, що являють собою подібність ребер жорсткості;

– Розглядати застосування у конструкції внутрішніх перегородок лише у разі неможливості досягнення цільових показників за рівнем шуму навіть при застосуванні «натуральних» перегородок, розташованих у різних місцях паливного бака, що підтверджена результатами симуляційних випробувань;

– Віддавати перевагу проектуванню внутрішніх перегородок, що встановлюються всередині корпусу паливного бака під час процесу складання бака на складальній лінії, ніж перегородок, що вплавляються в корпус паливного бака під час процесу видувного формування, щоб уникнути можливих додаткових проблем, спричинених локальним потоненням матеріалу корпусу паливного бака в зонах вплавлення перегородки.

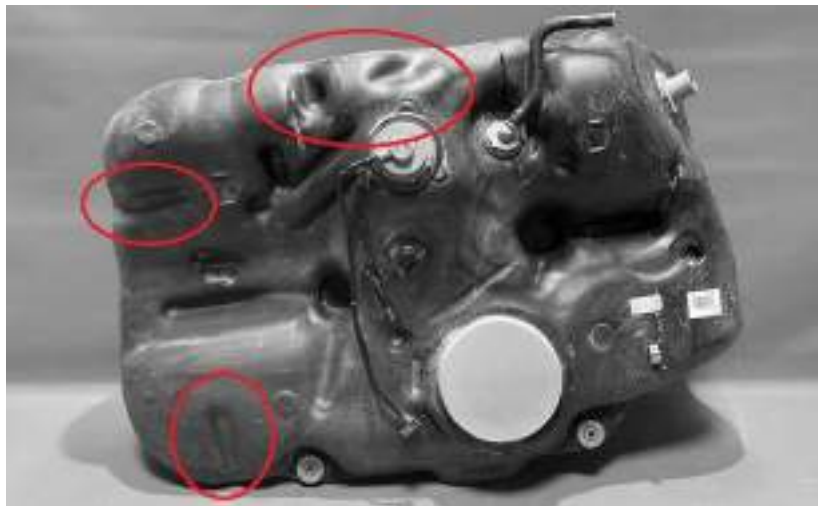


Рисунок 85 – Приклад застосування ребер жорсткості на корпусі паливного бака



Рисунок 86 – Приклад застосування зон змикання на корпусі паливного бака

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

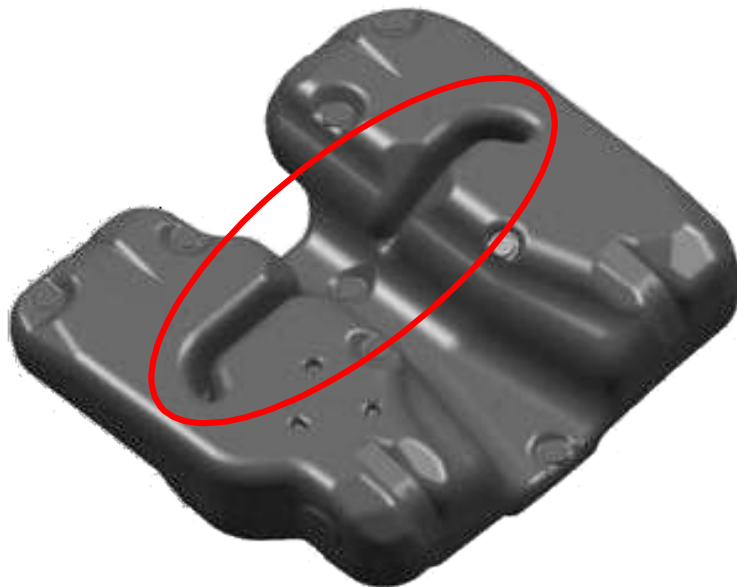


Рисунок 87 – Приклад застосування «натуральної» перегородки на корпусі паливного бака

Висновки:

- У ході роботи над главою було складено блок-схему методики вдосконалення конструкції корпусів паливних баків, що мають у складі внутрішню перегородку;
- Докладно описаний кожен етап методики, перерахований у блок-схемі;
- Складено рекомендації щодо подальшого вдосконалення конструкції паливних баків для легкових автомобілів, а також методів їх проектування.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ

Арк.

97

Висновки

У процесі виконання роботи, у першому розділі було проведено аналіз інформації щодо зміни конструкції паливних баків з часом; наведено відомості про матеріали, що застосовуються при виготовленні, та структуру стінки корпусу пластикового паливного бака; визначено, що внутрішні перегородки широко застосовуються у конструкції паливних баків, у разі пластикових паливних баків, будучи виготовленими з матеріалу, що є основним при виробництві корпусів паливних баків; визначено доцільність розробки методики вдосконалення конструкції паливних баків та програмне забезпечення, що є базою для її практичного застосування.

У другому розділі були побудовані тривимірні моделі корпусу паливного бака і внутрішньої перегородки, описаний процес їх створення, а також створено тривимірне складання паливного бака в зборі з компонентами, що входять до його складу. Крім того, зроблено вдосконалення тривимірної моделі корпусу паливного бака, що полягало у застосуванні зони змикання замість внутрішньої перегородки, результатом чого стало отримання двох варіантів конструкції корпусів паливних баків, необхідних проведення подальшого порівняльного інженерного аналізу.

У третьому розділі наведено теоретичні відомості про метод кінцевих елементів; описаний процес підготовки електронної моделі корпусу паливного бака до інженерного аналізу та побудови на ній сітки кінцевих елементів; описаний процес створення та застосування матеріалу, необхідного для проведення розрахунку; на підставі кінцево-елементних моделей створено розрахункові моделі для симуляції різних випробувань корпусів паливних баків; проведено порівняльний аналіз отриманих результатів та зроблено висновки про успішність зміни геометрії корпусу паливного бака.

У четвертому розділі представлена методика вдосконалення конструкції корпусів паливних баків, що мають у складі внутрішню перегородку, оформлена

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

у вигляді покрокового, детально описаного алгоритму, а також визначено подальші кроки, що рекомендуються при проектуванні конструкції паливних баків або створенні методів їх проектування.

					<i>КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

Список використаної літератури та джерел

1. Бахмутов С.В., Козлов А.В., Теренченко О.С. Водень на транспорті: ДВЗ чи паливні елементи // Актуальні питання машинознавства. с. 36-39. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_50016310_66186501.pdf (дата звернення: 07.03.2024).
2. Медведь П. А. Основи NX САМ / П.А. Медведь.
3. Гончаров П. С. NX Advanced Simulation. Інженерний аналіз/П.С. Гончаров, І.А. Артамонов, Т.Ф. Халітов, С.В. Денисіхін, Д.Є. Сотник. - К.: ДМК Прес, 2012. - 504 с.
4. Гончаров П.С. NX Advanced Simulation. Практичний посібник/П.С. Гончаров, І.А. Артамонов, Т.Ф. Халітов, С.В. Денисіхін, Д.Є. Сотник. - К.: ДМК Прес, 2014. - 112 с.
5. Гончаров П. С. NX для конструктора-машинобудівника/П.С. Гончаров, М.Ю. Єльцов, С.Б. Коршиков, І.В. Лаптев, В.А. Осіюк. - К.: ДМК Прес, 2010. - 504 с.
6. Гребеніжко О.В., Слаутін О.В. Конструкція сучасного паливного бака автотранспортного засобу // NovaInfo. с. 91-96. URL: <https://novainfo.ru/article/11286> (дата звернення: 07.03.2024).
7. Данилов Ю.В. Практичне використання NX/Ю.В. Данилов, В.А. Артамонів. - К.: ДМК Прес, 2011. - 332 с.
8. Почекуєв, Є.М. Основи методів автоматизованого проектування штампів листового штампування в САПР: електронне учеб.- метод. посібник/Є.М. Почекуєв. - К: Видавництво ТДУ, 2014. - 158с.
9. Розов Ю.Г. Методика використання кінцево-елементного аналізу у розрахунках на міцність // Проблеми інформаційних технологій. с. 18-25.
10. Тороп Д.М. Teamcenter. Початок роботи/Д.М. Тороп, В.В. Терликів. - Х. : ДМК Прес, 2011. - 280 с.

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

11. Шафігуллін Л.М., Сотников А.М., Романова Н.В., Шабасєва Є.С., Сарімов Д.Р. Розробка полімерного паливного бака з високими бар'єрними властивостями // Інноваційні машинобудівні технології, обладнання та матеріали – 2018р. 191-194.

12. Ashish T. Patil, NK Kelageri. www.irjet.net/archives/V3/i5/IRJET-V3I5304.pdf

13. Edmund Maputi, Dr. G. Satish Babu. Evaluation of Vehicle Fuel Tank Impact Resistance // International Journal of Science and Research (IJSR). с. 1428-1433. URL: https://www.academia.edu/8076984/Evaluation_of_Vehicle_Fuel_Tank_Impact_Resistance .

14. Fukuhara, K., Hara, M., Matsuura, N., Watanabe, H. Розробка пластикових Fuel Tank За допомогою Modified Multi-Layer Blow Molding // SAE Technical Paper. с. 1-11. URL: <https://doi.org/10.4271/900636>.

15. Jing Zhao, Charbel Kanaan, Robert Clement, Benoit Brule, Henri Lenda, Anne Jonquieres. Permeability of EVOH Barrier Material Used in Automotive Applications: Metrology Development for Model Fuel Mixtures // Oil & Gas Science and Technology. с. 353-366. URL: https://www.researchgate.net/publication/262836228_Permeability_of_EVOH_Barrier_Material_Used_in_Automotive_Applications_Metrology_Development_for_Model_Fuel_Mixtures.

16. Prevention of fire risks : UN ECE Regulation No. 34. URL: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R034r2e.pdf>.

17. R. Thundil Karuppa Raj, T. Bageerathan, G. Edison. Design of fuel tank baffles to reduce kinetic energy produced by fuel sloshing and to enhance the product life cycle // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. С. 244-249. URL: https://www.academia.edu/83537291/Design_of_Fuel_Tank_Baffles_to_Reduce_Kinetic_Energy_Produced_by_Fuel_Sloshing_and_to_Enhance_the_Product_Life_Cycle.

18. Singiresu S. Rao. The Finite Element Method in Engineering – Elsevier

					КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

Inc.

19. T. Sethuram, R. Rajamani ta K. Prakasan. Experimental and numerical analysis of modal properties for automotive fuel tank // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 3. 711-718. URL: https://www.researchgate.net/publication/287019398_Experimental_and_numerical_analysis_of_modal_properties_for_automotive_fuel_tank .

20. Ujjal Kalita, Twisampati Roy Chowdhury, Shahid Khan, Alok Mishra, Santosh Kumar Behera, Manminder Singh Malhi. Optimization of fuel tank using baffles to reduce sloshing effect // Jetir. 3. 307-313. URL: <https://www.jetir.org/papers/JETIR2104241.pdf>.

21. Xianfeng Yang, Zhiqiang Zhang, Jialing Yang, Yuxin Sun. Fluid - structure interaction analysis of drop impact test for helicopter fuel tank // SpringerPlus. c. 1-21. URL: https://www.researchgate.net/publication/308124038_Fluid-structure_interaction_analysis_of_the_drop_impact_test_for_helicopter_fuel

22. Zohir Benrabah, Francis Thibault, Robert DiRaddo. Modeling of Fuel Permeation in Multilayer Automotive Plastic Fuel Tanks // SAE International Journal of Materials and Manufacturing. c. 449-459. URL: https://www.researchgate.net/publication/314079533_Modeling_of_Fuel_Permeation_in_Multilayer_Automotive_Plastic_Fuel_Tanks.

Додатки

					<i>КРБМТВА 2521157. 000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>103</i>