

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

Пояснювальна записка до дипломної роботи магістра

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»

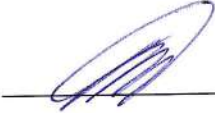
Спеціалізація: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

на тему: «Аналіз процесу обігріву і теплофізичних властивостей матеріалу
вітрового скла автомобіля»

Шифр: МРМТВА 24. 23605.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група МТВАм -23-1  Сергій ГРИНЬКОВ

Керівник

 д.т.н., проф. Олександр ДИХА

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТАМ  Диха О.В.

0 12 2024 р.

Хмельницький, 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр
Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»
Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»
Спеціалізація: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедрою ТАМ
Диха О.В.
" 15 " жовтня 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ

Гриньков Сергій Анатолійович

1. Тема роботи:

«Аналіз процесу обігріву і теплофізичних властивостей матеріалу вітрового скла автомобіля»

керівник проекту: Диха Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

Затверджено наказом університету від 26 серпня 2024р. № 60

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 20.12.20.24 р.
3. Вихідні дані до проекту:

- 1) Дані про умови експлуатації автомобільного скла
- 2) Технічні умови на показники якості технологічних поверхонь деталей автомобілів
- 3) Матеріали переддипломної практики.
- 4) Нормативно – технологічна документація конструкції і обслуговуванню вітрового скла автомобіля
- 5) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Огляд існуючих конструкцій скла з електрообігрівом легкових автомобілів
2. Методи проектування вітрового скла з електрообігрівом
3. Експериментальне дослідження електропідігріву вітрового скла
4. Моделювання теплообміну в САПР у стеклах з електрообігрівом

5. Консультанти розділів роботи


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

6. Дата видачі завдання: 30 вересня 20.24р.

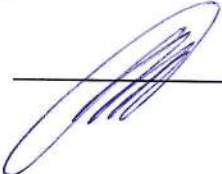
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд існуючих конструкцій скла з електрообігрівом легкових автомобілів	1.11.20.24	
2	Методи проектування вітрового скла з електрообігрівом	15.11.20.24	
3	Експериментальне дослідження електропідігріву вітрового скла	1.12.20.24	
4	Моделювання теплообміну в САПР у стеклах з електрообігрівом	15.12.20.24	
6	Оформлення презентаційних матеріалів	20.12.20.24	

Студент

 Гриньков С.А.

Керівник роботи

 Диха О.В.

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 77 сторінок, кількість рисунків - 48, таблиць - 4, додатків - 1, кількість джерел згідно із переліком посилань - 16.

Студент гр. МТВАм-23-1 Гриньков С.А.

Тема «Аналіз процесу обігріву і теплофізичних властивостей матеріалу вітрового скла автомобіля»

Застосування імітаційного моделювання за допомогою кінцевих елементів дає можливість на етапі проектування автомобіля перевірити вплив теплофізичних властивостей вітрового скла та виконати прогноз картини підігріву та розморожування вітрового скла.

Метою роботи була розробка методики моделювання системи електричного обігріву вітрового скла легкового автомобіля для зниження енерговитрат, підвищення безпеки та комфорту пасажирів.

На виконання поставленої мети вирішені наступні задачі:

Проведений аналіз існуючих конструкцій вітрового скла автомобіля та моделей теплообміну в багатошарових середовищах.

Розроблена електронна модель вітрового скла легкового автомобіля у САД.

Проведене експериментальне дослідження полів температур у вітровому склі у процесі його «розморожування».





Розроблена методика моделювання процесу обігріву вітрового скла автомобіля в САПР

Перелік ключових слів: автомобіль, вітрове скло, нагів, моделювання, САПР, теплообмін

Зміст

Вступ

1. Огляд існуючих конструкцій скла з електрообігрівом легкових автомобілів.....	8
1.1. Конструкції вітрового скла.....	8
1.2. Вимоги безпеки за ТЗ.....	11
1.3. Системи САПР, призначені для проектування вітрових стекол з електропідігрівом.....	13
2. Методи проектування вітрового скла з електрообігрівом.....	18
2.1. Традиційні методи проектування.....	18
2.2. Розробка електронних моделей вітрового скла у САПР.....	31
2.3. Розробка електронних моделей елементів електрообігріву скла в САПР.....	36
3. Експериментальне дослідження електропідігріву вітрового скла.....	42
3.1. Методика проведення експериментального дослідження.....	42
3.2. Опис апаратури та приладів дослідження.....	44
3.3. Аналіз результатів експериментального дослідження.....	51

					МРМТВА 24.23605.000.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз процесу обігріву і теплофізичних властивостей матеріалу вітрового скла автомобіля	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Гриньков						
Перевір.		Диха						
Н.контр.		Бабак				ХНУ, гр. МТВАм-23-1		
Затвер.		Диха						

4. Моделювання теплообміну в САПР у стеклах з електрообігрівом.....58

4.1.Розробка моделі теплообміну вітрового скла з електрообігрівом.....58

4.2. Розробка сітки кінцевих елементів моделі вітрового скла з електрообігрівом.....59

4.3. Моделювання процесу електрообігріву скла.....62

4.4.Аналіз впливу конструкції системи електрообігріву вітрового скла на процес теплообміну.....65

Напрями подальших досліджень електрообігріву вітрового скла.....69

Висновки.....72

Список літератури.....74

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	6	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Вступ

Необхідність підвищення комфортності та безпеки пасажирів диктується постійним посиленням вимог до систем активної (конструкція скла) та пасивної (системи обігріву, розморожування) безпеки. Ці тенденції визначають проектування нового автомобіля та якість його споживчих властивостей. Актуальність теми пов'язана з тенденцією розвитку сучасних PLM систем та активного застосування їх у сучасному автомобілебудуванні. Ці системи дозволяють відтворити майбутній автомобіль на екрані монітора з максимально високою швидкістю та закласти в нього всі необхідні та бажані властивості. Що значно спрощує подальше виробництво та допомагає виявити помилки ще до створення прототипу автомобіля.

У літературних джерелах не представлені методики розрахунку конструкції вітрового скла з електрообігрівом, що зумовлено складністю побудови та розрахунку даної моделі. Проблема полягає в багатошаровості сучасного автомобільного скла та нанесенні на них системи електрообігріву з урахуванням тепловиділення та тепловіддачі кожного елемента. Розвиток методів проектування сучасного автомобіля ґрунтується на чисельних методах кінцевих елементів, що дозволяють і вирішити цю проблему. Використання сучасних продуктів САПР дозволяє створити сценарій розморожування вітрового скла автомобіля та виконати моделювання впливу умов навколишнього середовища, джерел підігріву скла та поведінку повітряних потоків у салоні автомобіля.

Застосування імітаційного моделювання за допомогою кінцевих елементів дає можливість на етапі проектування автомобіля перевірити вплив теплофізичних властивостей вітрового скла та виконати прогноз картини підігріву та розморожування вітрового скла. Віртуальна картина розморожування дозволяє виконати оцінку споживчих властивостей

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

автомобіля на відповідність ДСТУу.

Метою роботи є розробка методики моделювання системи електричного обігріву вітрового скла легкового автомобіля для зниження енерговитрат, підвищення безпеки та комфорту пасажирів.

На виконання поставленої мети потрібно вирішення низки задач.

Завдання роботи:

Аналіз існуючих конструкцій вітрового скла автомобіля та моделей теплообміну в багатошарових середовищах.

Розробка електронної моделі вітрового скла легкового автомобіля у САД.

Експериментальне дослідження полів температур у вітровому склі у процесі його «розморожування».

Розробка методики моделювання процесу обігріву вітрового скла автомобіля в САПР.

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	8	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

1. Огляд існуючих конструкцій скла з електрообігрівом легкових автомобілів

1.1. Конструкції вітрового скла

Світовий ринок запчастин пропонує величезну кількість автоскла за різними цінами.

Основні види конструкцій вітрового скла:

багатошарове скло, що виготовляється з двох або більше шарів, може мати один або кілька прошарків (рисунок 1.1);

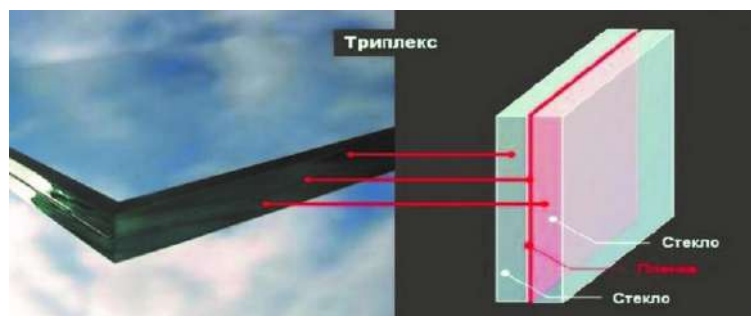


Рисунок 1.1-Багатошарове скло з прошарком (триплекс)

багатошарове звичайне скло, у якого жоден з листів скла, що утворюють його, не піддавався спеціальній обробці; багатошарове оброблене скло, у якого принаймні один із листів скла, що входять до його складу, піддавався спеціальній обробці з метою підвищення механічної міцності та забезпечення нормованого дроблення при ударі;

загартоване скло, піддане спеціальній термічній обробки з метою підвищення його механічної міцності та забезпечення нормованого дроблення при ударі;

безпечне електрообігрівається скло, конструкція якого включає комплекс електропровідних елементів, здатних нагрівати скло з метою видалення з його поверхні запотівання і паморозі для збереження

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	9	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

оглядовості при несприятливих погодних умовах.

Головне призначення вітрового скла - забезпечити достатній рівень видимості дорожнього покриття за будь-якої швидкості автомобіля та різних погодних умов. Дуже важливо, щоб скло було прозорим і міцним, адже воно постійно контактує з дрібними предметами, що летять з-під коліс (щебенем, піском, камінням).

Скло розрізняють за способами виробничих технологій їхнього виготовлення. Можна виділити такі основні способи виробництва:

технологія виготовлення багатошарового скла (триплекс); технологія термічного оброблення.

Технологія виготовлення багатошарового скла полягає в з'єднанні двох шарів скломатеріалу за допомогою пластику з високим показником прозорості. Скло, отримане в такий спосіб, називається триплексом.

Технологія отримання загартованого скла (сталінітів) передбачає спеціальну термічну обробку.

Виробники прагнуть зробити вітрове скло безпечнішим, щоб уламки не завдали пошкодження водію та пасажиром. При великій ДТП скло зазвичай повністю розсипається. Якщо багатошаровий склопакет залишається на місці навіть при сильному ударі, то загартований майже весь руйнується на уламки і вилітає з кузова.

Переваги триплексу-уламки мають тупі грані і розлітаються не відразу. Пластик виступає як каркас, що утримує на собі скло. При сильному ударі з'являється невелика сітка з тріщин, але уламки залишаються на каркасі і не травмують водія та пасажирів.

Виробники прагнуть зробити загартоване скло безпечнішим, але поки що при ДТП залишаються дрібні уламки, які можуть завдати пошкодження водію та пасажиром (рисунок 1.2). Якщо багатошаровий склопакет залишається на місці навіть при сильному ударі, загартований практично вилітає з кузова.

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	10	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			



Рисунок 1.2-Уламки загартованого скла.

Найбільш масовим є скла, вироблені за багатошаровою технологією (триплекс).

Класифікація багатошарового скла:

- механічно стійке скло;
- скло для вогнезахисту;
- скло для захисту від шуму;
- скло для захисту від холоду;
- спеціальне багатошарове із заданими властивостями. Є три

способи виготовлення триплексу:

- заливальний;
- плівковий;
- безавтоклавний.

Технологія виготовлення багатошарового скла на основі заливки використовує склеювання скляних пластин, спеціальною клейкою рідиною, з подальшим опроміненням ультрафіолетом. Такі скляні пакети називають заливним триплексом.

Виготовлення плівкового триплексу відбувається шляхом склеювання скляних пластин спеціальної вінілової плівкою під впливом тиску та високої температури. Для виробництва використовують скло марки 1,2 або 3. Можуть застосовувати візерунчасте скло з армуванням, із захистом від сонця, пофарбоване, з функцією енергозбереження, з покриттям різної твердості. Таке виробництво триплексу наділяє скло більш якісними характеристиками, ніж заливальне виробництво. Для склеювання шарів

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	11	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

між скляними шарами розташовується полівінілбутиральна плівка, після чого конструкція поміщається в коландер для пресування і в автоклав для склеювання. У коландері відбувається вакуумування багатошарового скла. При температурі 115 градусів Цельсія призводить до адгезії. Після чого в автоклаві завершуються процеси пресування.

Безавтоклавна технологія виготовлення триплекс виробляє найбільш якісний триплекс [10]. Але вартість його вища.

Виріб виготовляється таким чином: миття скла; комбінація плівки та скла; вакуумування; вакуумне нагрівання до потрібної температури в спеціальній камері; витримка за високої температури; Вакуумне охолодження.

1.2. Вимоги безпеки за ТЗ

За класами захисту від удару м'яким тілом триплекс ділиться чотирма марки від СМ 1 до СМ 4. Таке багатошарове скло відчувають зіткнення з людиною. Також виготовляють триплекс тонований і безбарвний. Для його виробництва застосовують різні тоновані плівки та полімери. У машинах додають спеціальну сонцезахисну смугу. Також автомобіль повинен відповідати чинному ДСТУ-33992 від 2016 року «Системи очищення вітрового скла від зледеніння та запітніння». Основні термінологія для систем очищення вітрового скла:

зледеніння - це шар інею і (або) льоду на зовнішній поверхні вітрового скла;

система очищення вітрового скла від зледеніння - це система, призначена для розтоплення інею або льоду на зовнішній поверхні вітрового скла;

зона, очищена від зледеніння - це область зовнішньої поверхні вітрового скла, суха або покрита інеєм, що розтанув (частково розтанув), який може бути видалений за допомогою склоочисника;

						МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	12	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

– система очищення вітрового скла від запотівання - це система, призначена для видалення конденсату з внутрішньої поверхні вітрового скла;

– зона, очищена від запотівання - це область внутрішньої поверхні вітрового скла, з якої видалено будь-які краплі або сліди сконденсованої вологи в процесі нормального функціонування системи очищення від запотівання.

Кожен транспортний засіб має бути обладнаний системою очищення вітрового скла від зледеніння. Система повинна ефективно забезпечувати видимість та оглядовість через вітрове скло в умовах холодної погоди.

Система та її ефективність повинні систематично перевірятися. Повинна бути визначена зона видимості вітрового скла, яка очищається від зледеніння після проведених випробувань на ТЗ. Випробування проводять у холодильній камері протягом певного проміжку часу.

Зони огляду для кожного автомобіля визначаються індивідуально (рисунок 1.3).

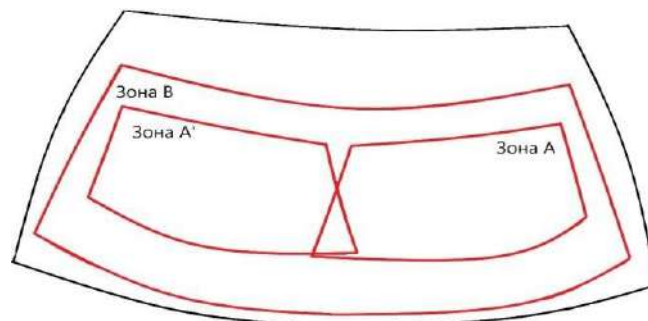


Рисунок 1.3 – Приклад зон безпеки

Автомобільне скло повинно відповідати ДСТУ-32565 від 2013 року за структурою та властивостями. Цей стандарт поширюється на безпечне скло, що застосовується для наземного транспорту: легкових та вантажних автомобілів, автобусів, тролейбусів та іншого транспорту, який експлуатується у всіх макрокліматичних районах на суші.

Залежно від місця встановлення в транспортний засіб безпечне скло поділяють на такі види:

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	13	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

– вітрове скло, що застосовується для скління переднього отвору транспортних засобів, що забезпечує для водія оглядовість у напрямку вперед;

– інші (не вітрові) скла, що застосовуються для скління бічних та задніх отворів транспортних засобів.

Безпечне скло може бути безбарвним або забарвленим (тонованим) залежно від фарбування застосовуваного скла або полімерного покриття, а для багатошарового скла - фарбування прошарку (рисунок 1.4).

Вітрове скло повинно бути виготовлене з багатошарового або багатошарового обробленого скла. Допускається для транспортних засобів, максимальна розрахункова швидкість яких не більше 40 км/год, виготовляти вітрове скло із загартованого скла.

Ще одним документом МС є регламент митної спілки №672/2010 Комісії Європейського Союзу.

Загальні положення:

– кожен транспортний засіб повинен бути обладнаний системою видалення інею та льоду із зовнішньої поверхні вітрового скла. Система відтавання вітрового скла має бути досить ефективною, щоб забезпечувати достатню видимість через вітрове скло за холодної погоди;

– ефективність роботи системи відтавання вітрового скла перевіряється визначенням зон вітрового скла, що розтанули, після витримування транспортного засобу в холодильній камері, через регулярні інтервали часу після запуску двигуна.

Спеціальні вимоги:

– через 20 хвилин після початку випробування поле зору А (встановлюється індивідуально) повинне відтанути на 80%;

– через 25 хвилин після початку випробування відтанула зона з боку пасажирів переднього сидіння повинна бути порівнянна із зоною з боку водія;

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	Арк.
					14	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- через 40 хвилин після початку випробування поле зору (встановлюється індивідуально) повинно відтанути на 95%.

1.3. Системи САПР, призначені для проектування вітрових стекол з електропідігрівом

Проектування вітрового скла та систем кондиціонування салону автомобіля, які задовольняють вимогам ДСТУ, ТС та безпеки

виробляється у сучасних PLM продуктах. До них зазвичай відносять: CAD (Computer Aided Design) системи автоматизованого проектування - програмні пакети, призначені для створення креслень, 3D - моделей та документації, та CAE (Computer-aided engineering) продукти програмні засоби для інженерних розрахунків, аналізу та симуляції фізичних процесів.

CAD системи умовно поділяються на "важкі" (CATIA, NX, CREO), "Середні" (Solidworks, SolidEdge), "легкі" (AutoCad, Компас, T-Flex). У розвитку цих систем різниця можливостей з-поміж них нівелюється.

«Програма NX на всіх етапах життєвого циклу виробу підтримує розробку та виготовлення деталі, починаючи від створення 3D моделей, складання та креслення до формування програми для виготовлення деталі на верстаті з ЧПУ та проектування цехів. Крім того, програма працює з графічним ядром Parasolid, яке є стандартом для багатьох CAD/CAE систем, що забезпечує можливість обміну даними між цими системами та програмою NX. На етапі переходу від фізичної моделі до математичної NX, з набором спеціалізованих інструментів, дозволяє адаптувати дизайн CAD-геометрії для виконання технічного аналізу. Наприклад, функціонали NX можуть спрощувати модель без консультації з проектувальником, видаляти дрібні геометричні елементи, видаляти отвори, округлення, створювати медіанні поверхні, виконувати булеві операції та операції поділу для поліпшення якості сітки, що обчислюється [30].

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	15	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Застосування чисельних методів розрахунку розробки можливих конструкцій та машин диктується необхідністю постійного підвищення надійності та якості продукції, що випускається, а також можливістю використання нових сучасних матеріалів, обліку складних умов роботи сучасних конструкцій, при необхідності підвищення їх конкурентоспроможності та надійності [19]. Максимальний ефект застосування технологій чисельного інженерного аналізу досягається при їх використанні, починаючи з ранніх стадій проектування. Це знижує вартість товару, ймовірність виникнення ризиків і час виходу товару ринку. Основні етапи методу кінцевих елементів: ідеалізація, дискретизація, розв'язання системи диференціальних рівнянь. Під ідеалізацією ми розумітимемо перехід від реальної фізичної моделі до спрощеної (модифікованої) математичної. Однак математичні моделі мають нескінченну кількість ступенів свободи, що спричиняє проблеми при практичній реалізації розв'язання задачі на складній математичній моделі. Обмеження числа ступенів свободи моделі називається дискретизацією, а модель називається звичайно-елементною моделлю» [21].

До найрозвиненіших систем інженерного аналізу (CAE) з урахуванням методу кінцевих елементів ставляться програмні комплекси ANSYS, NASTRAN і ABACUS [27]. Вони дозволяють вирішувати безліч конструкторсько-технологічних завдань.

Для проектування вітрового скла автомобіля найбільший інтерес представляють системи, які використовуються для моделювання теплофізичних процесів. Вони орієнтовані на вирішення теплофізичних завдань у професійній та навчальній діяльності фахівців та студентів відповідних спеціальностей [29]. Можливості та методи проектного інженерного аналізу для вирішення термо-, гідро-, газодинамічних завдань реалізовані у програмних комплексах ANSYS CFX та Simcenter NX. Пакет

					MPMTBA 24.23605.000. ПЗ	16	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Simcenter NX - це професійний аналітичний комплекс, що лідирує серед програм свого профілю.

Simcenter NX – одна з найпотужніших та універсальних багатоцільових систем кінцево-елементного (МКЕ) аналізу для широкого кола інженерних дисциплін. З її допомогою проводяться розрахункові дослідження міцності, поширення тепла, механіки рідин та газів, електромагнетизму, оптимізації, вирішуються пов'язані завдання. Можливості Simcenter можуть нарощуватися при використанні засобів NX Open, заснованих на платформі NET та середовища CLR, мов програмування C/C++, VisualBasic, C, Java, Python. Важливою частиною пакету є програма Simcenter Termal Flow, яка дозволяє вирішувати різноманітні завдання обчислювальної гідродинаміки [26], включаючи ламінарний та турбулентний перебіг потоків, що не стискаються або стискаються.

При вирішенні завдань системами САВ зазвичай виділяють 3 етапи розв'язання:

- етап підготовки рішення (препроцесорний);
- етап одержання рішення (процесорний);
- етап обробки результатів (постпроцесорний)

На етапі препроцесора вибирається тип розрахунку, будується геометрична модель об'єкта чи імпортується з іншої програми. Потім модель кінцевих елементів розділяється (будується сітка) та задаються властивості матеріалів. Навантаження (включаючи граничні умови, сили та переміщення) застосовуються до моделі, і задаються вихідні дані. Рішення починається із запуску програми розрахунку, а результати (значення напруг, швидкостей та теплових потоків переміщень, температур,) зберігаються у спеціальні файли [20].

Аналіз результатів розв'язання задачі виконується загальним постпроцесором, який відображає результати одного кроку рішення, та

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	17	

постпроцесором історії завантажень, що дозволяє переглядати зміни результатів з часом. В обох випадках дані можуть бути представлені графічно або у вигляді списку значень і обчислення можуть виконуватися з використанням цих даних.

Simcenter™ і Siemens PLM Software вони відповідають усім вимогам сучасного процесу проектування і дозволяють досягти революційного підвищення ефективності інженерного аналізу [25].

Маючи розширені можливості 3D-чисельного моделювання та повний набір інструментів для інженерного аналізу, Simcenter пропонує інноваційні методи розрахунку, які дозволяють досягти високого ступеня реалістичності створюваних моделей і забезпечують розуміння процесів, що відбуваються».

Simcenter 3D поєднує знання експертів та «найкращі практики», забезпечуючи спільну роботу інженерів і розрахунків в єдиному середовищі, що включає весь необхідний функціонал для проектування, чисельного моделювання, підготовки, проведення та аналізу даних випробувань та управління даними. Simcenter, створений на основі багатьох десятиліть досвіду у чисельному моделюванні, є продуктом наступного покоління у світі 3D CAE рішень [24]. Він включає перевірені роками розрахункові технології, такі як Nastran, SDRC, I-deas, NX CAE і LMS.

Simcenter 3D пропонує універсальне масштабоване, відкрите і розширюване середовище 3D CAE, що поєднує розрахунки з проектуванням, 1D функціональним моделюванням, випробуваннями та керуванням даними. Simcenter постачається як автономне середовище чисельного моделювання, але також може бути встановлений як інтегрований додаток до NX CAD [23].

Simcenter 3D поєднує всі CAE рішення в єдиному інтегрованому середовищі та дозволяє отримати переваги від використання рішень, які є

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	18	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

галузевими стандартами. Можливість такого інтегрування дозволяє досягти прийнятних результатів моделювання [21]. І якщо цей процес оптимізувати з погляду декількох, найбільш важливих характеристик продукту одночасно, то можна домогтися того, що метод чисельного моделювання буде одним із найуспішніших у проектуванні.

2. Методи проектування вітрового скла з електрообігрівом

2.1. Традиційні методи проектування

Система обдування та обігріву скління автомобіля, застосовується у легкових автомобілях. У процесі експлуатації на поверхні скління автомобіля виникає лід із зовнішнього боку скла, і конденсат у вигляді води або інею з внутрішньої сторони. Для безпечного керування автомобіля необхідно видалення шару льоду та/або конденсату з поверхні скла, та усунення примерзання щіток склоочисника. Для видалення льоду із зовнішньої поверхні скла необхідно його плавлення або обігрів скління. Для видалення внутрішньої поверхні скла конденсату необхідно підвищення точки роси в салоні та обдування для зменшення/видалення волоДСТУі. Під ці цілі в конструкції автомобіля передбачена система обдування та обігріву скління автомобіля.

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Для оцінки ефективності системи обдування та обігріву скління автомобіля необхідно виконати прогноз швидкості та рівномірного очищення скління відповідно до вимог оглядовості з місця водія.

Існує два способи оцінки ефективності обдування та обігріву скління автомобіля за допомогою CFD:

- пряме моделювання танення льоду та видалення конденсату. Нестационарний метод – це процес очищення скління від льоду/конденсату від часу. Мінус підходу – вимагає велику кількість ресурсів та інформації про тепловий баланс деталей автомобіля [28];
- моделювання стаціонарного обдування та обігріву скління автомобіля. Потрібно встановити критерії, що забезпечують виконання вимог щодо очищення від льоду/конденсату.

Методика визначає порядок моделювання стаціонарного обдування та обігріву скління автомобіля. Дозволяє отримати розподіл температури на склі (можна судити про очищення скла від льоду) та розподіл швидкості.

Для отримання результатів у програмному продукті AVL/FIREv2013 моделюється рух повітря з урахуванням теплообміну поблизу вітрового та переднього, бокового скла.

При моделюванні потоку повітря за допомогою програмного забезпечення AVL/FIRE виконується чисельне рішення рівнянь Нав'є-Стоксу (CFD) методом кінцевих об'ємів із застосуванням диференціальної моделі турбулентності першого порядку.

Для запису рівнянь Нав'є-Стокса як кінцевих різниць виконується дискретизація розрахункової області, у своїй створюється комбінована КОМ, чи розрахункова сітка. Залежно від етапу проекту розрахунку КОМ може складатися із блоків, поданих у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Опис КОМ

Блоки КОМ	Етап	Етап
-----------	------	------

дверей, стелі та підлоги, заскленням, панеллю приладів та сидіннями.

Для описуваного завдання важливо змоделювати потік повітря на вітровому та передньому бічних стеклах, а також поблизу них. При цьому необхідно враховувати вплив на потік всієї геометрії салону, тому необхідно створення КОМ всього салону. У межах розрахункової сітки (вітрове та бічні стекла) задається умова твердої стінки з конвекцією, а також на всіх інших гранях умова твердої стінки з нульовими значеннями швидкості та теплового потоку. Звісно-об'ємна, неструктурована сітка повітроводу моделює об'єм повітря всередині нього [7]. При цьому дефростери та бічні демістори можуть бути змодельовані, як у складі блоку повітроводи, так і у складі блоку салону, залежно від зручності побудови розрахункової сітки.

На гранях розрахункової сітки визначається умова твердої стінки з нульовими значеннями швидкості і теплового потоку.

Звичайно-об'ємна неструктурована сітка обігрівача представляє його внутрішній простір у режимі "defrost max" ("все на скло"), при цьому моделюється проходження потоку повітря через радіатор та випарник обігрівача.

На гранях розрахункової сітки визначається умова твердої стінки з нульовими значеннями швидкості і теплового потоку.

Звичайно-об'ємна неструктурована сітка мікродефростера представляє об'єм, укладений у нижній частині вітрового скла (зона, де розташовані щітки склоочисника в непрацюючому положенні), пристроєм розподілу повітря, на лицьовою стороною панелі приладів та кузовом (разом із шумоізоляцією, гідроізоляцією тощо). автомобіля. Так як порожнина між кузовом панеллю приладів автомобіля негерметична і важко

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	22	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

моделюється, вона штучно закривається і організовується скидання повітря в салон автомобіля. Приклад малюнку 2.1.

На гранях розрахункової сітки визначається умова твердої стінки з нульовими значеннями швидкості і теплового потоку.

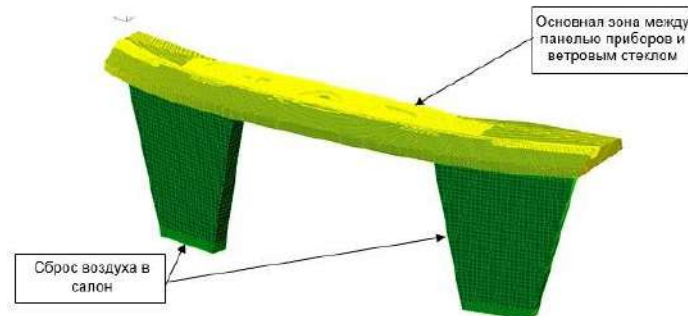


Рисунок 2.1- Приклад КОМ мікродефростера

Розрахункова сітка радіатора та випарника обігрівача покриває простір сердечника радіатора та випарника. Розрахункова сітка створюється за допомогою топологій в автоматизованому препроцесорі AVL/FAMEv2013. В результаті отримуємо кінцево-об'ємну блочно-структуровану сітку, по всьому обсягу якої задано умову пористого середовища.

Моделювання виконується для витрати повітря, що створюється кліматичною системою (обігрівачем автомобіля), при температурі повітря, що відповідає середній на виході з сопел, та атмосферному тиску 105 Па. Витрата повітря представляється в результаті експериментальними випробуваннями або виробником обігрівача.

Моделювання виконується для витрати повітря, що створюється кліматичною системою (обігрівачем автомобіля), при температурі повітря, що відповідає середній на виході з сопел, та атмосферному тиску 105 Па. Витрата повітря представляється в результаті експериментальними випробуваннями або виробником обігрівача.

З метою коректного моделювання відривних та

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	23	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

рециркуляційних зон потоку локальна ефективна в'язкість повітря обчислюється за допомогою диференціальної моделі турбулентності першого порядку $k-\zeta-f$, вбудованої у програмне забезпечення AVL/FIREv2013. Розробка КОМ, як правило, складається з наступних етапів:

- створення геометричної моделі розрахункової області та створення на її базі КОМ із застосуванням автоматизованого чи інтерактивного препроцесора. Перед генерацією КОМ засобами програмного забезпечення AVL/FIRE геометрична модель має бути перетворена на формат STL;
- створення розрахункової сітки вхідної та вихідної зони;
- розрахункова сітка моделюється за допомогою екструзії на межах розрахункової галузі;
- вхідна та вихідна зона може бути організована у складі моделі STL;
- підготовка робочого об'єму та створення неструктурованої кінцево-об'ємної моделі салону;
- геометрична модель салону виконується на основі деталей кузова автомобіля разом з панеллю приладів, склінням, внутрішнім облицюванням кузова, дверей та сидіннями автомобіля;
- геометрична модель дефростерів і бічних демісторів можуть бути організовані як у складі геометричної моделі салону, так і в повітроводі.

Геометричні електронні моделі деталей, такі як заслінки, датчики, дефростери, демістори можуть готуватися окремо, це дає можливість за необхідності замінювати ту чи іншу деталь без повторного створення геометричної моделі повного розрахункового обсягу.

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	24	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Необхідна робота з доопрацювання (спрощення) геометричної моделі виконується у графічному програмному забезпеченні (CATIA, ANSA, NX або іншому).

Для спрощення геометричної моделі дрібні деталі, розміром менше 5мм (ребріблення, уступи і т.д.) повинні бути видалені, для складної геометрії (пази, фазки тощо) застосована спрощена модель, що відтворює основну геометрію.

Геометрична модель передається з графічного пакета до автоматизованого препроцесора AVL/FAMEv2013 у форматі STL і є дискретним набором трикутних елементів, що описують вихідну поверхню із заданою точністю.

На малюнку 2.2 показаний приклад моделі STL у препроцесорі AVL/FAMEv2013.

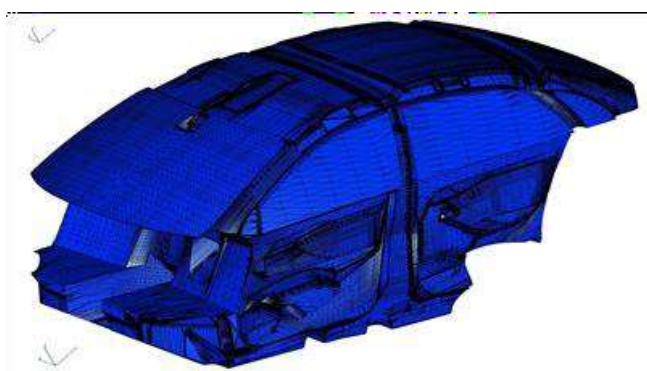


Рисунок 2.2 Приклад моделі STL

В AVL/FAMEv2013 на першому етапі моделі STL повинні бути створені підмножини (групи) трикутних елементів, для яких будуть задаватися розмір і глибина поширення розміру комірок КОМ [6]. Розмірний ряд осередків КОМ будується шляхом поділу попереднього розміру навпіл. Додатково для керування розмірами осередків КОМ мають бути створені тривимірні об'єкти – лінії (3D-об'єкти типу “Line”) у зоні бічних демісторів.

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для економії ресурсів та спрощення процесу створення КОМ можна розділити салон на кілька зон залежно від важливості:

- зона 1. Потрібно створення КОМ із точним повторенням геометрії деталей. В зону входить: вітрове та переднє бічні стекла, панель приладів (з демісторами та дефростерами), козирок комбінації приладів, зона між вітровим склом і дефростерами та панель приладів у бік салону на ~100мм, оббивка передніх дверей у зоні демісторів та бічних;

- зона 2. Створення КОМ із досить точним повторенням геометрії. В зону входять: оббивки стійки А, дахи у бік салону на ~150мм, дзеркало заднього виду з корпусом датчиків, оббивка передніх дверей на рівні під лінією вікна, рульове колесо;

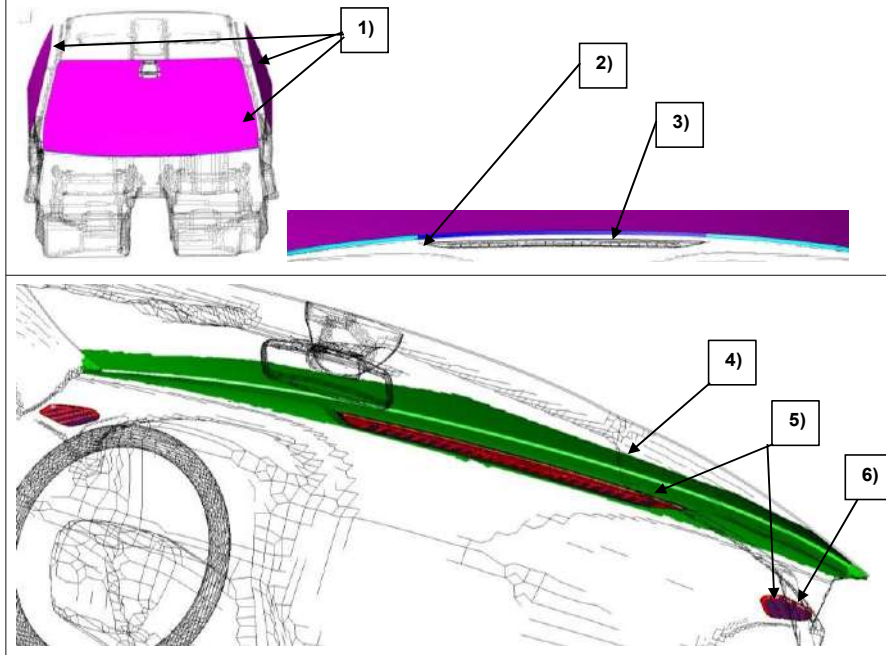
- зона 3. У процесі створення КОМ можливі розбіжність та спрощення геометрії, за відсутності інформації – заміна з інших проектів. В зону входять: оббивки дверей, підлога, стеля, сидіння, заднє і бічні задні скла. Тип кузова неважливий [1].

Поблизу вітрового та переднього бокового скла рекомендується задавати розміри осередків у підмножинах Selections, представлені в таблиці №2.

Таблиця 2.2- Візуалізація розбивки моделі STL на групи елементів.

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Візуалізація розбивки моделі STL на групи елементів



Розбивка на групи елементів	Опис групи
1 колір рожевий	Вітрове та бічні стекла. Розмір осередків 12мм; Глибина розповсюдження 100мм.
2 колір блакитний	Поверхня між вітровим склом та панеллю приладів. Розмір осередків 6мм; Глибина розповсюдження 180мм.
3 колір синій	Частина поверхні між вітровим склом та панеллю навпроти дефростера. Розмір осередків 3мм; Глибина розповсюдження 15мм
4 колір зелений	Нижня частина вітрового скла, частина приладів панелі. Розмір осередків 6мм; Глибина розповсюдження 0мм.
5 колір червоний	Дефростери та бічні демістори. Для дефростера: розмір осередків 6 та 3мм; глибина поширення 20 та 15мм. Для демістора: розмір осередків 3 та 1,5мм; глибина поширення 15 та 5мм відповідно.
6 колір фіолетовий	Допоміжні поверхні для об'єднання КОМ на дефростері та бічних демісторах. Розмір 0,75 мм; Глибина розповсюдження 0мм

У групах елементів моделі STL, до яких входять тонкі та

близько розташовані деталі, при автоматичній генерації розрахункової сітки має бути активоване видалення граничного шару осередків для запобігання «склеювання» осередків на близьких гранях моделі STL – за допомогою функції препроцесора `Remove_cells`.

Розрахункова сітка повинна докладно повторювати геометрію дефростера і бічних демісторів, з усіма ребрами, ґратами, уступами і перегородками, а також геометрію допоміжних поверхонь [2].

Розрахункова сітка на поверхні вітрового та переднього бокового скла повинна повторювати точно межі та поверхню геометричної моделі скління автомобіля. При цьому на вітровому та передньому бічному склі необхідно побудувати один додатковий граничний шар товщиною 2,5мм, що забезпечує значення $y^+ <$ в діапазоні 11...150. Побудова додаткового шару провадиться за допомогою екструзії.

Для точного моделювання руху потоку та теплообміну необхідно створення шаруватої структури розрахункової сітки на вітровому склі. Для цієї мети використовується поворот моделі STL (`Modify – Rotate`), так щоб поверхня вітрового скла виявилася нормальною до осі системи координат. Після генерації сітки необхідно повернути КОМ у вихідні координати.

Створення топологічних ребер в КОМ забезпечується ребрами моделі STL - об'єктами типу `Edge`, побудованим в препроцесорі FAME для моделі STL. Для створення ребер STL використовується функція `Auto_edge`. Топологічні ребра моделі STL повинні бути використані при створенні топологічних ребер КОМ для подальшого точного об'єднання блоків КОМ по допоміжним поверхням відповідно до 5.5 і для завдання

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	28	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

граничних умов на поверхні.

Автоматична генерація КОМ здійснюється за допомогою інтерфейсу Hybrid_Assistant. Розрахункова сітка будується відразу з одним додатковим прикордонним шаром за допомогою завдання 2 шарів (Number_of_boundary_layers - 2) в автоматичному генераторі сіток. Таким чином, у сітці генерується прикордонний шар, отриманий поділом першого осередку навпіл.

Після створення розрахункової сітки необхідно провести корекцію сітки на допоміжних поверхнях, необхідних об'єднання сітки, за допомогою функцій Mapping та/або Move_point [5]. Ці функції дозволяють «підтягнути» до поверхні комірки, які у процесі автоматичної генерації деформувалися.

Підготовка робочого об'єму та створення неструктурованої кінцево-об'ємної моделі повітроводів.

Геометрична модель повітроводу представляється на основі деталей корпусу повітроводу обігріву вітрового скла та нижньої, не лицьової поверхні панелі приладів разом із ущільнювачами.

Процес створення КОМ повітроводу аналогічний процесу створення розрахункової сітки в салоні. Розмір осередків КОМ вибирається виходячи з локальних розмірів деталей таким чином, щоб у всіх зазорах, в яких моделюється повітряний потік, розміщувалося в поперечному напрямку мінімум п'ять осередків, за винятком граничних шарів осередків. У зонах, де структура потоку має істотне значення, між протилежними ділянками граничної поверхні повинно розміщуватися не менше восьми осередків у поперечному до потоку напрямку, крім граничного шару осередків.

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	29	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

У процесі створення КОМ, для покращення якості та зменшення кількості осередків у розрахунковій сітці, можливе стиснення та/або поворот моделі STL (Modify – Rotate, Modify – Blow). Після генерації КОМ необхідно перетворення у зворотному порядку.

Граничний шар не будується автоматично, додається окремо за допомогою функції Boundary_refinement, у якій існують такі параметри:

- number of Result Boundary Layer кількість шарів, що додається в результаті 3;
- nr.Bnd Layer кількість шарів, що додаються 2;
- thickness товщина шару 0,0007;
- compression стиснення 1.

Геометрична модель обігрівача будується на основі наступних деталей: корпус обігрівача, заслінки, ущільнювачі, датчики і т.д.

Процес створення КОМ обігрівача аналогічний процесу створення розрахункової сітки в повітроводі.

Підготовка робочого обсягу та створення неструктурованої кінцево-об'ємної моделі мікродефростера.

Геометрична модель мікродефростера створюється на основі наступних деталей: вітрового скла, кузова з облицюванням, не лицьовою частиною панелі приладів та влаштування розподілу потоку (у складі повітроводу обігріву вітрового скла).

Процес створення КОМ мікродефростера аналогічний процесу створення розрахункової сітки в повітроводі.

При побудові КОМ мікродефростера зона між вітровим склом та панеллю приладів має малий розмір перерізу

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	30	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

відповідно для опрацювання геометрії необхідний малий розмір осередків. На прикордонному шарі вітрового скла розмір осередків значно більший. Маємо помилку в русі потоку (різкий перепад розміру осередків), при цьому точно моделюємо теплообмін.

Створення блочно-структурованої сітки теплообмінників (радіатор/випарник обігрівача).

У процесі створення моделюється прямокутний об'єм сердечника теплообмінника. Розрахункова сітка створюється за допомогою топологій в автоматизованому препроцесорі AVL/FIREv2013.

Кількість осередків за товщиною теплообмінника 10-12.

Останнім етапом при створенні КОМ має бути перевірка на якість осередків функцією Check. Не допускається наявність осередків з Negative_volume та Negative_normal [4].

Приклад візуалізації розподілу швидкості потоку повітря поблизу поверхні вітрового скла автомобіля показано малюнку 2.3.

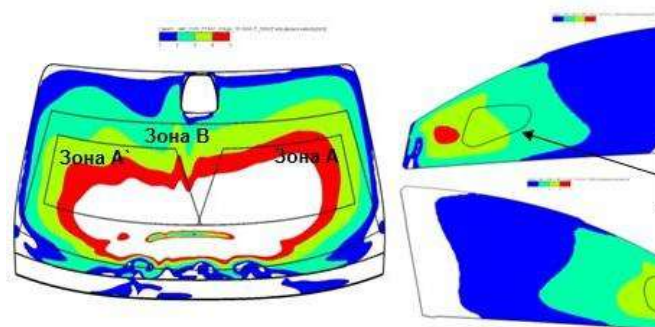


Рисунок 2.3- Візуалізація швидкостей потоків повітря на склі

За розподілом швидкості потоку поблизу поверхні скла перевіряється досягнення цілей, що задаються вимогами.

Результат обігріву скління – розподіл ізотерм температури на вітровому та боковому склі. Ізотерми температури можна співвіднести з часовими лініями очищення скла від льоду (рисунок 2.4). Лінії очищення скла льоду можуть бути отримані в результаті експерименту або повного розрахунку.

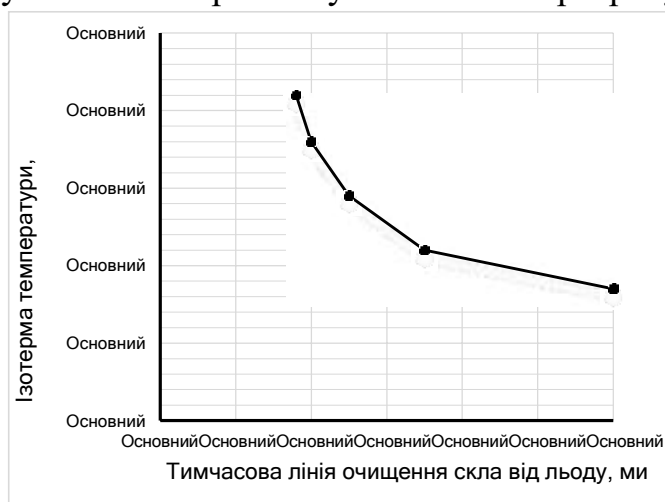


Рисунок 2.4 Приклад залежності ізотерм температури
Приклад візуалізації температури та часу очищення від
льоду відображено на малюнку 2.5.

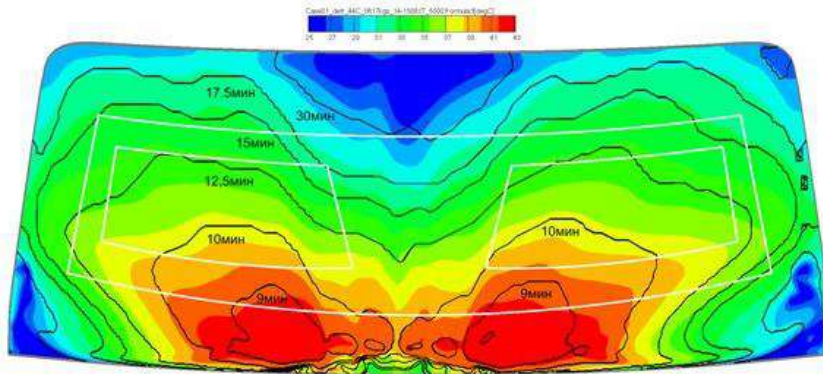


Рисунок 2.5- Приклад візуалізації температури та часу очищення від льоду

За розподілом температур та відповідним їм лініям очищення скла від льоду, перевіряється виконання вимог чи ДСТУом. З метою зменшення шуму системи обдування та обігріву скління за допомогою візуалізації потоку необхідний пошук та подальше усунення ділянок конструкції, де досягається швидкість потоку повітря більше 15 м/с.

Для формування стабільного, спрямованого потоку за допомогою візуалізації потоку необхідний аналіз швидкості потоку повітря на виході із сопел системи обдування та обігріву скління. Значення мінімальних швидкостей мають становити 8...10 м/с [3].

Для ефективного розподілу потоку повітря на склінні необхідна перевірка балансу витрати повітря, що подається на вітрове та передні бічні стекла. Опорні значення витрати повітря вітрове/бічні передні стекла приймаються близькі до 80/20%.

Одним із недоліків моделювання системи обдування та обігріву скління автомобіля є відсутність обліку в загальному енергобалансі тепловиділення в нагрівальних елементах багатошарового скла (триплексу)

2.2. Розробка електронних моделей вітрового скла у САПР

Для створення електронних моделей вітрового скла ми скористаємось програмним забезпеченням NX 9 та CATIA V5.

						МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	33	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

1. Запускаємо Catia V5.
2. Проектуємо геометрію вітрового скла зі збирання автомобіля в САТІА і створюємо файл з моделлю геометрії (рисунок 2.6).

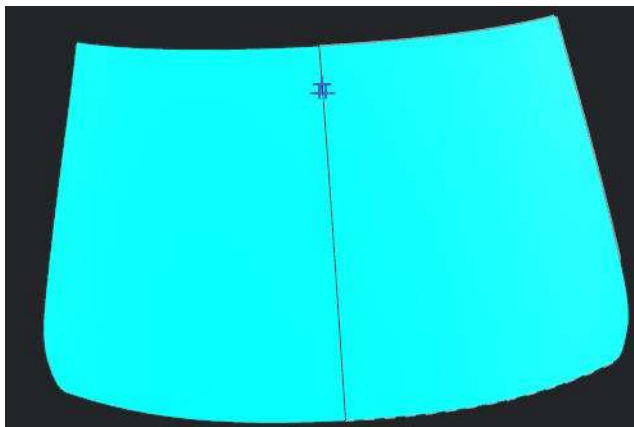


Рисунок 2.6 - Модель геометрії

3. Запускаємо в NX файл, отриманий в п.2.
4. Переходимо в режим "Моделювання".
5. За допомогою набору функцій "складна крива, довжина кривої" починаємо створювати контур половини скла (рисунок 2.7).

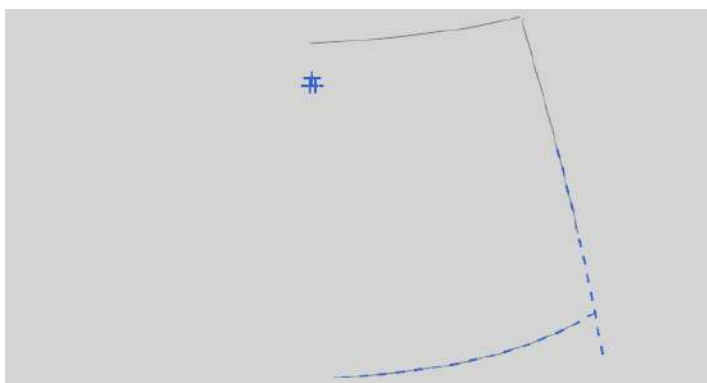


Рисунок 2.7- Побудова контуру скла

6. За допомогою набору функцій "Обрізання кривих", "Крива об'єднання", "Складна крива" добудовуємо контур (рисунок 2.8).

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	34	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

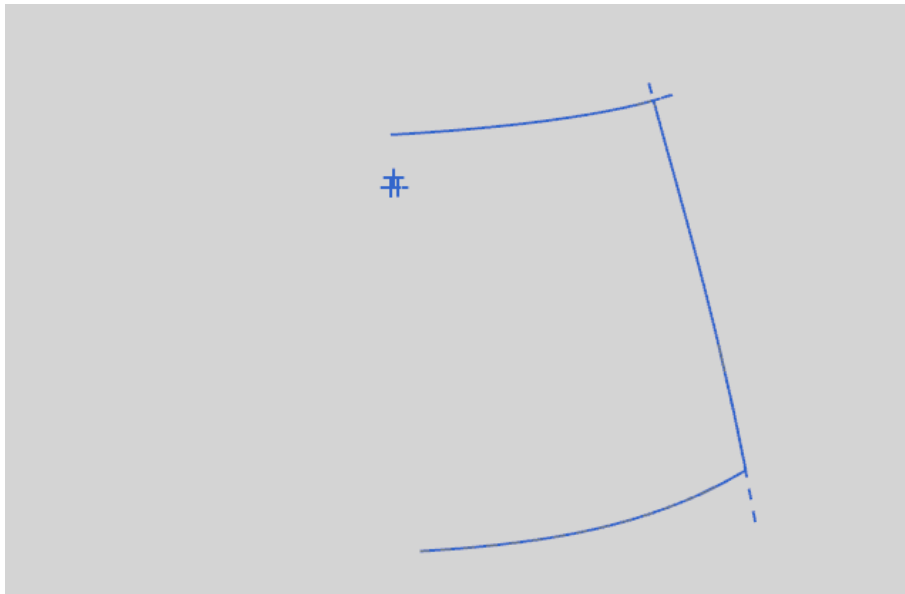


Рисунок 2.8 - Контур скла

7. Використовуючи «Поверхню студії», створюємо поверхню за побудованим контуром (рисунок 2.9).

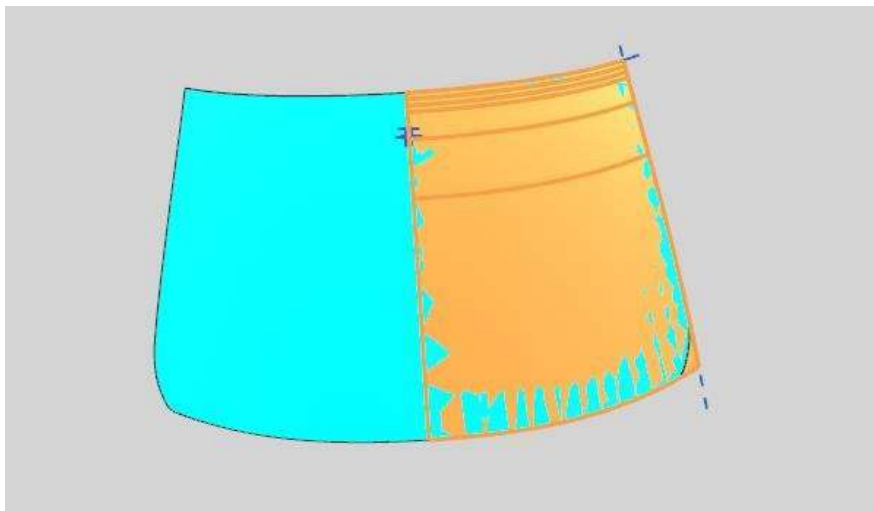


Рисунок 2.9- Побудова поверхні студії

8. Далі створюємо дзеркальну геометрію побудованого контуру та поверхні за допомогою функцій «Дзеркальна геометрія» та «Поверхня студії» (рисунок 2.10).

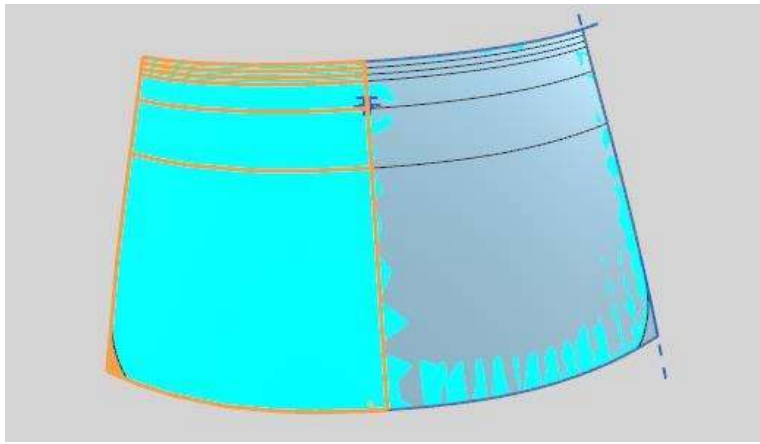


Рисунок 2.10- Дзеркальна геометрія

9. Потовщуємо отриману поверхню за допомогою функції «Потовщення» (рис. 2.11).

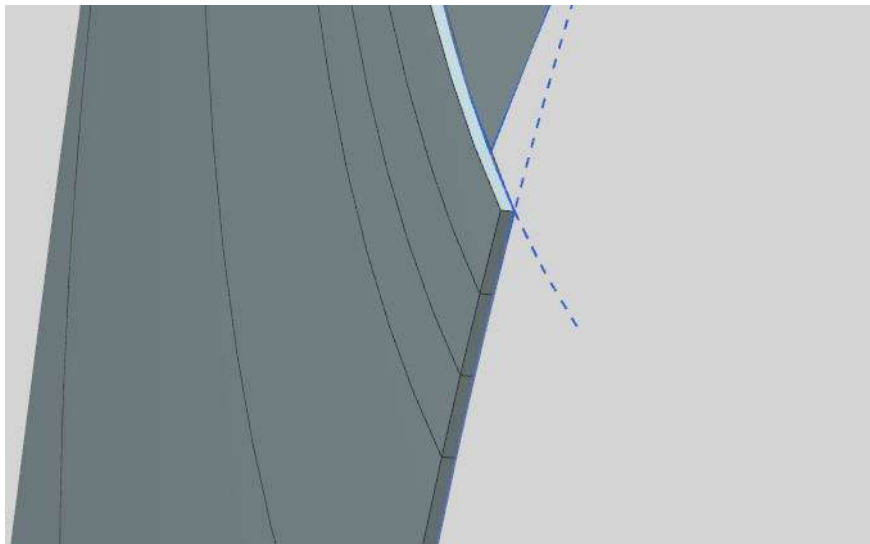


Рисунок 2.11- Потовщення поверхні

10. Для створення серединної поверхні використовуємо функції «Автоматична пара» та «Пара серединної поверхні» (рис. 2.12).

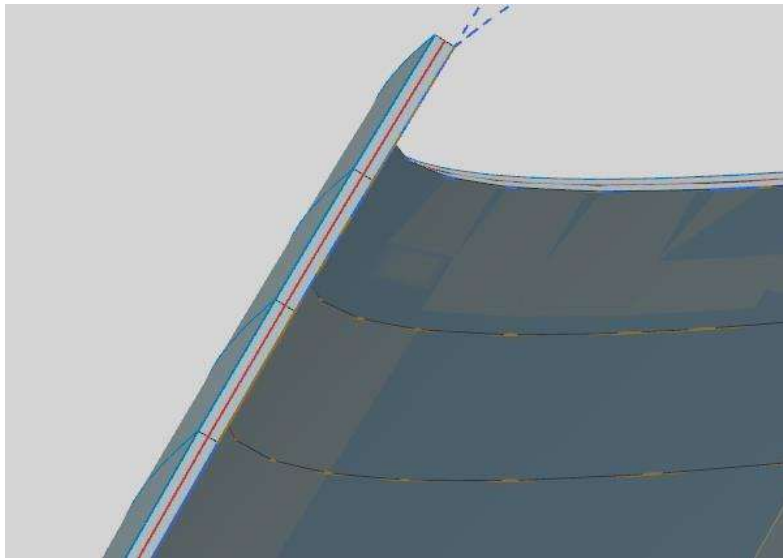


Рисунок 2.12- Побудова пари серединної поверхні Середня поверхня нам знадобиться надалі для прискорення розрахункової моделі.

11. Проводимо перевірку одержаної геометрії на кривизну за допомогою функції «Аналіз відображення» (рис. 2.13).

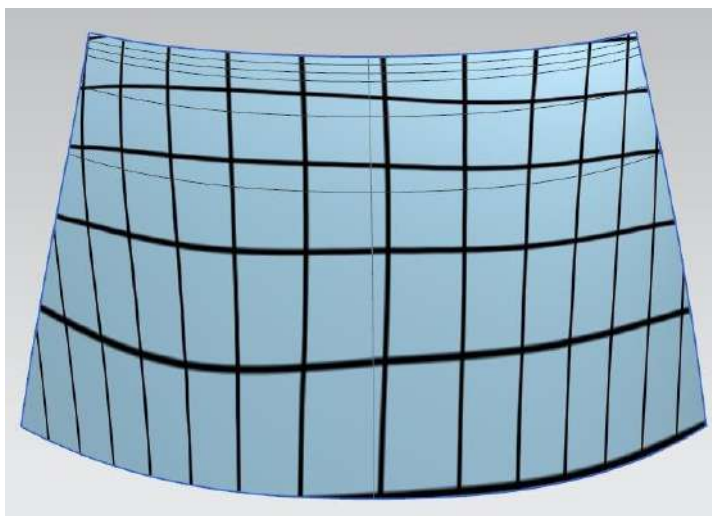


Рисунок 2.13- Аналіз відображення

«Аналіз відображення виробляється, тому що вітрове скло, це скло поверхні класу «А» в даний момент виробник продукції, який хоче бути конкурентоспроможним на ринку, за допомогою актуального дизайну та якості виробу, змушений різними способами контролювати якість поверхонь свого продукту. Нині сформувалися такі поняття, як поверхні

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	37	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

різних класів: А, В, С – клас відповідає якості цих поверхонь. Але при цьому ще не створено нормативної бази, яка контролює цю сферу, як ДСТУ, ОСТ, стандартів сертифікації, ISO стандартів. Великі підприємства у сферах автомобілебудування, літакобудування та інших сферах, пов'язаних із промисловим випуском продукції, з початку 2000-х років почали самостійно формувати внутрішні нормативні документи у вигляді технічних вимог до своєї продукції (наприклад, такі компанії як BMW, SAAB, Audi, Toyota та ін.).

Загальноприйняті, але не зафіксовані вимоги до поверхонь класу «А» (найякісніші поверхні) зводяться до наступних принципів:

1. використання других похідних G2 і вище (у певних задачах так само використовуються похідні G0 та G1 (див. рис.);
2. дроблення складної поверхні на прості, без переривання відблиску формою.

Поверхні класу "А" тісно пов'язані з естетикою продукту. Відображення та відблиски на глянцевоїй поверхні грають визначальну роль. Якщо поверхня не відповідає вимогам, то, відповідно, відблиски та відображення будуть порушені. Для забезпечення естетики з'єднання поверхонь використовують безперервність кривизни поверхні. Безперервність кривизни поверхні означає рівність похідних по поверхні сполучення.

G0 - Positional Continuity – з'єднання кривих та поверхонь з безперервністю за розташуванням. G0 з'єднує профільні криві поверхні з безперервністю, заснованої тільки на розташуванні, тобто з'єднання відбувається стик у стик. У цьому випадку утворюється видиме ребро та явне заломлення відблиску на тривимірному об'єкті.

G1 - Tangent Continuity – дотичне з'єднання. За такої безперервності збігаються не тільки кінцеві точки кривих або поверхонь, але й дотичні до цих точок. І хоча цей тип з'єднання не допускає ДСТУрих країв, він все

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	38	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

одно не дає ідеально гладкого інтерфейсу.

G2 - Curvature Continuity – безперервність у кривизні. За такого типу з'єднання одна крива перетворюється на іншу, і кінцева точка першої збігається з початковою точкою другої. Крім того, щодо цих точок і радіуси однакові. Візуально відрізнити перехід від однієї поверхні до іншої неможливо, а відблиски виходять ідеально рівними. Стандартом для створення високоякісних поверхонь є G2.

G3 і G4 – розвинені ступеня безперервності, у яких при з'єднанні використовуються криві більш високих порядків, ніж поверхні, що задовольняють безперервності G2. Тобто це свого роду ітерація розвитку G2 безперервності» [27].

2.3. Розробка електронних моделей елементів електрообігріву скла в САПР

Конструкція багатошарового вітрового скла легкових автомобілів містить електронагрівальні елементи, виконані у вигляді тонких вольфрамових ниток на підкладці полівінілбутиральної плівки. Побудова електронної моделі багатошарового скла має враховувати різну товщину шарів скла та плівки. Для моделювання геометрії триплексу та вольфрамових «ниток» елементів обігріву вітрового скла необхідно провести симуляцію для частини елемента вітрового скла, а не для всієї поверхні. Це потрібно виконати з метою перевірки працездатності моделі та перевірки впливу різних параметрів конструкції триплексу на процес теплообміну. Виконання фізичного моделювання процесів нестационарного теплообміну для повної моделі скла може призвести до ризику витрати значного часу на виконання перевірки та розрахунків для кожного варіанта виконання. Для виключення зайвих тимчасових витрат збудуємо невелику частину вітрового скла у вигляді тришарового прямокутника 100x50 з поданням вольфрамових ниток у вигляді прямих ліній

						МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	Арк.
						39	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Алгоритм виконання побудови:

1. Запускаємо NX у режимі «Моделювання»;
2. Створюємо в базовій системі координат за допомогою операції "Блок" тришарову модель з розмірами 100x50 (рисунок 2.14). Приймаємо товщину першого шару 2,5 мм, другого 0,5 мм, третього 2,5 мм.

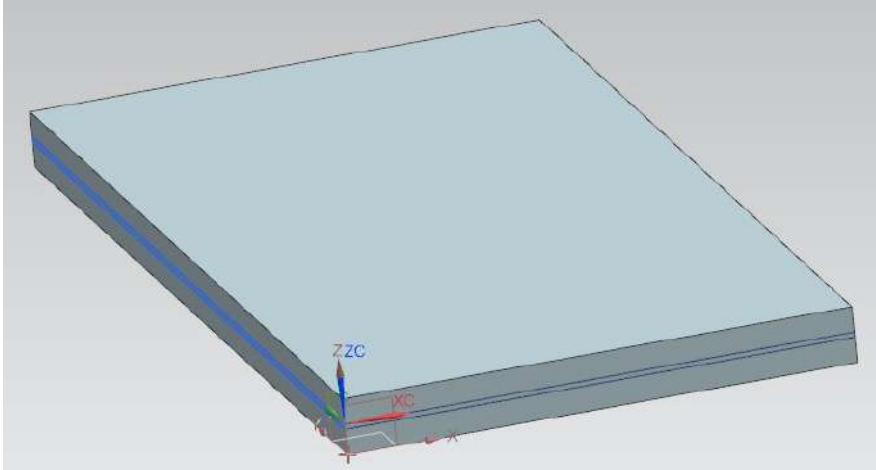


Рисунок 2.14 - Тришарова модель

На вітровому склі нитки електрообігріву розташовуються вертикально з кроком 3.5мм і мають хвилясту форму, як показано на малюнку 2.15:

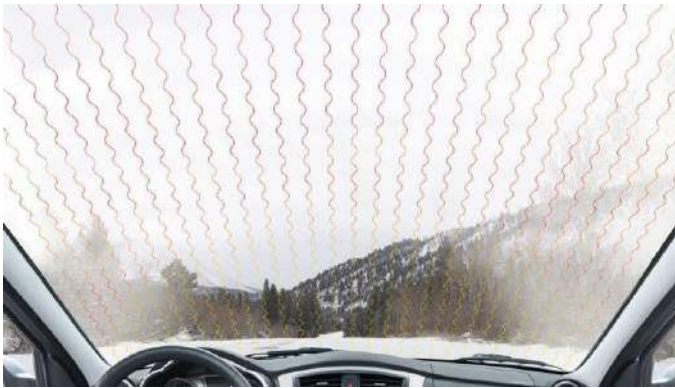


Рисунок 2.15- Приклад розташування ниток

Побудова таких елементів це вкрай складне і трудомістке завдання. Так само не зрозуміло, чи має критичний вплив «хвилястість» на розморозжування або таку геометрію можна знехтувати. Для відповіді на це питання ми провели розморозку та за допомогою тепловізора

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	40	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

фотофіксацію та отримали результат, зображений на малюнках 2.16, 2.17, 2.18, 2.19:

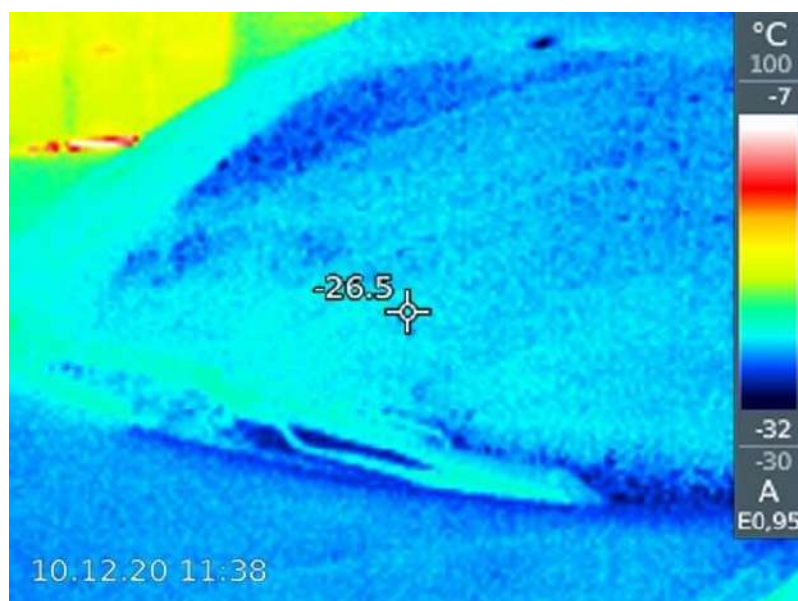


Рисунок 2.16- Початок роботи електрообігріву. Дані тепловізора про температуру на поверхні скла

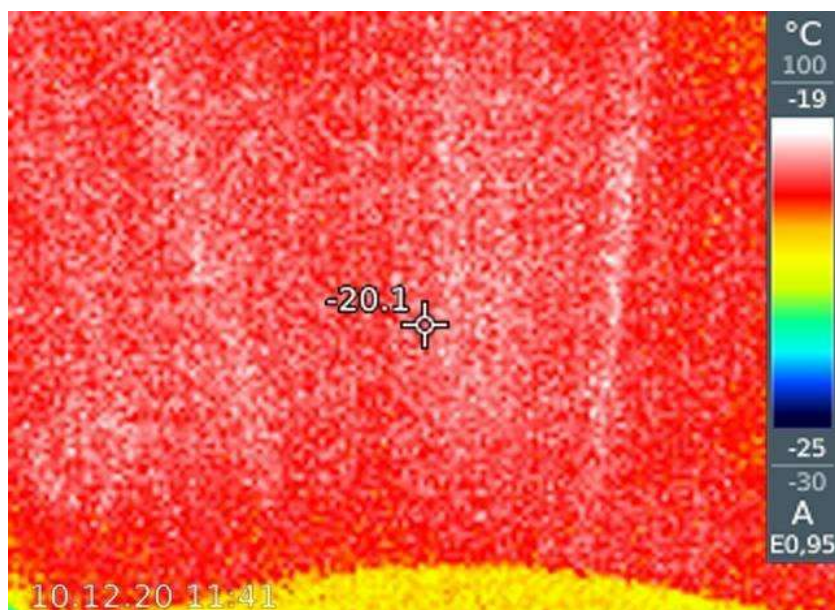


Рисунок 2.17- Дані тепловізора про температуру на поверхні скла через 3 хвилини нагрівання

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	41	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

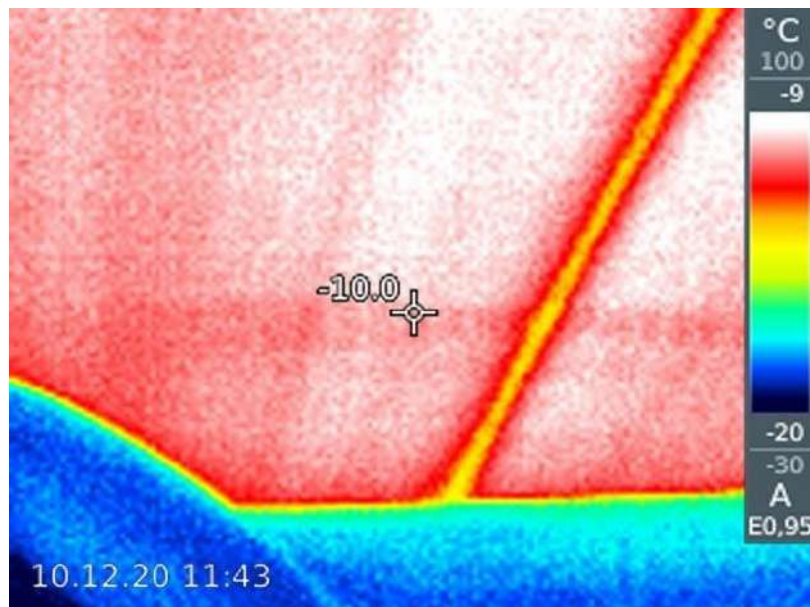


Рисунок 2.18- Дані тепловізора про температуру на поверхні скла через 4 хвилини нагріву (вигляд із салону)

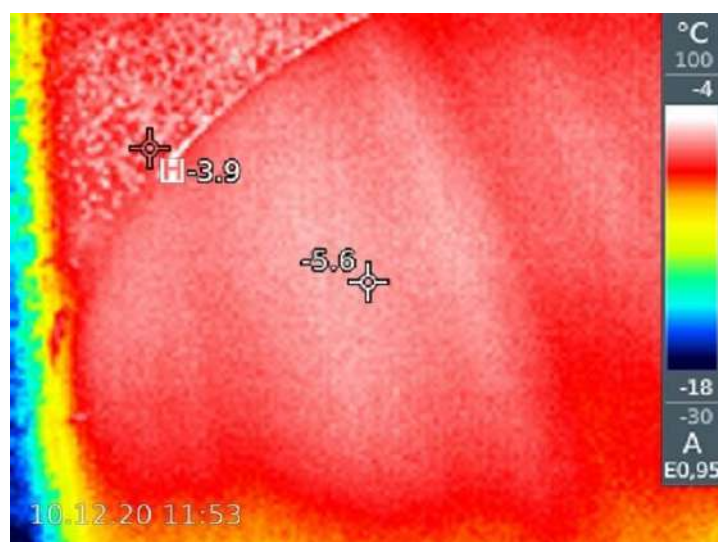


Рисунок 2.19- Дані тепловізора про температуру на поверхні скла через 15 хвилин нагрівання

З отриманих даних можна дійти невтішного висновку у тому, що обігрів відбувається поступово і хвилястість ліній впливає інтегральні характеристики теплообміну. Тому прийняте рішення про спрощення електронної моделі та подання електрообігрівальних елементів у вигляді прямих із середнім кроком у 3.5 мм (рисунок 2.20) є обґрунтованим та допустимим:

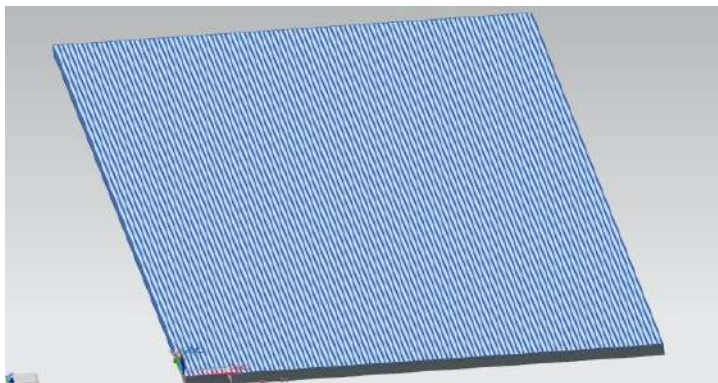


Рисунок 2.20- Кінцевий вигляд електронної «локальної» моделі вітрового скла

Висновки

1. Встановлено, що результати моделювання обдування та обігріву вітрового скла за допомогою програмного продукту AVL/FIREv2013 не враховують тепловкладання електричних нагрівальних елементів багатошарового скла у процес теплообміну.
2. На підставі експериментальних досліджень виявлено, що інтегральні поля розподілу температур на поверхні вітрового скла не залежать від хвилястості геометрії вольфрамових ниток електронагрівальних елементів.
3. Розроблено геометричну електронну модель тришарового вітрового скла з прямолінійними електронагрівальними елементами на основі створеної локальної бази матеріалів триплексу.

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	43	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

3. Експериментальне дослідження електропідігріву вітрового скла

3.1.Методика проведення експериментального дослідження

Методика проведення експериментального дослідження передбачає два етапи дослідження:

1. Дослідження температурних полів на поверхні вітрового скла за допомогою тепловізора.
2. Дослідження та фіксація полів температур вітрового скла легкового автомобіля за допомогою вимірювального обладнання та термопар при негативних температурах навколишнього повітря.

Методика проведення зйомки за допомогою тепловізора:

- автомобіль поміщається в середу з негативною навколишньою температурою (вуличне паркування, кліматична камера);

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	44	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

- автомобіль повинен бути витриманий не менше 8 годин або до стабілізації температури поверхні скла з навколишньою температурою;
- далі оператор запускає двигун автомобіля та включає електрообігрів вітрового скла;
- картина розподілу температур фіксується з різних ракурсів, що забезпечують кращу видимість;
- після закінчення зйомки двигун автомобіля зупиняють.

Методика проведення фіксації температур з реального автомобіля за допомогою вимірювального обладнання вимірювання температури з внутрішньої та зовнішньої сторони вітрового скла проводилися контактними термопарами за такою методикою:

1. Установка термопар (датчики вимірювання температур) на внутрішній та зовнішній поверхні (рисунок 3.1, 3.2) вітрового скла у кількості 8 штук один навпроти одного, фіксуються за допомогою герметика та армованого скотчу, обов'язково забезпечуючи щільний контакт термопари.



Рисунок 3.1-Встановлення термопар зовні

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	45	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			



Рисунок 3.2-Встановлення термопар на внутрішню поверхню

2. Підключення термопар до вимірювального обладнання;
3. Перевірка функціональності вітрового скла та датчиків запису;
4. Витримка автомобіля перед вимірюваннями на відкритій вуличній парковці (у кліматичній камері) не менше 18 годин або до стабілізації температур на внутрішній та зовнішній поверхні скла з навколишньою температурою;
5. Температура випробувань (відповідно до ДСТУ) $-18^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$;
6. Після витримки автомобіля та досягнення необхідних значень навколишньої температури, запускається секундомір та проводиться запис температур вітрового скла;
7. Обігрівач не вмикається, горять лише габаритні вогні;
8. Запис величин температур провадиться протягом 30 хвилин. Після закінчення цього часу запис припиняється і двигун зупинявся.
- 9.

3.2.Опис апаратури та приладів дослідження

Вимірювальні модулі імc CANSASflex-SCI16 (рисунок 3.3) та SCI8 (рисунок 3.4) являють собою 8 або 16 каналні вимірювальні підсилювачі CAN bus, які включають аналогове кондиціонування сигналів фізичних

датчиків, оцифрування та виведення через CAN bus. Мультиплексовані, ізольовані диференціальні входи дозволяють (залежно від варіанту) отримувати:

- напруга (від 100 мВ до 60 В);
- струм (датчики 20 мА);
- температура (термопари, РТ100).

Версії модулів із роз'ємами DSUB-15 підтримують усі режими вимірювань. Версії з альтернативними роз'ємами, такими як термопарні входи, підтримують тільки ці вибрані режими. Модулі випускаються як у коротких, так і довгих корпусах. Спеціальні методи, спрямовані на придушення шуму та перешкод (особливо блочне усереднення), дозволяють проводити дуже чутливі вимірювання напруги та температури навіть у складних умовах, незважаючи на свою мультиплексну архітектуру.



Рисунок 3.3-imc CANASAFlex-SCI16



Рисунок 3.4 imc CANASAFlex-SCI8

При частоті дискретизації 1 Гц (SCI16) або 2 Гц (SCI8) це гарантує дуже стабільні вимірювання та ефективне придушення шуму та

Загальні функції та технічні характеристики імс CANSAS flex.

Модулі серії імс CANSASflex (CANFX) можна з'єднати спільно механічно та електрично за допомогою закриття на засувки ("клацання") механізму, без використання всіх інструментів і потреби додаткових кабелів, а також дозволяють відразу з'єднати CAN-logger імс BUSDAQflex (BUSFX). Залежно від типу модуля вони доступні в довгих (L-), коротких або обох варіантах корпусу.

Крім фіксованих установок або діяльності на лабораторному стенді, модулі також конструйовані для пристрою у спеціальній 19" subrack для того, щоб забезпечити зручний дозвіл в установках випробувальної станції.

Для випробувальних установок, випробувань транспортних засобів, дорожніх випробувань та багатоцільових вимірювань, що розгортається як у децентралізованих, розподілених, так і в централізованих вимірювальних установках, працює з CAN-інтерфейсами та CAN-реєстраторами даних як від імс, так і від сторонніх виробників.

Умови експлуатації:

- Робоча температура: від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$, допускається конденсація
- Удароміцність: 50 г (пк понад 5 мс)
- Захист від проникнення - IP40 (тільки з додатковою захисною кришкою на верхній частині стопорного повзунка, інакше IP20)

CAN-Bus:

- Швидкість передачі даних, що налаштовується (не більше 1 Мбіт/с);
- Конфігурація за умовчанням ex-factory: Швидкість передачі = 125 кбіт/с та ідентифікатори: Master = 2, Slave = 3;
- Гальванічно ізольований;
- Вбудований опір термінатора, що перемикається вручну. Частота

					MPMTBA 24.23605.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	49	

різною. В результаті виникає заснована на різниці потенціалів термоелектрорушійна сила (термо-ЕРС) і, як наслідок, електричний струм, напруга якого буде пропорційною по відношенню до різниці температур T_1/T_2 . Коефіцієнт пропорційності при цьому називають коефіцієнтом термоЕРС. При підключенні вимірювального обладнання (наприклад СANSAS) до вільних кінчиків термопари, ланцюг замикається і за лічені показання з урахуванням термоЕРС можна буде побачити температуру середовища, поверхні та іншого. Таким чином, термопара (рисунок 3.5) у комплекті з електровимірювальним приладом – це не що інше, як термоелектричний термометр.



Рисунок 3.5- Термопара хромель-алюмель

Схожі прилади та пристрої широко використовуються для вимірювання різних об'єктів, поверхонь, середовищ, як у складі окремих приладів, так і цілих комплексів контролю за температурою. Завдяки високому ступеню лінійності, низької інерційності, простоті конструкції/монтажу, низькій вартості та можливості вимірювання у найширшому діапазоні температур (від $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+2500\text{ }^{\circ}\text{C}$), у тому числі в агресивних середовищах, вони в даний час використовуються практично повсюдно .

ТХА (хромель-алюмель з колодкою type К) – лідер серед термопар з нікелевих сплавів (рисунок 3.6) залежно від експлуатаційних завдань та особливостей фізико-хімічних властивостей об'єктів застосування (середовищ) використовуються термопари різних типів, електроди яких виготовляються з тих чи інших металів /Сплавів.

						МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	51	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				



Рисунок 3.6-Термопара хромель-алюмель із колодкою type K.

Завдяки великому відсотковому вмісту нікелю, виготовлений з його сплавів термопарний дріт виявляє високий ступінь стійкості до негативного впливу окислювальних процесів і відрізняється лінійною характеристикою термо-ЕРС у температурному діапазоні від 0°C до 1100°C (залежно від товщини термоелектродного дроту). точність свідчень.

Найпоширенішими серед термопар з нікелесодержащими електродами є ті, в яких для позитивного електрода, що маркується зеленим кольором, використовується сплав хромель (89-91% Ni + 8,7-10% Cr), а для негативного (біле маркування) – сплав алюмель (94, 5% Ni + 5,5% Al, Si, Mn, Co)» [18].

У ході проведення досліджень використовувався тепловізор марки Testo 875 (рисунок 3.7), характеристики якого наведені в таблиці №3.1.



					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	52	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

X	Габаритні розміри, довжина	152x108x262 мм
	ширина x висота	
	Вага (разом з батареями) не більше	0.9 кг

3.3. Аналіз результатів експериментального дослідження

Аналіз вимірювань температури вітрового скла проводився за температури навколишнього середовища: -12 і -18 градусів Цельсія.

Результати подано у вигляді графіків на малюнках 3.10-3.15.

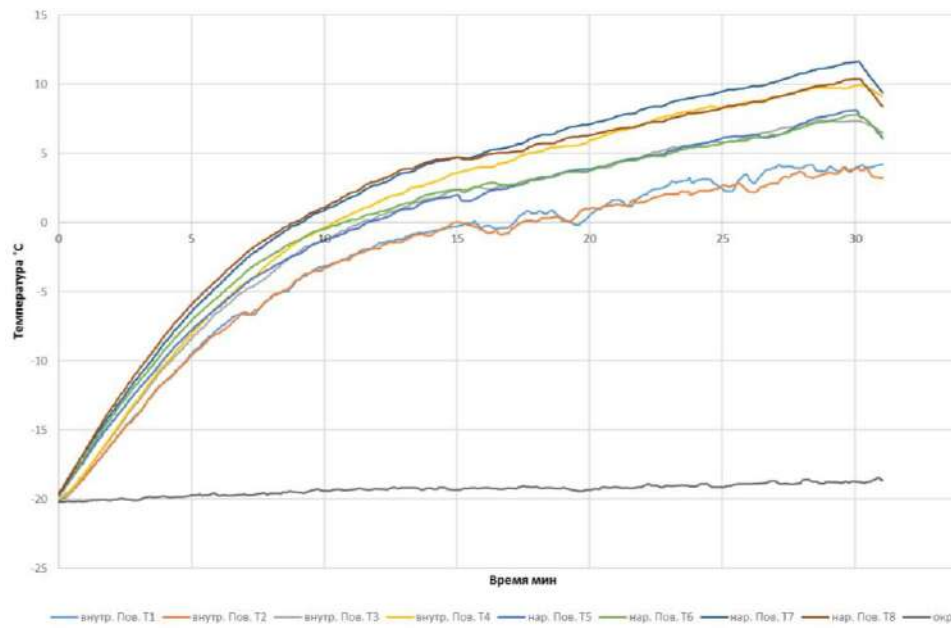


Рисунок 3.8- Прогрів при -18°C (експеримент №1)

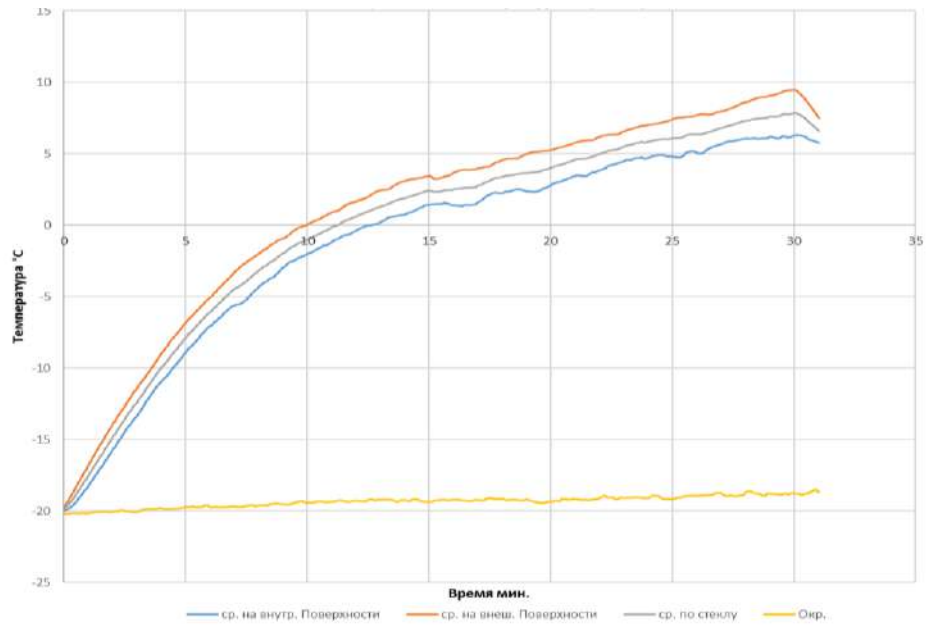


Рисунок 3.9 Результаты вимірювань температур за -18°C
(експеримент №1)

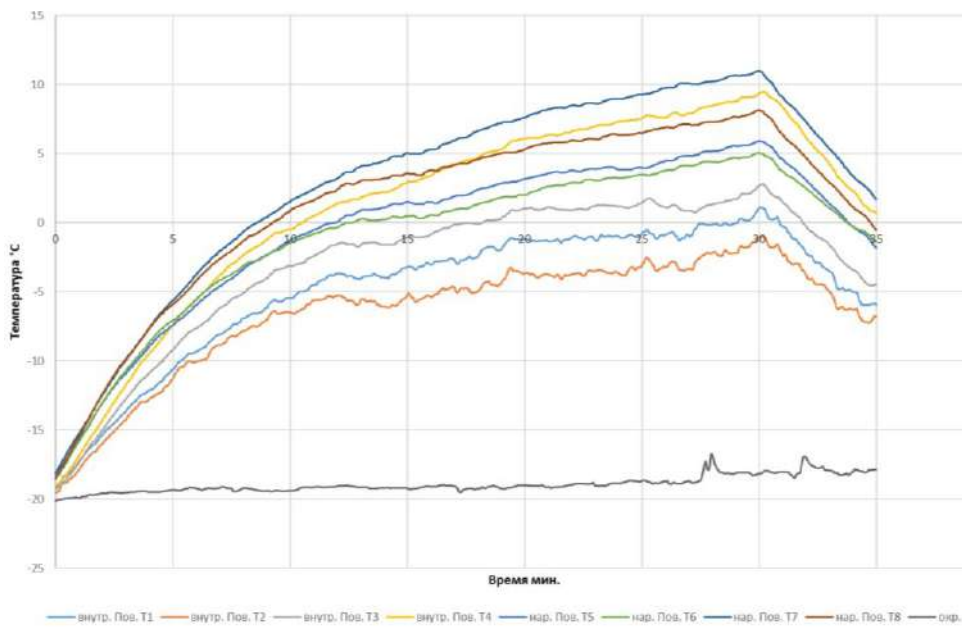


Рисунок 3.10 Результаты вимірювань температур при -18°C
(експеримент №2)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

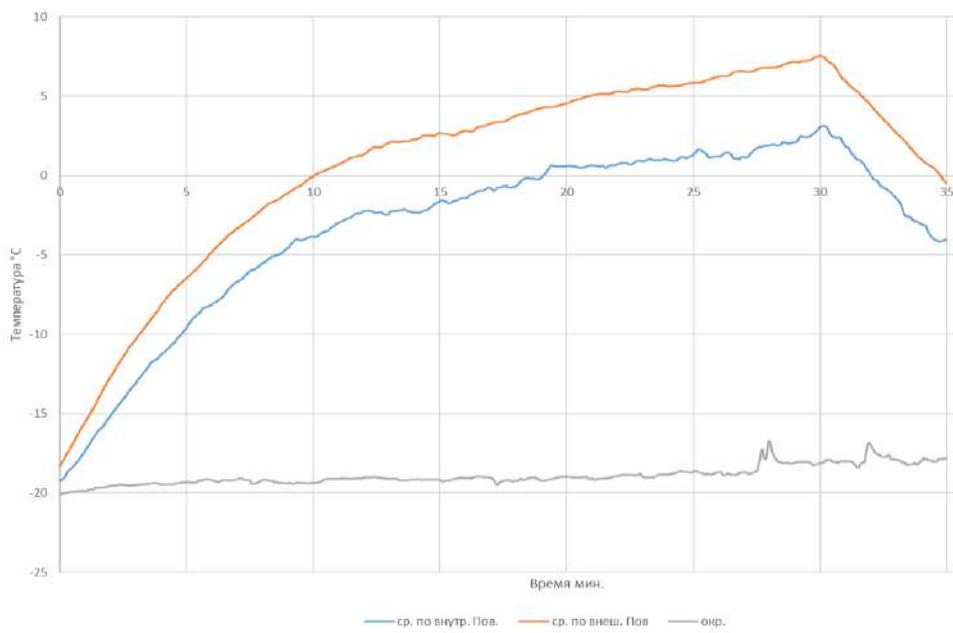


Рисунок 3.11- Результати вимірювань температур при -18 °С (експеримент. №2)

У процесі проведення експериментів додатково велася зйомка з тепловізора для наочності роботи електрообігріву, результати представлені у вигляді фотографій на малюнках 3.15-3.22:

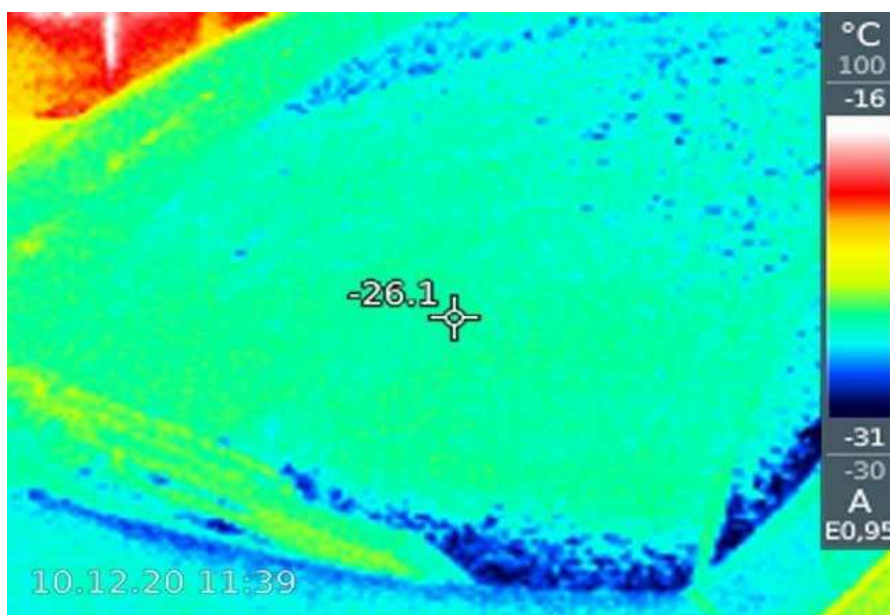


Рисунок 3.11-Фото з тепловізора

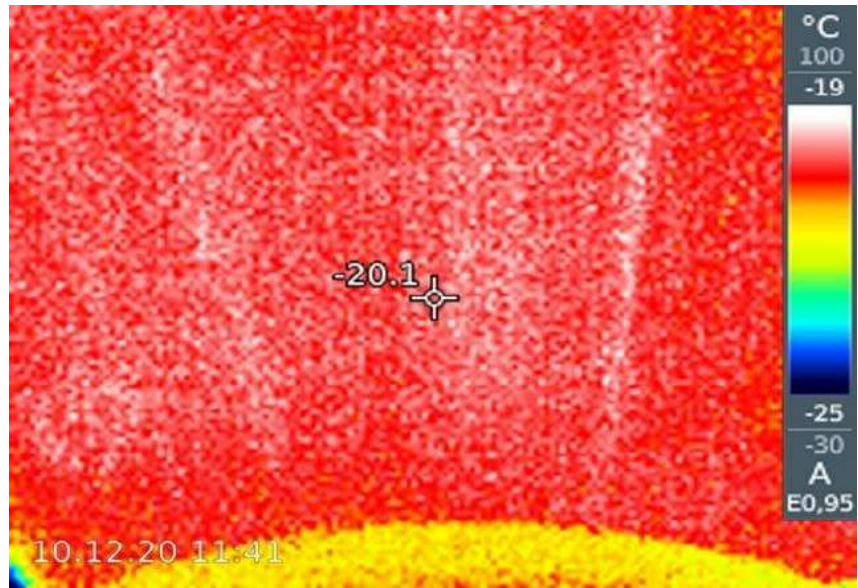


Рисунок 3.12-Фото з тепловізора

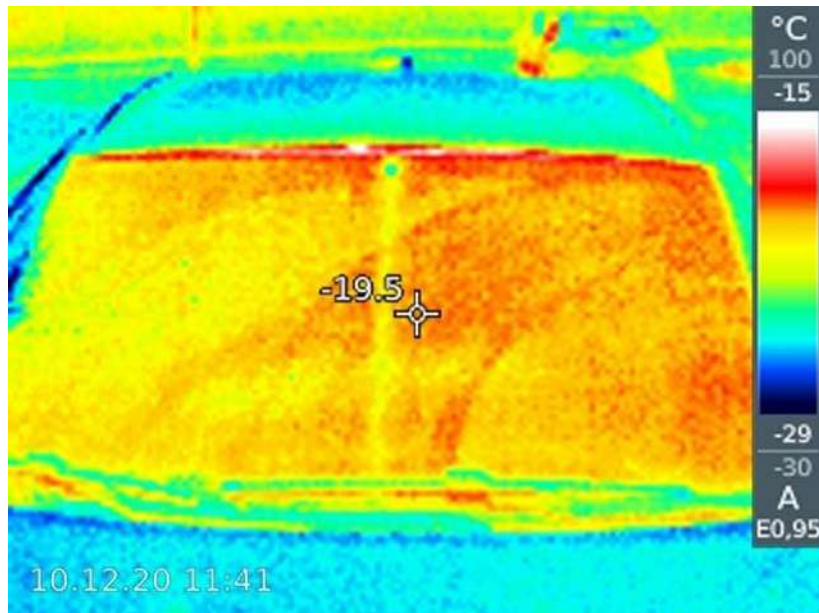


Рисунок 3.13-Фото з тепловізора

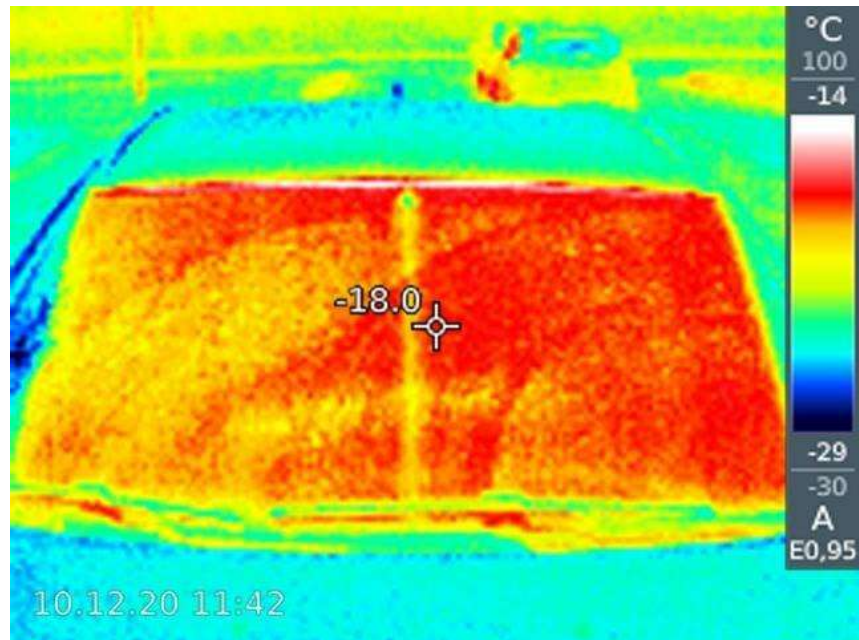


Рисунок 3.14-Фото з тепловізора

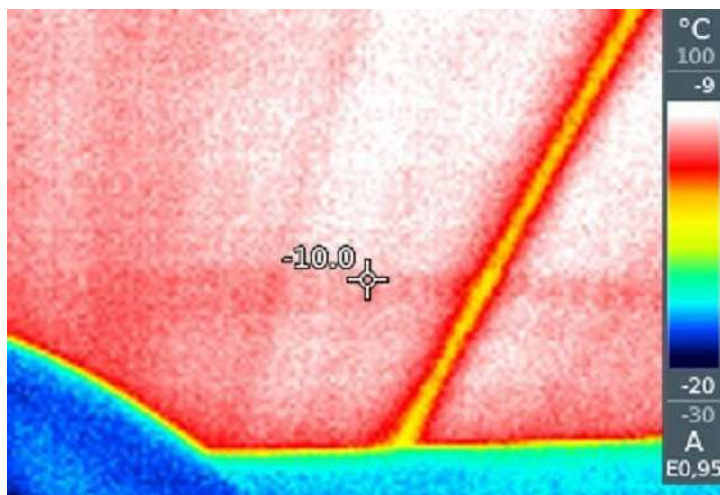


Рисунок 3.15- Фото з тепловізора

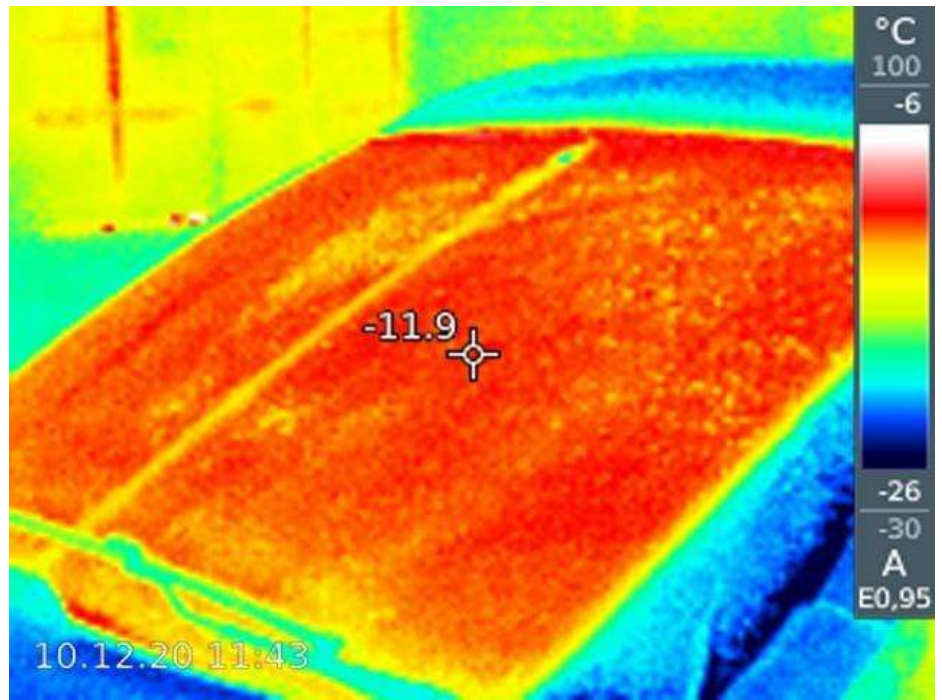


Рисунок 3.26- Фото з тепловізора

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	59	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Висновки

Описано методику проведення експериментальних досліджень за допомогою безконтактного методу (тепловізор) та за допомогою контактних вимірювань температур, виконаних термопарами. Наведено повний опис та характеристики використовуваних приладів та термопар.

1. Розроблено методику дослідження нестационарного теплообміну у процесі прогріву вітрового багатошарового скла легкового автомобіля.

2. Показано, що найточніші результати полів температур на поверхні скла можна отримати шляхом порівняння результатів контактного та безконтактного вимірювання температур.

3. Встановлено в процесі безконтактних вимірювань, що показання температури на поверхні скла не відбивають вплив геометрії електронагрівальних елементів на її просторове поле розподілу.

4. Виявлено, що значення температури отримані двома способами відрізняються в однакових точках поверхні на величину не перевищує $0,5^{\circ}\text{C}$.

5. Вимірюваннями встановлено, що протягом 5 хвилин середня температура скла підвищується зі значення -18°C до $-3,55^{\circ}\text{C}$ при зовнішній температурі -18°C тільки за рахунок теплового навантаження, яке створювалося електронагрівальними елементами скла.

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	60	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

4. Моделювання теплообміну в САПР у стеклах з електрообігрівом

4.1. Розробка моделі теплообміну вітрового скла з електрообігрівом

Для моделювання в САЄ теплообміну скористаємося раніше створеною

"локальною" моделлю триплексу з розмірами 100x50 (рисунок 4.1).

Товщина шарів: першого (скло) 2.5 мм, другого (плівка) 0.5 мм, третього (скло) 2.5 мм (Рисунок 4.2).

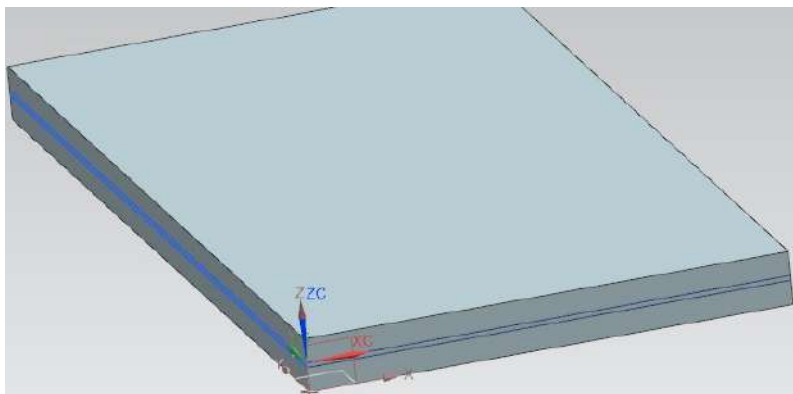
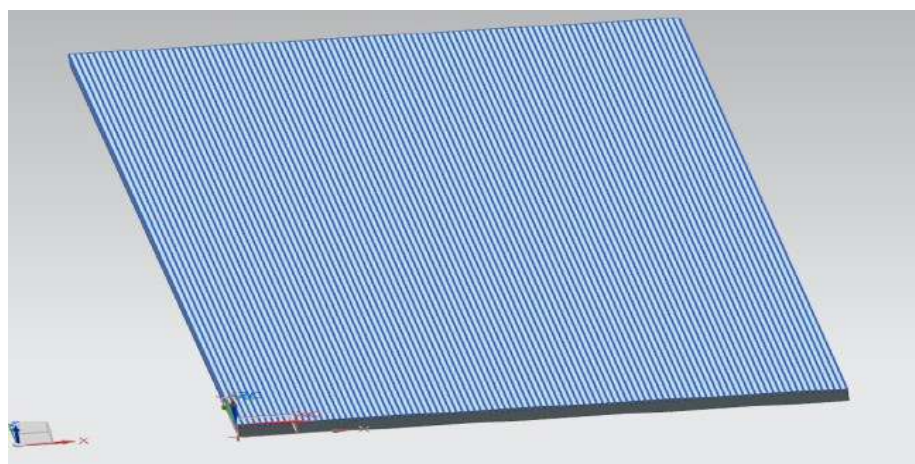


Рисунок 4.1- Модель експериментальна «Блок»



(малюнки 4.10-4.12).

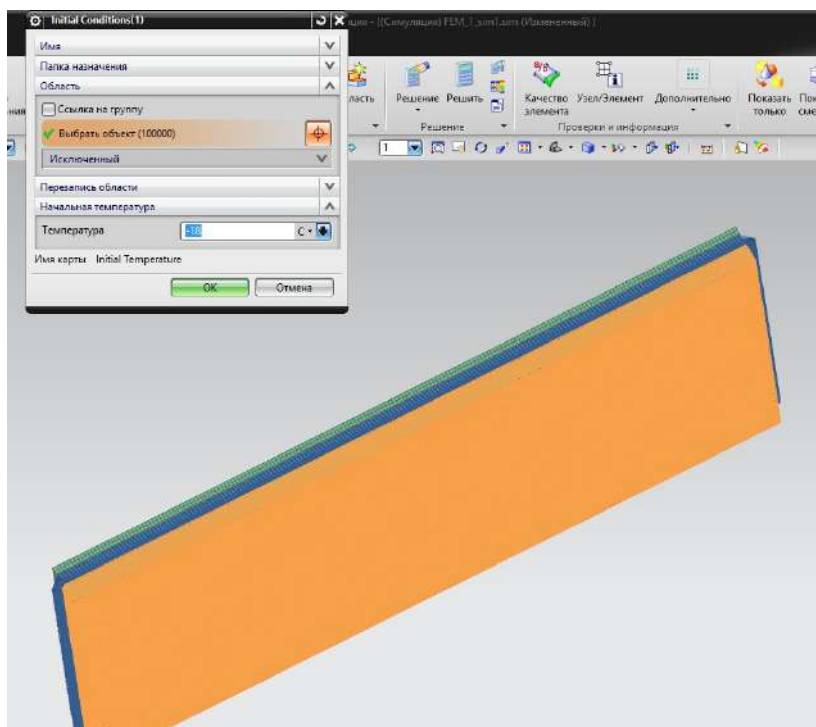


Рисунок 4.4- Обмеження для зовнішнього шару скла

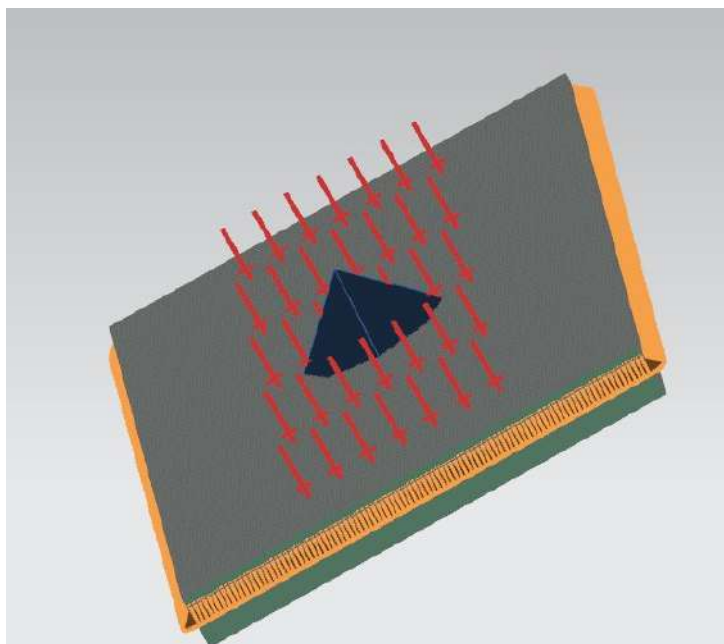


Рисунок 4.5- Обмеження для внутрішнього шару (плівки)

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	63	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

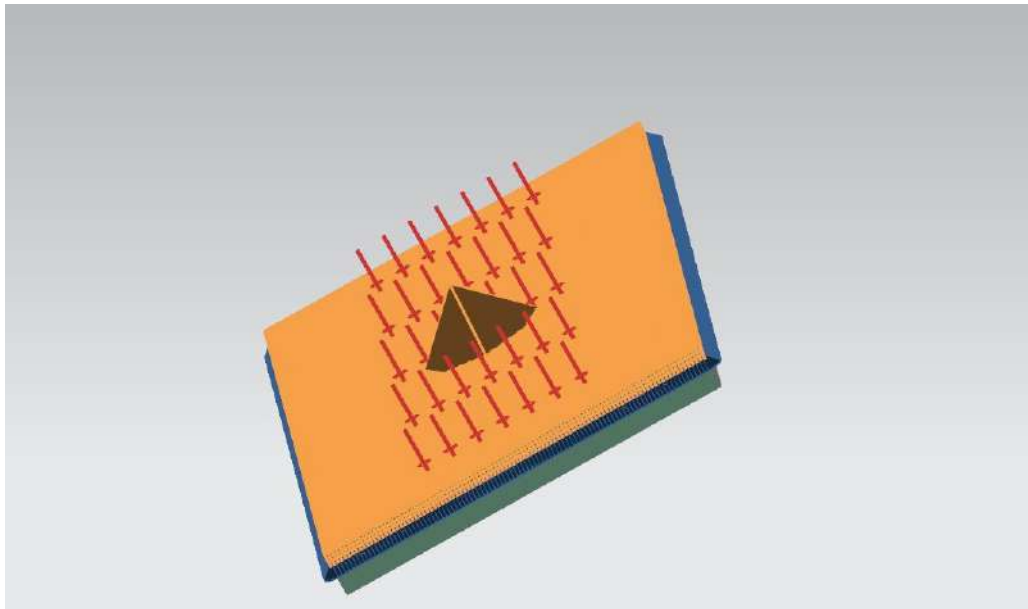


Рисунок 4.6 Обмеження для внутрішнього шару скла

Після чого переходимо до навантажень, з креслення скла нам відомі такі параметри (рисунок 4.7):

- номінальна споживана потужність усієї системи: 520 Вт \pm 15% при напрузі 13.5 В;
- площа скла: 1,18 м²;
- товщина нитки діаметром: 30 мкм.

Задамо початкову величину теплового потоку на пару ниток електрообігріву рівну 0.02 Вт/мм² як навантаження (рисунках 4.14-4.15).

Застосовуємо це значення для чотирнадцяти експериментальних НИТОК:

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	64	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

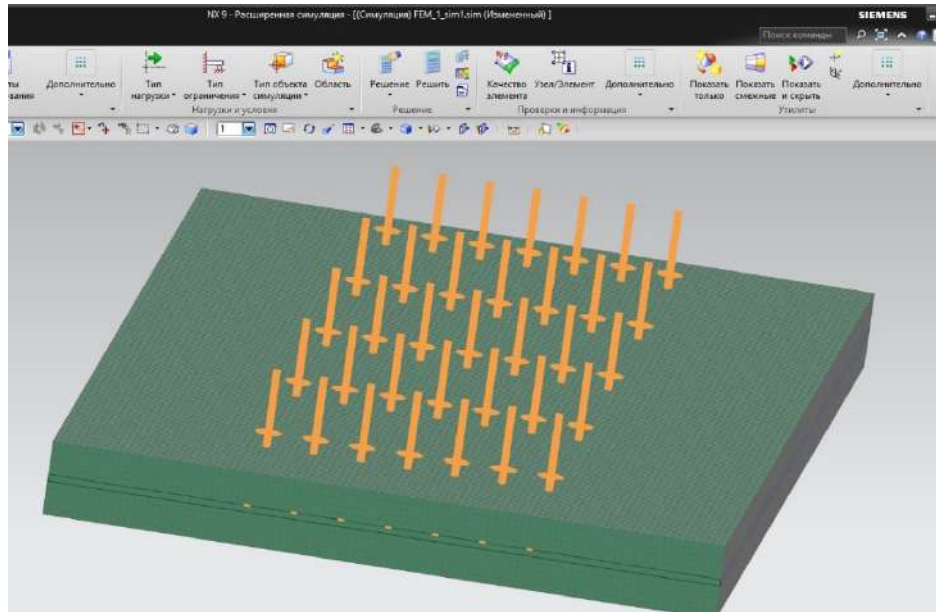
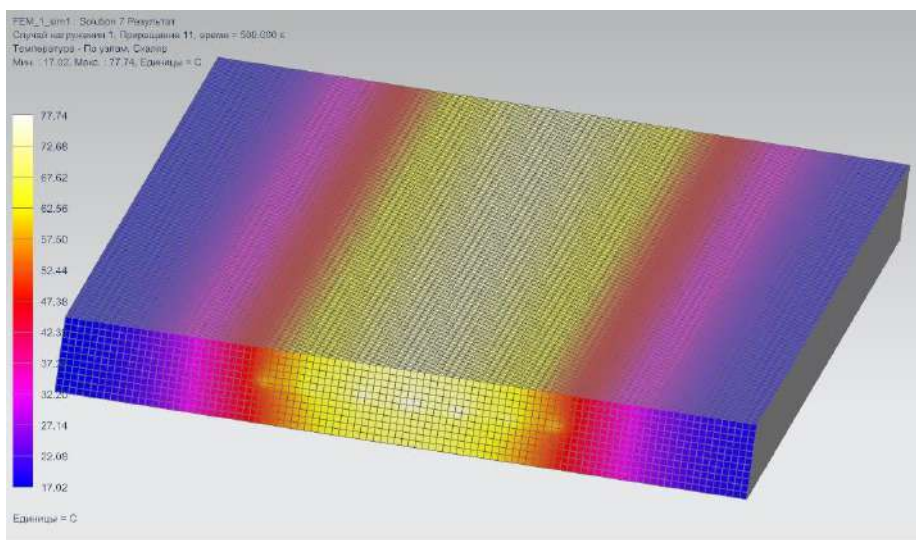


Рисунок 4.8 Додані навантаження

4.3. Моделювання процесу електрообігріву скла

Запускаємо вирішувач із заданими раніше параметрами (рисунок 4.9:
Рисунок 4.16- Процес розрахунку Отриманий результат показаний на
рисунок 4.17 – 4.19:



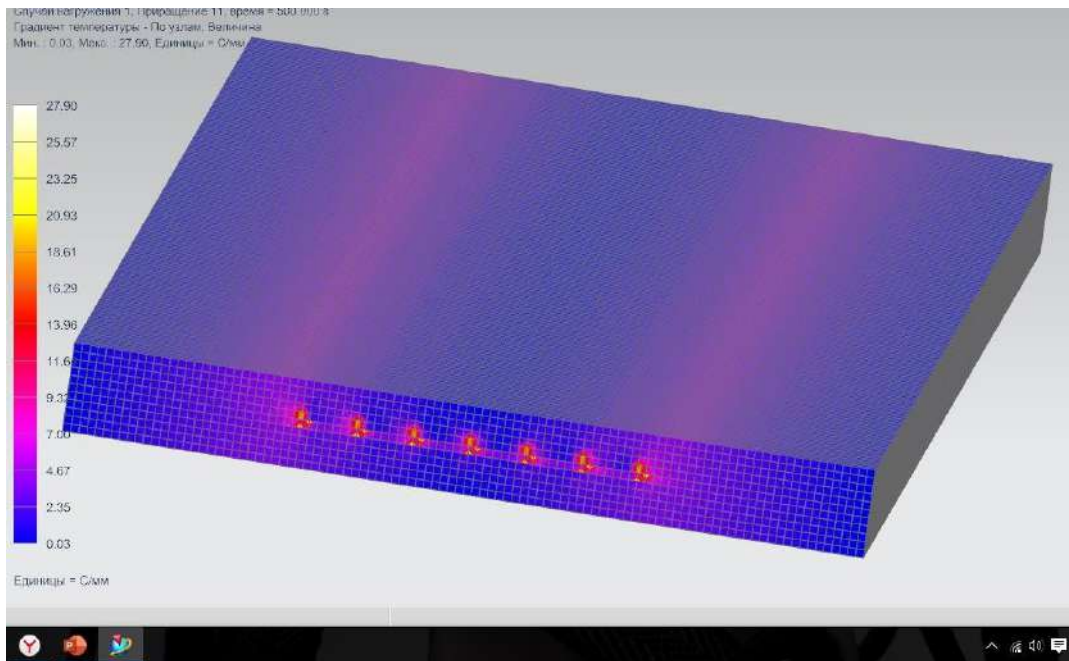


Рисунок 4.10- Поле температур у триплексі

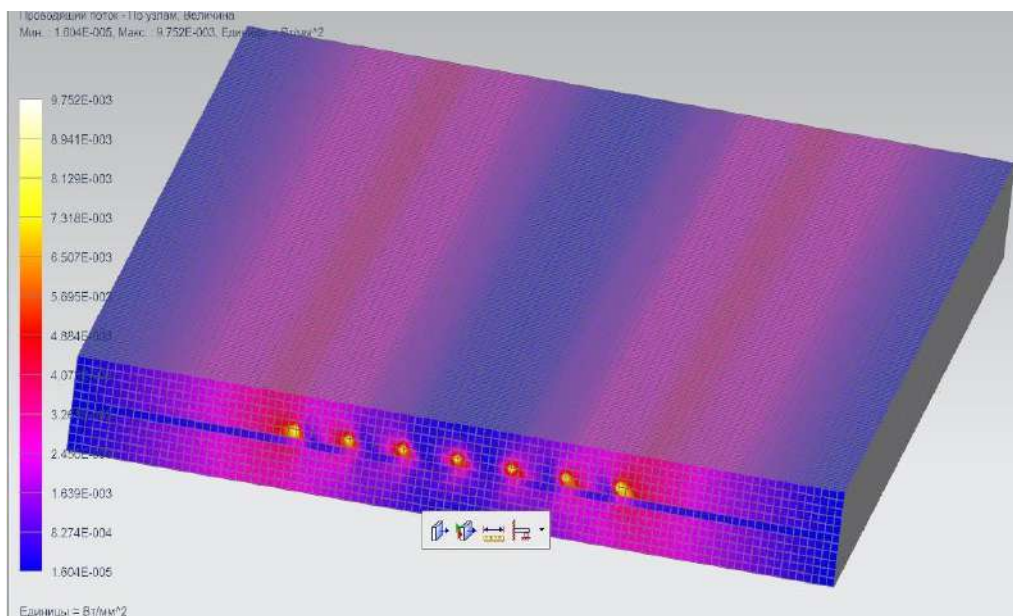


Рисунок 4.11 – Поле градієнта температури

Для аналізу побудуємо графіки за двома та кількома точками на поверхні скла (малюнки 4.12-4.13)

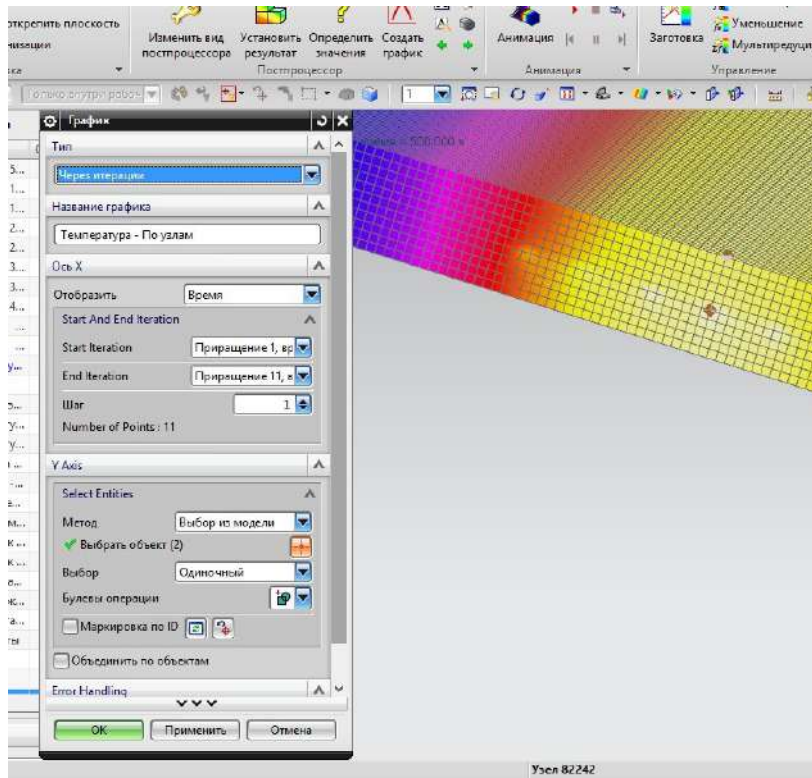


Рисунок 4.12- Побудова графіка за допомогою функції «Графік»

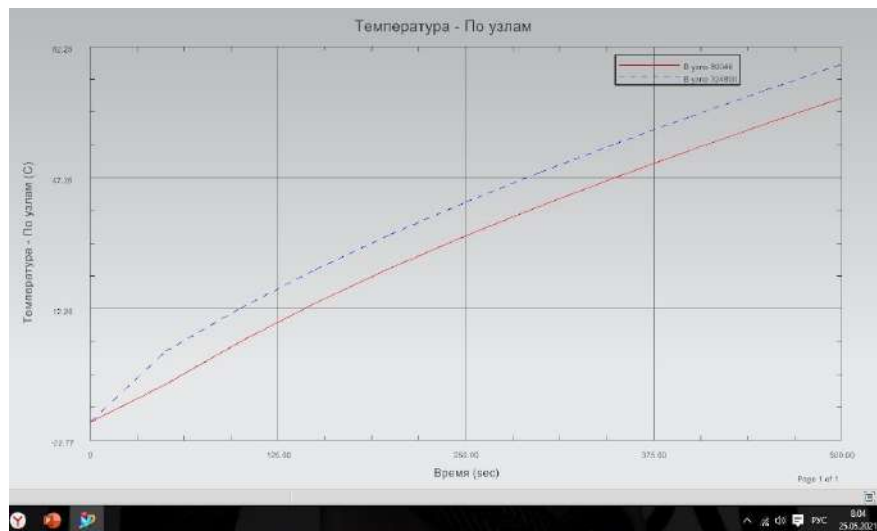


Рисунок 4.13-Графік температур для двох заданих точок

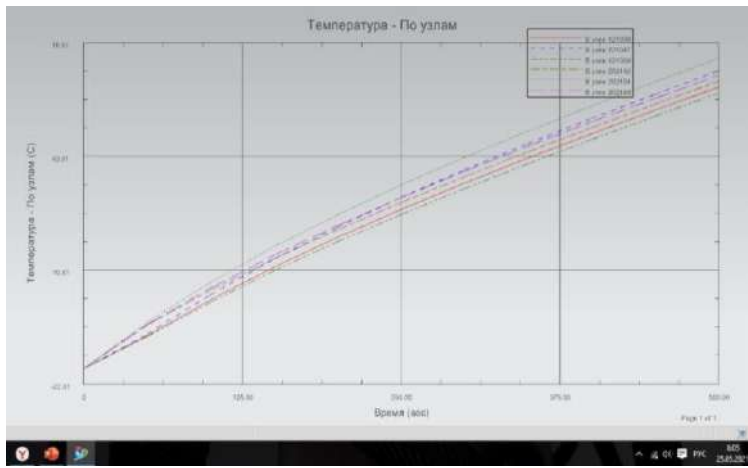


Рисунок 4.14- Графік по восьми точках (чотири на зовнішній поверхні чотири на внутрішній поверхні скла)

4.4.Аналіз впливу конструкції системи електрообігріву вітрового скла на процес теплообміну

Надалі переходимо до аналізу графіків (рисунок 4.15), отриманих в результаті моделювання теплообміну в «локальній моделі» триплексу:

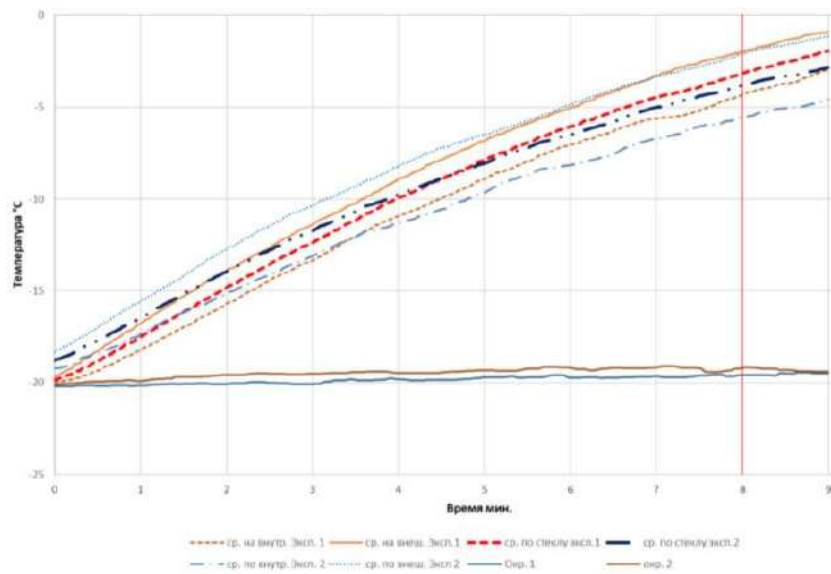


Рисунок 4.15 - Зведений графік температур

Встановлено, що середня температура по склу знаходиться в межах від -3,14 до -3,83 °C при теплових навантаженнях теплового потоку, що виділяється однією ниткою дорівнює: 0,00307 Вт/мм² (рисунок 4.16).

Виберемо кілька точок на поверхні локальної моделі для аналізу

теплообміну:

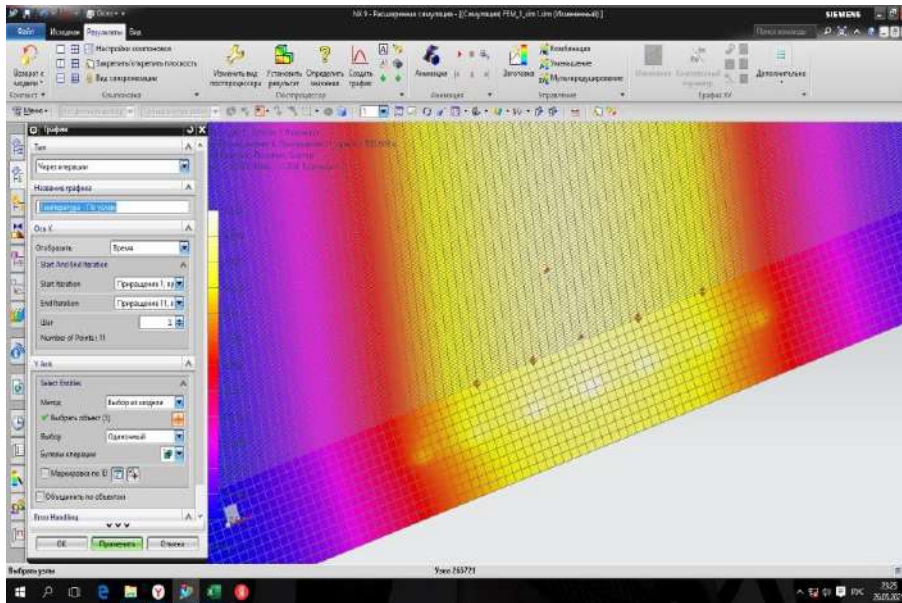


Рисунок 4.16- Внутрішня поверхня скла (точки для аналізу)



Рисунок- 4.17 Зміна температури у вибраних точках на внутрішній поверхні скла

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	69	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

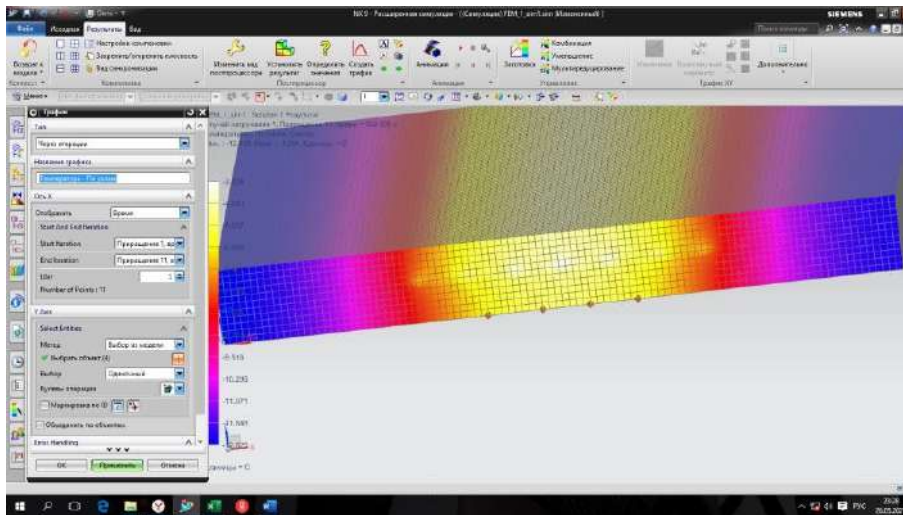


Рисунок 4.18 Зовнішня поверхня скла (точки для аналізу)

Для більшої наочності подаємо результати в зведеній таблиці 4.1, в якій відобразимо температури по внутрішній, середній та зовнішній поверхні скла. Вкажемо температуру моделювання та експериментальні значення температур, як за внутрішньою, зовнішньою та середньою за склом.

Таблиця 4.1 Зведена таблиця результатів

	Експеримент №1*	Експеримент №2*	Моделювання	Різниця у °C
Внутрішня поверхня	-2 °C	-2,2 °C	-4 °C	≈ 2° C
Зовнішня поверхня	-4,3 °C	-5 °C	-4,2 °C	≈ 1° C
Середня по склу	-3,15 °C (розрахункова)	-3,6 °C (розрахункова)	-3,7 °C (змодельована)	≈ 0,5° C
*Похибка у вимірі +-1 °C				

Висновки

1. Розроблено методику чисельного моделювання нестационарного процесу теплообміну в багатошаровій «локальній» моделі вітрового скла на основі кінцево-елементної моделі складання триплексу.

2. Встановлено, що для локальної моделі процесу теплообміну величина теплового потоку однієї нитки електронагрівального елемента, виконаного з вольфрамового дроту діаметром 30 мкм становить 0,00307 Вт/мм².

3. Виявлено, що в процесі моделювання розморожування багатошарового вітрового скла при зовнішній температурі -18°C за п'ять хвилин його середня температура досягає значень від -3,14 °C до -3,83 °C.

4. Показано, що похибка результатів моделювання для «локальної» кінцево-елементної збірки вітрового скла для зовнішньої поверхні становить 1 °C, для внутрішньої поверхні дорівнює 2 °C, а для середньої поверхні не перевищує 0,5 °C.

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	71	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Напрями подальших досліджень електрообігріву вітрового скла

Як подальші дослідження рекомендується скористатися процесом ідеалізації та абстракції геометрії.

«У книгу NX для конструктора-машинобудівника наводиться опис ідеалізації геометрії: вона є процесом видалення або придушення елементів моделі, що передує створенню розрахункової сітки. Загалом можна також використовувати команди ідеалізації геометрії для створення додаткових елементів та модифікації існуючих.

Наприклад, можна використовувати команди ідеалізації геометрії для:

- видалення елементів, таких як боби або отвори, які не важливі з точки зору чисельного аналізу;
- зміни розмірів ідеалізованої частини, використовуючи вираз між елементами;
- поділу великого обсягу на кілька невеликих обсягів для побудови структурованої розрахункової сітки;
- створення серединної поверхні для побудови КЕ моделей тонкостінних конструкцій

Система виконує всі операції ідеалізації на асоціативній копії майстер-моделі (ідеалізованої геометрії).

Абстракція геометрії - це набір операцій, що дозволяють створити певні правила для генератора КЕ сітки. Операції абстракції виконуються у файлі FEM для полігональної геометрії. Вони не призводять до змін геометрії, а лише задають певні правила, що застосовуються у процесі генерації КЕ сітки. Абстракція геометрії, наприклад, дозволяє виключити елементи геометрії, які можуть призвести до побудови розрахункової сітки низької якості або неадекватно заниженого розміру елементів - користувач може використовувати команди абстракції для видалення дуже маленьких

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	72	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

або вузьких поверхонь або ребер, які можуть погіршити якість кінцевих елементів прилеглої області . Або додати геометричні елементи до моделі для подальшого використання в чисельній моделі – додані в полігональну геометрію ребра можна використовувати для визначення додаткових навантажень або обмежень» [20].

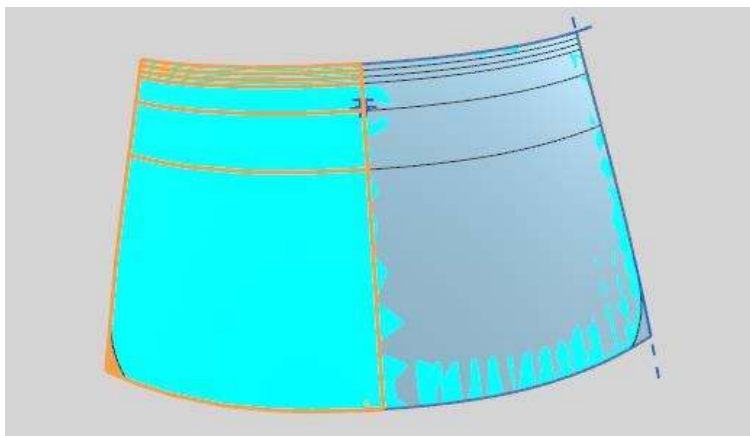
Для прискорення проведення розрахунків рекомендується використовувати багат шарові моделі, оскільки час на обробку даних знижується, кінцеві елементи переходять у площину, відповідно спрощується їхня геометрія і як наслідок швидкість розрахунків, так само це значно спрощує побудову даних моделей.

Використання "локальних" моделей призводить до громіздких обчислень, великого обсягу даних, розрахунок яких займає кілька годин і не завжди призводить до реальних результатів.

Маючи невеликі розміри даної моделі (100x50x5), кожен розрахунок займає не менше 25 хвилин, а у разі збільшення її до реальних розмірів вітрового, час зростає багаторазово.

Виходячи з цього був застосований метод пошарового моделювання, а саме:

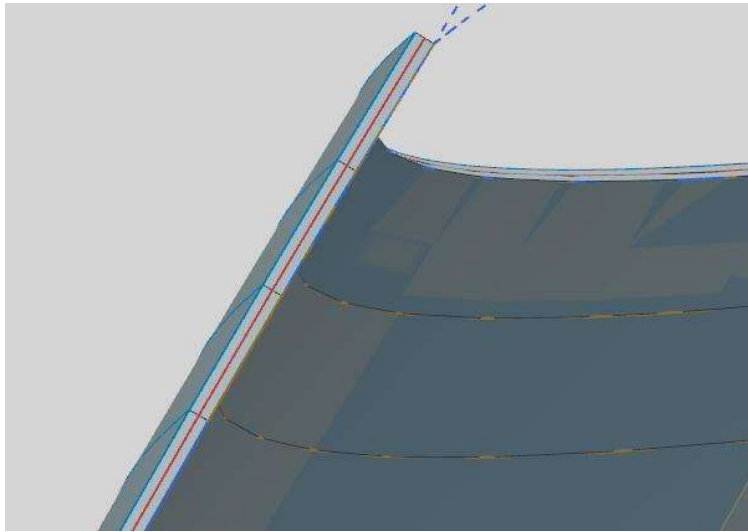
- 1) вибирається модель, побудована раніше



Модель скла

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	73	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

2) середина поверхня (рисунок 5.3) розбивається на кінцеві оболонкові ;



Середня поверхня моделі

1. Розроблено методику розрахунків нестационарних теплофізичних процесів розморожування та відтавання багат шарового вітрового скла під дією тепловиділення електронагрівальних елементів на основі сітки оболонкових кінцевих елементів з урахуванням різних властивостей по шарах скла.

2. Встановлено, що точність отриманих значень температур відповідає експериментальним показникам та не виходить за межі похибки вимірювання температур за допомогою термопар та тепловізора.

3. Показано, що час розрахунків вітрового скла на базі тришарових оболонкових кінцево-елементних сіток скорочується в десятки разів у порівнянні з сітками на твердотільних кінцевих елементах.

"локальних" моделей.

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	74	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Висновок

У магістерській проведено аналіз різних конструкцій вітрових та інших типів скла, що використовуються в автомобілебудуванні. Розглянуто особливості технології їх виготовлення та вимоги до скла легкових автомобілів для забезпечення функціональних умов роботи, безпеки та комфорту пасажирів. Проаналізовано теоретичні положення, методи проектування та програмні комплекси, які здійснюють їх розробку. Розглянуто особливості підготовки даних та призначення параметрів процесу кліматичної системи автомобіля для обдування та обігріву вітрового скла. Виконано розробку електронних реальної та «локальної» моделей багатошарового вітрового скла легкового автомобіля, а також розробку локальної бази матеріалів триплексу для NX. Описано методику проведення експериментальних досліджень за допомогою безконтактного методу (тепловізор) та за допомогою контактних вимірювань температур термopарами та проведено аналіз отриманих результатів. Розроблено методику чисельного моделювання нестационарного процесу теплообміну в багатошаровій «локальній» моделі вітрового скла у додатку Simcenter NX на основі збирання тришарової конструкції різних матеріалів, виконаної з урахуванням геометричних розмірів електронагрівальних елементів триплексу. У магістерській роботі запропоновано нову модель розрахунків нестационарного теплообміну складних тіл на основі пошарових кінцево-елементних сіток на базі оболонкових елементів.

1. Встановлено, що найбільш функціональною конструкцією вітрового скла легкового автомобіля, яка забезпечує безпеку та комфорт водія та

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	75	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

пасажирів є багатошарове скло типу триплекс з полівінілбутиральною плівкою, конструкція якого включає комплекс електропровідних елементів, здатних нагрівати скло з метою видалення з його поверхні запотівання та морозу для збереження оглядовості за несприятливих погодних умов.

2. Показано, що результати моделювання обдування та обігріву вітрового скла за допомогою програмного продукту AVL/FIREv2013 не враховують тепловкладання електричних нагрівальних елементів багатошарового скла у процес теплообміну.

3. З експериментальних досліджень виявлено, що інтегральні поля розподілу температур лежить на поверхні вітрового скла не залежить від хвилястості геометрії вольфрамових ниток електронагрівальних елементів.

4. Розроблено методику чисельного моделювання нестационарного процесу теплообміну в багатошаровій «локальній» моделі вітрового скла на основі кінцево-елементної моделі 3D кінцевих елементів складання триплексу.

5. Встановлено, що для локальної моделі процесу теплообміну величина теплового потоку однієї нитки електронагрівального елемента, виконаного з вольфрамового дроту діаметром 30 мкм становить 0,00307 Вт/мм².

6. Доведено, що точність отриманих значень температур відповідає експериментальним показникам та не виходить за межі похибки вимірювання температур за допомогою термопар та тепловізора. Показано, що час розрахунків вітрового скла на базі тришарових оболонкових кінцево-елементних сіток скорочується в десятки разів у порівнянні з сітками на твердотільних кінцевих елементах «локальних» моделей.

7. Розроблено методику розрахунків нестационарних теплофізичних процесів розморожування та відтавання багатошарового вітрового скла під

					МРМТВА 24.23605.000. ПЗ	76	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

дією тепловиділення електронагрівальних елементів на основі сітки оболонкових кінцевих елементів з урахуванням різних властивостей по шарах скла.

Список використаних джерел

1. Ajitanshu Vedrtnam. Experimental and simulation studies on delamination strength of laminated glass composites having polyvinyl butyral and ethyl vinyl acetate inter-layers of different critical thicknesses // Defence Technology. Volume 14, 2018 PP.313-317 URL: <https://doaj.org/article/2bf61842b48041d3ac567b7085431f18>
2. Fojtlín M., Planka M., Fišer J., Pokorný J., Jícha M. Airflow Measurement of the Car HVAC Unit Using Hot-wire Anemometry // EPJ Web of Конференції. Volume 114, article 02023, 2016 URL: https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/abs/2016/09/epjconf_efm2016_02023/epjconf_efm2016_02023.html
3. Hożejowska S., Orzechowski T., Pawińska A. Термальна analysis of car windscreen // EPJ Web of Conferences. Volume 213, article 02027, 2019 URL: https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/abs/2019/18/epjconf_efm18_02027/epjconf_efm18_02027.html
4. Mohd Khairul Kamarudin, Nurul Hariyanti Mohd Rais, Mustafasanie M.Yusoff. Buckling behavior of laminated glass panel in compression // MATEC Web of Conferences. Volume 258, article 05010, 2019

					MPMTBA 24.23605.000. ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

URL:<https://doaj.org/article/1acfc999d314c7787e81ae71abc6680>

5. Salleh I., Zain MZ Md., Abu Bakar AR Modeling and Simulation of Acting Force on Flexible Automotive Wiper // Applications of modelling and simulation. Volume 2, NO.2, 2018. PP. 51-58. URL: <https://doaj.org/article/1c05be1e147c4307abc9af5e295579eb>

6. Vlad-Ilie Ungureanu, Razvan-Catalin Miclea, A. Korodi, I. Silea. A Novel Approach до Sun Glare до Enhance Driver Safety // MDPI. Volume 10(9), article 3032, 2020 URL:

<https://doaj.org/article/67c76b20d08c42fa8ea8aef70fd880b5>

7. Yu Wang, Qingsong Wang, Haodong Chen, Jinhua Sun i Linghui He. Comparative Study on Crack Initiation and Propagation of Glass under Thermal Loading // MDPI. Materials 2016, 9(10), PP-794 URL: <https://doaj.org/article/02c43e58aa87489b925f1346abbbee53>

8. D. Król, S. Poskrobko, Energ. Fuel. **31** (4), 39353942 (2017) [[Google Scholar](#)]

9. D. Król, S. Poskrobko, J. Go cik, E3S Web Conf. **14**, 1-10 (2017) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]

10. S. Bellocchi, G.L. Guizzi, M. Manno, M. Salvatori, A. Zaccagnini, Appl. Therm. Eng. **129**, 290–305 (2018) [[Google Scholar](#)]

11. S. Benterki, C. Bousbaa, N. Laouar, A. Faci, Optik **158**, 799–805 (2018). [[Google Scholar](#)]

12. Th.-J. Zlatoper, Accid. Anal. Prev. **23** (5), 431–436 (1991) [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]

13. P.O. Fanger, Proc. Int. Conf. On Building Energy Management (1980) [[Google Scholar](#)]

14. H.A.M. Daanen, E. Vliert, Xu Huang, Appl. Ergon. **34**, 597–602 (2003) [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]

15. A. Alahmer, M.A. Omar, A. Mayyas, S. Dongi, Appl. Therm. Eng. **31**, 2636-2644 (2011) [[Google Scholar](#)]

					MPMTBA 24.23605.000. ПЗ	78	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

