

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

СЕРГІЄНКО ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 629.371.23

**РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ
ЕНЕРГОПОГЛИНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ ПАСИВНОЇ
БЕЗПЕКИ АВТОМОБІЛІВ ДЛЯ СПОРТУ**

Спеціальність 05.22.02 – автомобілі та трактори

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Туренко Анатолій Миколайович,
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет, ректор

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Горбай Орест Зенонович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
завідувач кафедри автомобілебудування Інституту
інженерної механіки та транспорту Національного
університету «Львівська політехніка»

кандидат технічних наук, доцент
Мандрика Володимир Ростиславович,
Національний технічний університет «ХПІ»,
професор кафедри автомобіле- та тракторобудування.

Захист відбудеться "14"березня 2018 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.02 при Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: 61002, Україна м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Автореферат розісланий "___" лютого 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О. П. Смирнов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Зростання інтенсивності руху транспортних потоків збільшує ймовірність пов'язаних з аварійністю, людських і матеріальних втрат а вирішення проблем негативної сторони автомобілізації з попередження та зниження важкості наслідків дорожньо-транспортних пригод (ДТП) усе більш ускладнюється. Тому особливого значення набуває діяльність, спрямована на зниження важкості ДТП і попередження травмування людини в результаті автомобільних аварій.

Серед комплексу заходів, що вживають для захисту пасажирів від каліцтв у результаті ДТП, важливе місце посідає вирішення проблеми пасивної безпеки, покликане сприяти зниженню важкості травмування учасників руху.

Кожний створюваний автомобіль повинен відповідати вимогам стандартів безпеки, найбільш важливими з яких є стандарти, що регламентують безпеку транспортного засобу в цілому, і зокрема, його пасивну безпеку. В усьому світі в автомобільній промисловості у разі створення нової техніки проблема пасивної безпеки є першорядною й набуває вирішального значення в дослідженнях такого характеру. Зокрема, існує проблема високоточного оцінювання енергопоглинальних властивостей елементів конструкції як легкових, так і спортивних автомобілів ще на стадії проектування, коли неможливі натурні випробування.

Таким чином, актуальним науково-прикладним завданням є розробка моделей оцінювання важкості травмування людини під час аварії на стадії ескізного проектування для модернізації вже існуючих і формування нових функціональних завдань, що надалі вимагатиме розроблення методів оцінювання енергопоглинальних властивостей елементів пасивної безпеки (ЕПБ) спортивного автомобіля на стадії ескізного проектування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі автомобілів в 2009-2017 рр. у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті (ХНАДУ), відповідно до плану держбюджетної НДР Міністерства освіти й науки України за темою «Розрахунково-експериментальні дослідження на математичних та фізичних моделях систем безпеки гоночного автомобіля формули 1600» (№ ДР 0109U001353). Держбюджетної НДР Міністерства освіти і науки України за темою «Розробка розрахунково-експериментального методу оцінювання пасивної безпеки несучих систем та елементів пасивної безпеки гоночного автомобіля формули 1600» (№ ДР 0113U000177) у розробці яких автор брав участь як виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є вдосконалювання розрахунково-експериментального методу оцінювання енергопоглинальних властивостей елементів пасивної безпеки автомобіля для

спорту на основі математичного й фізичного моделювання елементів пасивної безпеки.

Для досягнення цієї мети в роботі вирішуються наступні завдання:

- провести аналіз існуючих методів розрахунків і проектування елементів пасивної безпеки;
- провести статистичний аналіз аварій спортивних автомобілів для визначення типових розрахункових схем;
- розробити математичні моделі оцінювання важкості травмування людини під час автомобільних аварій й енергопоглинання елементів пасивної безпеки;
- створити стенд для уточнення коефіцієнтів енергоємності структур з композитних матеріалів, зіставити результати математичного моделювання енергопоглинання елементів пасивної безпеки й натурних експериментів;
- впровадити отримані результати проведених досліджень у практику виконання робіт із проектування елементів пасивної безпеки спортивних автомобілів із заздалегідь заданими властивостями.

Об'єкт дослідження – пасивна безпека автомобіля для спорту під час фронтального удару.

Предмет дослідження – конструктивні, вагові та технологічні параметри енергопоглинальних елементів кузова та їх вплив на пасивну безпеку під час фронтального удару.

Методи дослідження ґрунтуються на принципах системного аналізу для структуризації процесів проектування елементів пасивної безпеки; методах математичного моделювання для аналізу важкості наслідків аварії на людину й для визначення характеристик елементів пасивної безпеки; для експериментальних досліджень використовувалися методи виміру фізичних величин і натурні дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у такому:

вперше одержано:

- розроблено динамічну модель взаємодії водія й автомобіля в процесі зіткнення, яка на відміну від існуючих, дозволяє оцінити ймовірність і важкість ушкоджень людини під час аварії, враховує антропометричні дані, ергономічні особливості автомобіля, утримуючу систему спортивного автомобіля й систему захисту шиї й голови водія;
- розроблено метод який дозволяє визначити показники значення питомого енергопоглинання для композитних матеріалів, що на відміну від отриманих за традиційним методом, можна застосовувати для проектування елементів пасивної безпеки;

удосконалено:

- розрахунково-експериментальний метод оцінювання енергопоглинальних

властивостей елементів пасивної безпеки на стадії ескізного проектування за рахунок використання тримасової динамічної моделі людини, що дозволяє більш точно оцінювати важкість і ймовірність травмування людини під час аварії;

– динамічну модель руйнування елементів пасивної безпеки в частині використання величини енергоємності структур з композитних матеріалів, яка дозволяє відмовитися від витратних натурних випробувань прототипів виробів;

набуло подальшого розвитку:

– тримасова динамічна модель оцінювання важкості аварії на людину, з урахуванням особливостей спортивних автомобілів, у напрямку визначення ефективних рішень з урахуванням особливостей структури пасивної безпеки спортивних автомобілів.

Достовірність нових наукових положень дисертаційної роботи підтверджується:

– коректним використанням методів математичного моделювання, застосування програмних продуктів, що довели свою доцільність використання і ефективність для вирішення завдань, пов'язаних з динамікою руху складних фізичних об'єктів;

– збігом результатів, отриманих за допомогою розроблених моделей з результатами проведених експериментів.

Практичне значення отриманих результатів. Робота має як теоретичне, так і практичне значення. Виявлені в роботі взаємозв'язки дають можливість визначати на етапі ескізного проектування параметри елементів пасивної безпеки, які мають оптимальні параметри з обсягу матеріалу та задовольняють вимогам до пасивної безпеки під час фронтального зіткнення. Практичне використання спрямоване на пришвидшення проектування елементів пасивної безпеки та конструктивних елементів з композитних матеріалів за рахунок оптимального підбору кількості та розташування матеріалу на початкових етапах проектування. Результати проведених досліджень впроваджено на ДП «Харківський автомобільний завод», ТОВ «Навігатор» та ВАТ «Український інститут автобусо-тролейбусобудування» (ВАТ «Укравтобуспром»).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є результатом особистої роботи автора. В роботах, які написані в співавторстві, здобувачу належить: розробка концепції стенда для проведення випробувань на удар [1]; збір статистичних даних аварій автомобілів для спорту, проведення аналізу отриманих даних [2]; аналіз існуючих методів визначення важкості травмування під час аварії [2, 5]; аналіз існуючих моделей зіткнення автомобіля [3]; проведення експериментальних досліджень і обробка отриманих результатів [4]; аналіз технологій виготовлення деталей з композитних матеріалів методом вакуумної інжекції [4]; математичне моделювання переміщення людини під час фронтального

зіткнення [7]; розроблено конструкція кузова спортивного автомобіля з композитних матеріалів [8]; розроблено несучий кузов автомобілю типа монокок з композитних матеріалів [9]; розроблено конструкцію енергопоглинальних елементів [10].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації й робота в цілому доповідалися й одержали позитивну оцінку на:

- 11-й міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові (м. Львів, 15.05 – 17.05.2013);
- 78-й міжнародній науково-технічній конференції «Конструктивна безпека транспортних засобів» (м. Дмитров, Московська обл., 06.06 – 07.06.2012);
- 76-й науково-технічній і науково-методичній конференції університету (м. Харків, ХНАДУ, 09.04 – 13.04.2012);
- XVI-й міжнародній науково-технічній конференції «Автомобільний транспорт: проблеми й перспективи» (м. Севастополь, СНТУ, 16.09 – 21.09.2013);
- III міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту й культури дорожнього руху», (м. Харків, ХНАДУ, 16.04 – 17.04.2013).

Публікації. Основні положення та наукові результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно і повністю опубліковані у 15 наукових працях. Серед них 1 монографія, 6 статей що входять до фахових видань України, 1 стаття опублікована у закордонному виданні, 7 публікацій у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз. За матеріалами дослідження опубліковано 3 тези доповідей міжнародних наукових конференцій (зокрема одна у закордонному виданні). Отримано 3 патенти, що видані Державним департаментом інтелектуальної власності України.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків та додатків. Повний обсяг дисертації 184 сторінок, обсяг основного тексту дисертації становить 115 сторінок, у тому числі: 27 рисунків на 4 окремих сторінках, 15 таблиць на 4 окремих сторінках, список з 110 використаних джерел на 11 сторінках, 6 додатків на 30 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ дисертаційної роботи містить: обґрунтування актуальності теми й наукових задач; інформацію про зв'язок роботи з науковими програмами; мету й задачі дослідження; об'єкт, предмет і методи дослідження; характеристику наукової новизни й практичного значення отриманих результатів, а також особистий внесок здобувача; дані щодо реалізації, апробації та публікації результатів.

У **першому розділі** виконано аналіз задачі розробки розрахунково-експериментального методу оцінки енергопоглинальних властивостей елементів

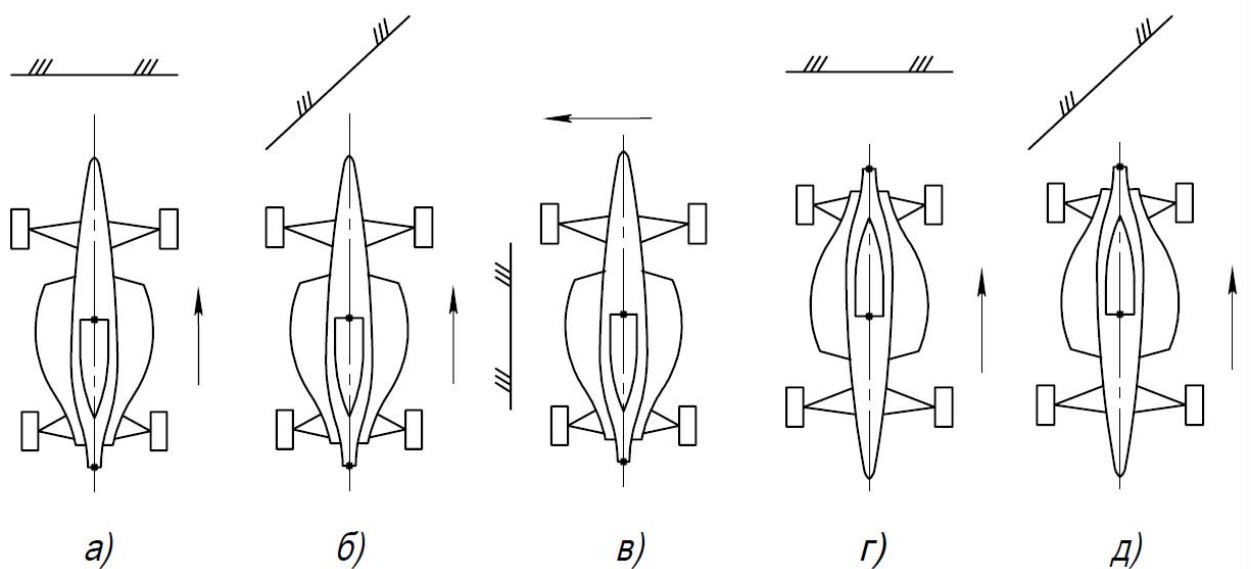
пасивної безпеки автомобілів для спорту, для чого було розглянуто класифікацію автомобілів для спорту, структуру пасивної безпеки що застосовується у автомобілях для спорту, методи випробувань та вимоги що пред'являє Міжнародна федерація автоспорту до пасивної безпеки автомобілів для спорту.

Дотепер невирішеними були такі завдання:

- метод оцінювання енергопоглинальних властивостей елементів пасивної безпеки спортивного автомобіля на стадії ескізного проектування;
- модель оцінювання важкості травмування людини під час аварії на стадії ескізного проектування, що враховує геометричні характеристики посадки людини, антропометричні дані й застосовувані утримуючі системи пасивної безпеки.

Сучасні вимоги до конструктивних параметрів автомобілів, зниження витрат і часу на розробку нових моделей і модернізацію існуючих, висувають необхідність вироблення такого наукового підходу, який ще на початкових стадіях проектування дозволить одержувати конструкцію із заданими характеристиками.

Проведено аналіз типів зіткнення спортивних автомобілів та зроблена їх класифікація (рис. 1).



а) – фронтальний удар; б) – кософронтальний удар; в) – бічний удар;
г) – удар ззаду; д) – удар ззаду під кутом.

Рисунок 1 – Види ударів під час зіткнення автомобіля

У процесі аналізу встановлено, що:

- пасивна безпека автомобілів для спорту є важливим фактором до якого приділяється багато уваги при проектуванні автомобілів;
- зміни вимог та удосконалення автомобілів вимагає постійного створення нових зразків елементів пасивної безпеки;

– проблема оцінки рівня пасивної безпеки вирішується або на етапі моделювання зіткнення методом кінцевих елементів за допомогою точних тривимірних моделей, або проведення натурних експериментів з експериментальними зразками. На етапі ескізного проектування параметри елементів пасивної безпеки беруться або на основі аналогів або опираючись на стару конструкцію. Це призводить до збільшення часу на оптимізацію конструкції.

Розглянута конструкція елементів пасивної безпеки автомобілів для спорту та проведено аналіз їх застосування під час зіткнення.

Проведено детальний аналіз критеріїв за якими проводиться оцінка рівня пасивної безпеки. Критерії вірогідності травмування людини під час зіткнення являються загально розповсюдженими і дозволяють адекватно оцінити рівень пасивної безпеки конструкції, але у існуючих методів оцінки такі критерії вираховуються або на етапі тривимірного моделювання або при натурних експериментах.

На основі проведеного аналізу існуючих моделей та методів проектування, оцінки енергопоглинальних властивостей елементів пасивної безпеки сформульовано мету і задачі дослідження.

Другий розділ дисертації присвячено розробці математичних моделей енергопоглинання при зіткненні та руху людини під час зіткнення, аналізу статистичних даних з аварій спортивних автомобілів та дослідженням впливу положення людини на вірогідність травмування.

Було проведено аналіз статистичних даних аварій автомобілів класу «Формула 1», вибір цього класу обумовлений подібною конструкцією, аналогічними зонами пасивної безпеки і значним числом задокументованих аварій. Спортивні автомобілі мають специфічні особливості в частині аварій. Це пов'язано з умовами проведення заїздів – усі автомобілі рухаються в одному напрямку, траса оснащена спеціальними бар'єрами безпеки й гравійними пастками в зонах імовірного вильоту з траси. Зони безпеки автомобіля мають окремі елементи пасивної безпеки, які встановлені для поглинання енергії зіткнення, також ці елементи були розділені на характерні сектори, для врахування напрямку удару, що дає можливість визначити найбільш вразливі ділянки конструкції.

Отримані результати були оброблені й об'єднані за такими критеріями, що дозволяють провести систематизацію всіх аварій і виявити закономірності:

- види аварій;
- розподіл аварій за типом;
- розподіл аварій по зонах руху;
- розподіл із причин аварії;
- розподіл за характером руху перед ударом;
- розподіл за типом удару.

Проведення статистичного аналізу виявило що більшість аварій приходить на носову структуру безпеки, при цьому необхідно поглинати максимальну кількість кінетичної енергії (рис. 2).

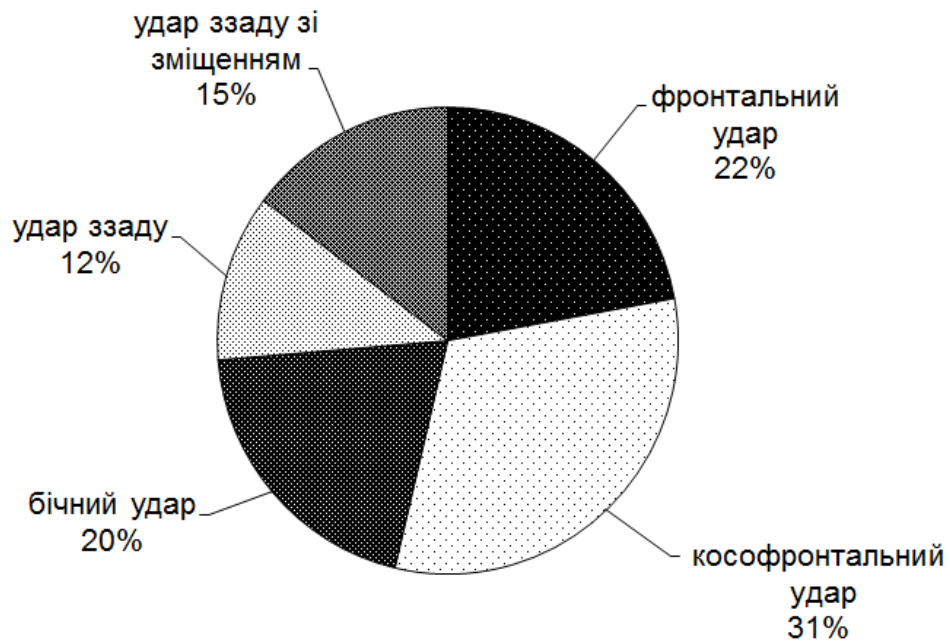


Рисунок 2 – Розподілення аварій за типом

Удари збоку не є найважчими для спортивних автомобілів, що мають розвинену бічну структуру енергопоглинання, фронтальні удари під кутом більше за 30 градусів призводять до зміни траєкторії руху автомобіля та його поступового поглинання енергії під час ковзання.

Поділ структур безпеки з урахуванням напрямку удару дозволяє підібрати навантажувальні режими для розрахунків структур безпеки, що відповідають найпоширенішим аварійним ситуаціям, аналіз аварій виявив, що структури безпеки, спроектовані з урахуванням існуючих вимог не завжди належним чином гасять енергію удару. У реальних умовах найбільш часті зіткнення під кутом до енергопоглинальних структур.

Перед ударом більшість автомобілів рухається стійкою траєкторією з високою швидкістю, після первинного удару автомобіль зберігає енергію й часто наступає серія вторинних ударів з великою швидкістю, за яких автомобіль втрачає стійку траєкторію руху.

Слід зазначити, що фронтальні удари спортивних автомобілів відбуваються на високих швидкостях, що вимагає гасіння великої кількості кінетичної енергії. Під час фронтальних ударів пілот випробовує максимальні перевантаження, і основна роль з поглинання енергії лягає на передню структуру пасивної безпеки. Бічні удари, які є найнебезпечнішими під час аварій дорожніх автомобілів, для

спортивних автомобілів мають низку відмінностей: кути зіткнення дотичні або зіткнення є вторинним з низькою залишковою енергією, пілот має обмежену рухливість у поперечному напрямку, значно більшу відстань на який поглинається кінетична енергія. Все це сприяє мінімізації діючих на людину бічних уповільнень.

Моделювання енергопоглинання в процесі зіткнення автомобіля з перешкодою за високих швидкостей руху автомобіля виконано за допомогою енергетичного методу, заснованого на тому, що в процесі зіткнення автомобіля кінетична енергія автомобіля майже повністю витрачається на руйнування енергопоглинального елемента. Це справедливо для спортивного автомобіля у якого при фронтальному зіткненні руйнується тільки елемент пасивної безпеки.

Було введено поняття питомої енергоємності, яке характеризує кількість кінетичної енергії, що поглинається матеріалом конструкції при руйнуванні. Питома енергоємність визначається експериментальним шляхом за допомогою зразків виготовлених з аналогічного матеріалу при цьому напрямку удару є перпендикулярним щодо оболонки, що відповідає реальним енергопоглинальним елементам.

Модель уповільнення автомобіля при фронтальному зіткненні описується формулою (1)

$$V_2 = \frac{k \rho \int_{l_1}^{l_2} S(l) dl}{m_0 V_1} + V_1, \quad (1)$$

де k – питома енергоємність елемента пасивної безпеки (Дж/гр);

$S(l)$ – площа поперечного перерізу в зоні руйнування;

ρ – щільність матеріалу з якого зроблений елемент пасивної безпеки;

V_1, V_2 – початкова та кінцева швидкість автомобіля за час руйнації елементарного об'єму елемента пасивної безпеки;

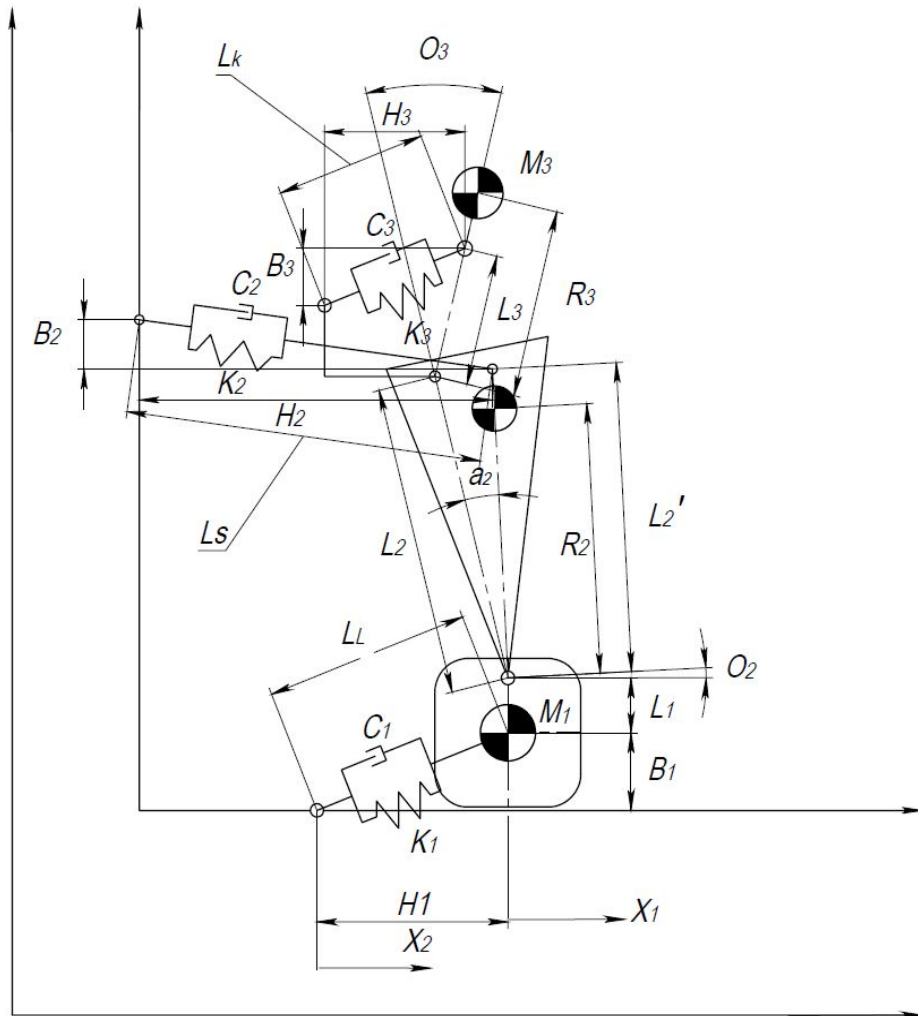
m_0 – маса автомобіля.

Метод визначення питомої енергоємності у відкритих публікаціях не зустрічається. Таким чином, під час проектування елементів пасивної безпеки уявляється раціональним користуватися таким значенням, однак необхідно розробити методику визначення питомої енергоємності, яка дозволить проводити виміри й одержувати адекватні значення.

Необхідне для розрахунків значення питомої енергоємності матеріалів, з яких виготовляється система пасивної безпеки, визначалося експериментальним шляхом.

У якості критерію оцінки безпеки автомобіля під час зіткнення застосовуються критерії ймовірності травмування. Для розрахунку такого критерію

необхідно знати уповільнення, які діють на людину під час зіткнення. Спеціальні засоби пасивної безпеки, застосовувані для спортивних автомобілів, вимагають удосконалювання динамічної моделі. Було вирішене завдання з розробки динамічної моделі, що коректно описує поведінку людини під час фронтального зіткнення, що використовує паски безпеки й засіб захисту голови та шиї. Для визначення уповільнень була запропонована тримасова модель людини (рис. 3).



M_1 – нижня маса (стегна й ноги); M_2 – середня маса (тулуб); M_3 – верхня маса (голова); X_1 – переміщення нижньої маси; X_2 – переміщення автомобіля (деформація); L_1 – відстань від центру нижньої маси до осі повороту середньої маси; L_2 – відстань від центру повороту середньої маси до точки кріплення плечового паска безпеки; L_2' – відстань від центру повороту середньої маси до центру повороту верхньої маси; L_3 – відстань від центру повороту верхньої маси до точки кріплення паска захисту шиї; R_2 – відстань від центру повороту середньої маси до центру ваги середньої маси; R_3 – відстань від центру повороту верхньої маси до центру ваги верхньої маси; K_1 – жорсткість поясного паска безпеки; K_2 – жорсткість плечового ременя безпеки; K_3 – жорсткість паска захисту шиї.

Рисунок 3 – Тримасова модель людини

Така модель описує рух людини під час фронтального зіткнення, вона враховує геометричні характеристики посадки й антропометричні дані людини, в моделі окремо описані поясні та плечові паси безпеки, а також змодельована система запобігання травмуванню шиї HANS, яка застосовується в спортивних автомобілях.

Запропонована вище тримасова модель має три ступені свободи й може бути вирішена за допомогою рівняння Лагранжа (2) де незалежні змінні q_i рівні: (1) $i = 1, q_1 = x_1$, лінійне переміщення точки (MI), (2) $i = 2, q_2 = \Theta_2$, кут повороту тулуба й (3) $i = 3, q_3 = \Theta_3$, кут повороту голови.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} = Q_{qi}. \quad (2)$$

Кінетична енергія системи дорівнює:

$$\begin{aligned} T = & \frac{1}{2} M_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} M_2 \left[\dot{x}_1^2 + 2 \dot{x}_1 R_2 \dot{\Theta}_2 \cos \Theta_2 + (R_2 \dot{\Theta}_2)^2 \right] + \\ & + \frac{1}{2} M_3 \left[\dot{x}_1^2 + (L_2 \dot{\Theta}_2)^2 + (R_3 \dot{\Theta}_3)^2 + 2 \dot{x}_1 L_2 \dot{\Theta}_2 \cos(\Theta_2 - \alpha_2) + \right. \\ & \left. + 2 \dot{x}_1 R_3 \dot{\Theta}_3 \cos \Theta_3 + 2 L_2 R_3 \dot{\Theta}_2 \dot{\Theta}_3 \cos(\Theta_2 - \alpha_2 - \Theta_3) \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

Потенційна енергія системи дорівнює:

$$\begin{aligned} \Pi = & \frac{1}{2} (\kappa_1 \delta_1^2 + \kappa_2 \delta_2^2 + \kappa_3 \delta_3^2) - M_2 g R_2 (1 - \cos \Theta_2) - \\ & - M_3 g L_2 (1 - \cos(\Theta_2 - \alpha_2)) - M_3 g R_3 (1 - \cos \Theta_3). \end{aligned} \quad (4)$$

Функція Релея що враховує в'язку складову під час розтягання пасків безпеки дорівнює:

$$\Phi = \frac{1}{2} (b_1 \dot{\delta}_1^2 + b_2 \dot{\delta}_2^2 + b_3 \dot{\delta}_3^2). \quad (5)$$

Тримасова модель є найбільш складною для чисельного розв'язку, вимагає складних математичних перетворень і через це рідко застосовується. У цьому випадку розв'язок був отриманий завдяки використанню імітаційної моделі вирішеної за допомогою бібліотеки Simmechanics пакета Simulink.

Були проведені розрахунки для з'ясування впливу посадки людини на критерій вірогідності травмування. З'ясовано що збільшення кута нахилу спинки знижує ймовірність травмування. Різниця критерію ймовірності травмування голови НІС при збільшенні кута нахилу спинки з 20 градусів до 45 складає 18 %. За нахилу спинки в 30 градусів і вище поясні паски не втримують таз на місці до повороту тулуба – спостерігається так званий «ефект пірнання».

Порівняння отриманих значень перевантажень для голови із кривою Уейн-Стейта доводить, що за нормативних вимог проведення випробувань ймовірність травмування пілота не перевищить нормованих меж окрім випадків, коли людина ударяється шоломом об кермо.

Також було проведено аналіз та отримані графіки максимально допустимих уповільнень автомобілю під час фронтального зіткнення за нормами FIA (рис. 4)

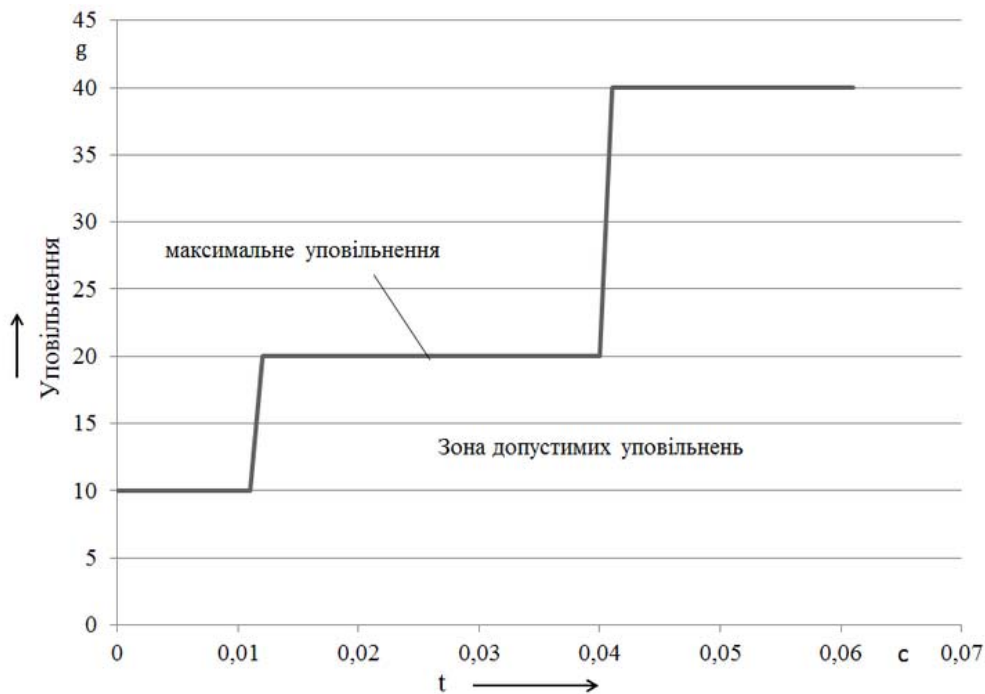


Рисунок 4 – Уповільнення автомобіля під час фронтального зіткнення за правилами FIA

У третьому розділі дисертації розглядаються практичне застосування запропонованого методу оцінки енергопоглинальних властивостей. Приводиться алгоритм застосування методу на початковому етапі проектування автомобіля. Наведені приклади того, що пропонується метод може бути використаний не тільки при створенні автомобілів для спорту, а також і в масовому автомобілебудуванні, розглянуті питання перспектив застосування конструкцій з композитних матеріалів в елементах пасивної безпеки та силових конструкцій серійних автомобілів.

За допомогою запропонованого методу на початковому етапі проектування стає можливим визначити кількість шарів армованого матеріалу у перерізі конструкції

елемента пасивної безпеки, проводиться оцінка уповільнення автомобіля, оснащеного таким енергопоглинальним елементом під час проходження стандартного тесту FIA на фронтальний удар. Це дозволяє скоротити час на оптимізацію конструкції на етапах аналізу методом скінченних елементів і натурних випробувань.

Наведено приклад використання пропонованого методу при проектуванні носового енергопоглинального елемента й оцінки його відповідності технічним вимогам. У прикладі здійснено добір шарів армуючого матеріалу з умов заданої форми носового елемента спроектованого автомобіля та вимог до уповільнення під час фронтального тесту з удару. Проведено підбір параметрів носового енергопоглинального елемента, які найбільше задовольняють вимогам до енергопоглинального елемента та являються оптимальним рішенням на етапі початкового проектування. Під час аналізу є змога побудувати криву уповільнення під час фронтального зіткнення автомобіля з таким енергопоглинальним елементом (рис. 5).

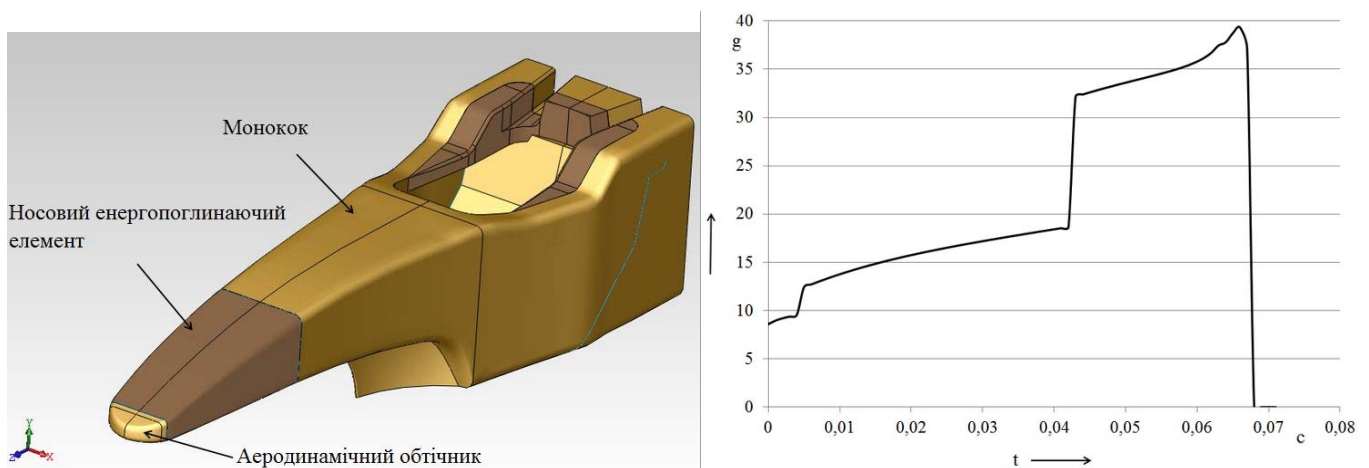


Рисунок 5 – Носовий енергопоглинаючий елемент та уповільнення автомобіля під час фронтального удару відповідно до правил FIA з розрахованим ЕПБ

Отримана крива уповільнення застосовується як вхідний параметр для моделі переміщення людини під час фронтального зіткнення, таким чином на початковому етапі проектування робиться оцінка ефективності засобів пасивної безпеки по загально вживаних критеріях вірогідності травмування.

У четвертому розділі дисертації приведені результати експериментальних досліджень. Докладно описана розроблена установка для проведення випробувань з удару, яка являє собою напрямні рейки встановлені під кутом 45 градусів і довжиною 6 м на рейках закріплено рухомий візок, який має можливість здійснювати тільки плоско паралельний рух відносно рейок, рухаючись під заданим кутом до нерухливої перешкоди. Довжина розгінної ділянки дозволяє візку зі зразком набрати швидкість у момент удару 8.1 – 8.2 м/с, було зроблено дві точки

скидання. Під час скидання з першої точки візок розганяється до 6 м/с, друга дозволяє розігнатися до максимальної швидкості в 8 м/с. Унизу розташована нерухлива перешкода. Твердість нерухокої перешкоди набагато перевищує твердість випробуваних зразків, це дозволяє зробити припущення про те, що перешкода під час удару не деформується.

На розгінному візку встановлені датчі швидкості й акселерометр, що реєструють параметри в процесі удару (рис. 6), комплекс дозволяє записувати такі параметри як швидкість розгінного модулю, діючи під час зіткнення уповільнення, а також прив'язка цих параметрів до переміщення під час руйнування. Встановлений акселерометр дозволяє реєструвати прискорення до 250 g, з частотою реєстрації у 400 Гц.

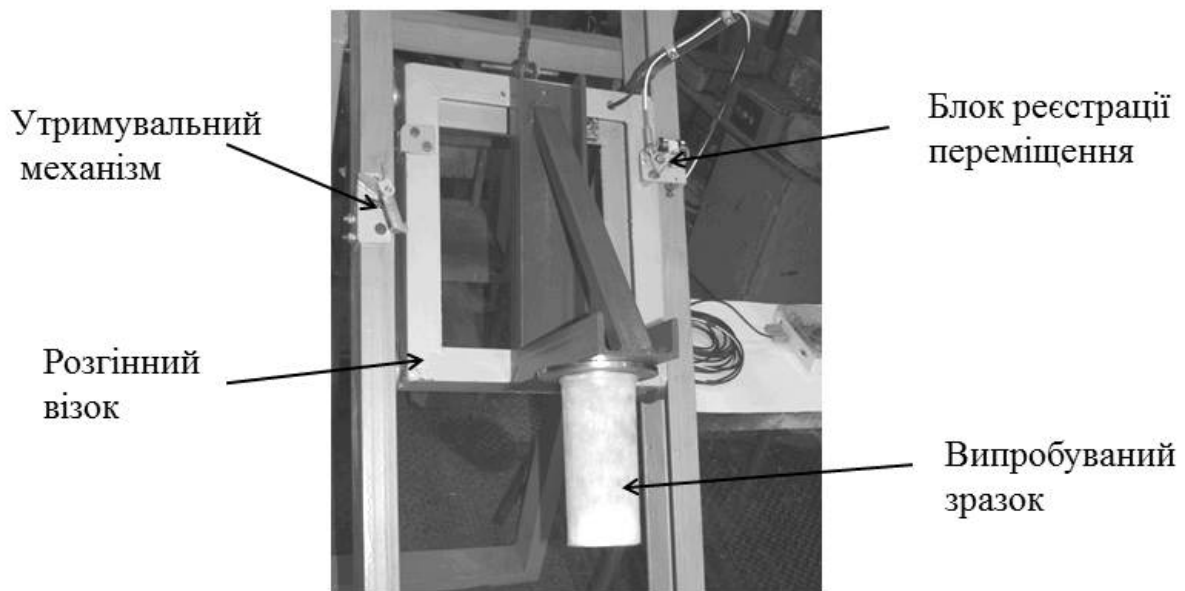


Рисунок 6 – Схема експериментального комплексу

Основна частина розділу присвячена опису експериментів по визначенню питомої енергоємності композитних матеріалів, яке проводилося під час виконання роботи. Була проведена серія експериментів з використанням одностипних зразків, напрямок удару й розташування матеріалу в яких було аналогічно реальним конструкціям енергопоглинальних елементів пасивної безпеки. Досліджувалися зразки, виготовлені з вугле- й склопластику, експерименти проводилися з різними початковими швидкостями в момент удару й різною масою розгінного модуля. В роботі проводилося оцінювання можливості застосування елементів, виготовлених методом вакуумної інфузії, бо цей сучасний метод дозволяє досягнути такої якості виробу, як в аналогічного виробу, що отриманий методом автоклавування, однак має меншу ресурсомісткість.

Під час удару прийнято розрізняти такі типи руйнування конструкцій:

- пластична деформація, яка є характерною для металів;
- катастрофічне руйнування, що виникає при неправильно підібраній конструкції енергопоглинального елемента;
- прогресивне руйнування, що притаманне виробам з композитних матеріалів.

При проведенні експериментів встановлено, що вуглекомполіти руйнуються по прогресивному сценарію, а зразки з склопластику мають модель руйнування схожу до пластичної деформації, що обумовлює їх невисоку питому енергоємність.

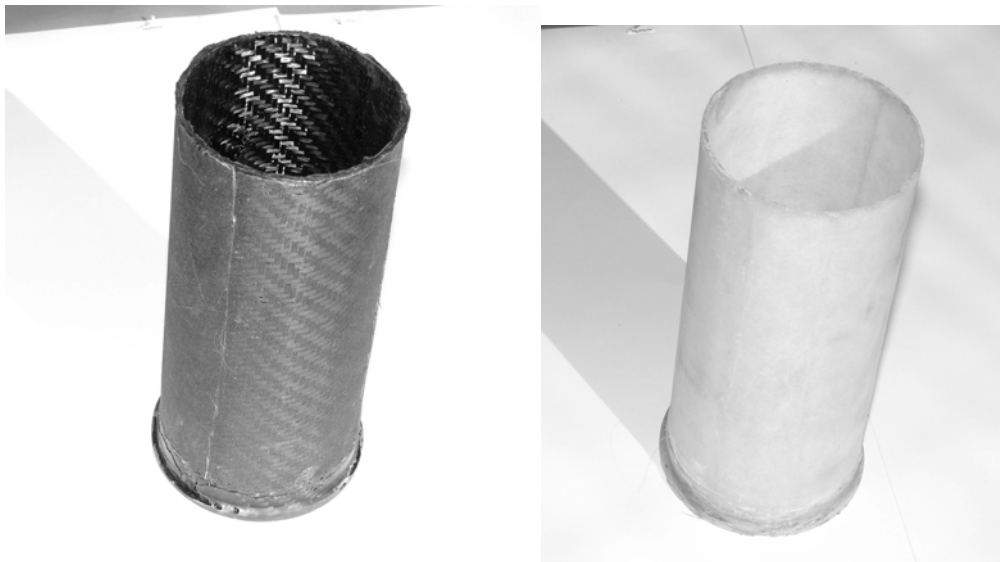


Рисунок 7 – Дослідні зразки з вугле- та склопластику

У ході експериментів встановлено, що питома енергоємність не залежить від початкової швидкості зіткнення й маси рухливої частини, питома енергоємність вуглепластику становить 60 Дж/г, що приблизно в три рази вище, чим показники склопластику (табл. 1).

Таблиця 1

Питоме поглинання енергії композитними матеріалами

Армуючий матеріал	Тип смоли й спосіб формування	Питоме поглинання енергії (Дж/г)
T-11	Епоксидна, інфузія	21
T-11	Епоксидна, інфузія, 120° C	31
twill 2×2 3K	Епоксидна, інфузія	64

Таким чином, енергопоглинальні елементи на основі вуглепластику мають значні переваги в порівнянні з конструкціями із традиційних матеріалів.

Крім цього, було проведено експеримент для визначення впливу кута удару на питому енергоємність, у ході експерименту встановлено, що зразок встановлений під кутом у 30 градусів мав подібний характер руйнування, як і під час удару під прямим кутом, зміна значення питомої енергоємності була незначна та лежала у

межах погрішності. Це дозволяє стверджувати що отримані значення питомої енергоємності можна використовувати при оцінці ефективності засобів пасивної безпеки при всіх видах фронтального зіткнення.

Для перевірки адекватності пропонованого методу був виготовлений зразок носового елемента пасивної безпеки (рис. 8).

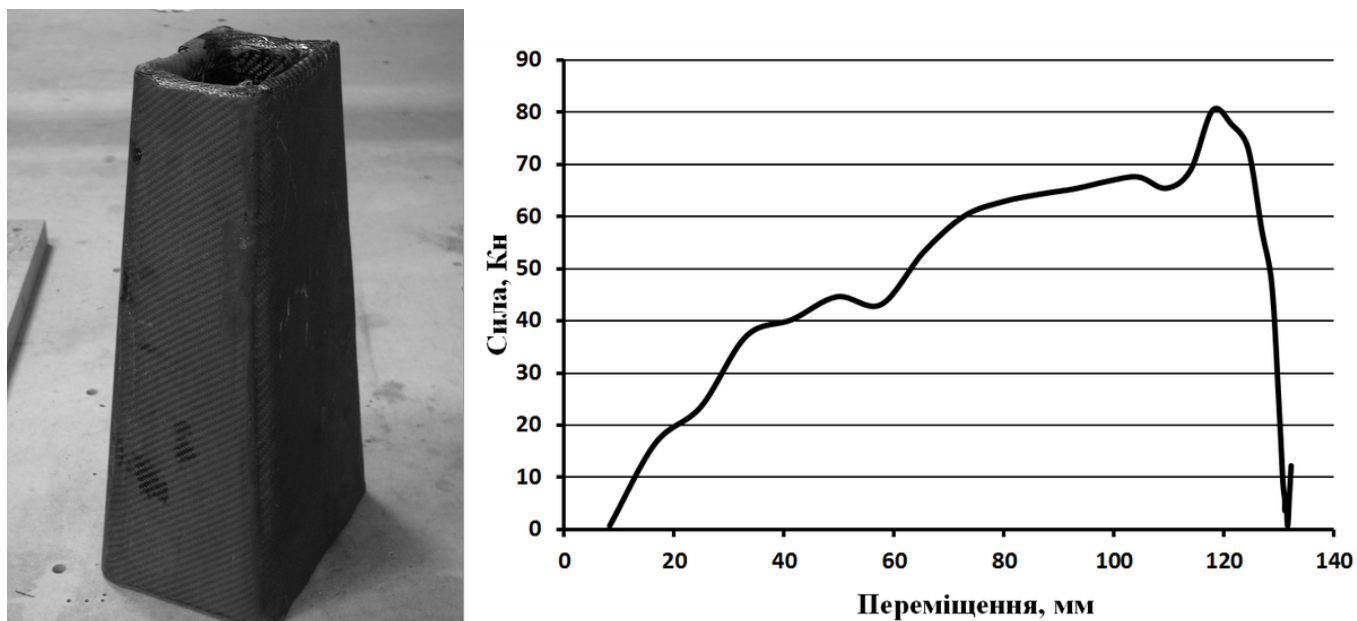


Рисунок 8 – Аналог носового елемента енергопоглинання та сила діюча під час руйнування

Він являв собою прямокутну трубу, що має звуження до передньої частини й сендвічні стінки. Зовнішня й внутрішня оболонки виготовлені з вуглепластику з розташованим між ними прошарком з пінополіуретану, така конструкція аналогічна до конструкцій реальних ЕПБ, які застосовуються у автомобілях.

При проведенні експерименту встановлено, що характер уповільнення відповідав розрахунковому, а кореляція між розрахунковими й експериментальними даними не перевищувала 7 % та в середньому становила 5 %.

Це підтверджує, що значення питомої енергоємності можна використовувати при розрахунку елементів пасивної безпеки найпоширенішою серед елементів пасивної безпеки, що застосовуються у спортивних автомобілях.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі приведені результати, які відповідають меті дослідження, і в сукупності являються рішенням актуальної науково-прикладної задачі – розробки розрахунково-експериментального методу оцінки енергопоглинальних властивостей елементів пасивної безпеки автомобілів для

спорту, який дозволяє обирати параметри елементів пасивної безпеки на початкових етапах проектування автомобіля.

1. Розроблена динамічна модель зіткнення автомобіля адекватно описує фронтальне зіткнення і поглинання енергії за допомогою елемента пасивної безпеки з композитних матеріалів. Похибка даних отриманих за допомогою розробленої моделі та натурних експериментів склала в середньому 5 % і не перевищувала 10 %, що підтверджує адекватність запропонованої моделі.

2. Розроблена динамічна модель переміщення людини під час зіткнення адекватно описує переміщення людини під час удару, яка пристебнута пасами безпеки і використовує систему захисту голови HANS. Аналіз моделі дозволив виявити характерні залежності ймовірності травмування людини від посадки в автомобілі. Було встановлено, що збільшення нахилу спинки сидіння більше 30 градусів призводить до виникнення ефекту піднирювання під поясний ремінь.

3. При використанні в автомобілі крісла з кутом нахилу більше 30 градусів необхідно застосування подушки сидіння з великим нахилом для сприйняття частини навантаження і обмеження переміщення людини.

4. Різниця критерію тяжкості травмування НІС між посадкою з нахилом спинки в 20 градусів і 45 градусів склала 18 % при уповільненні відповідному вимогам FIA до фронтального зіткнення, ймовірність травмування знижується при збільшенні кута нахилу сидіння.

5. Використовуючи запропоновану методику визначено, що питома енергоємність вуглекомполімеру в 3 рази вища ніж у склопластику і традиційно застосовуються в енергопоглинальних елементах алюмінію і м'яких сталей.

6. Отримані значення питомої енергоємності вуглекомполімеру складають 60 Дж/г, склопластику 22 Дж/г.

7. Експериментально підтверджено застосування розрахунково-експериментального методу при виборі параметрів елементів пасивної безпеки і оцінки відповідності вимогам безпеки.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Туренко А.М. Оценка напряженно деформированного состояния несущих систем и элементов конструкции из современных материалов в спортивных автомобилях / А.М. Туренко, В.І. Клименко, А.В. Ужва, Т.Л. Ламла, Е.Л. Савченко, О.В. Сергієнко, І.В. Лукашев, В.А. Шаповаленко. – Х. : ХНАДУ, 2016. — 255с.

2. Туренко А.М., Ужва А.В., Сергієнко О.В. Стенд для досліджень пасивної безпеки автомобілів. – Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов. Харьков: Издательство ХНАДУ. – 2011. Выпуск 28 – С. 12–13.

3. Туренко А.М., Ужва А.В., Сергієнко О.В., Шаповаленко В.А., «Подход к проектированию систем пассивной безопасности спортивного автомобиля», // Сборник научных работ.- Севастополь: Вестник СевНТУ. 2013.-№142-С.76-79.

4. Туренко А.М., Ужва А.В., Сергієнко О.В. Результаты исследований поглощения энергии при ударе изделиями из композитных материалов. – Вестник ХНАДУ. Сборник научных трудов. Харків: Видавництво ХНАДУ. – 2013. Випуск 60 – С. 90–94.

5. Туренко А.М., Ужва А.В., Чебан А.А., Сергієнко О.В., Шаповаленко В.А. Технологии производства несущих систем из композитных материалов методом инъекции полиэфирной смолы в закрытую форму. – Праці Одеського політехнічного університету. Научний и научно-производственный сборник. Одеса. – 2014. Випуск 2(44) – С. 50–53.

6. Туренко А.М. Подход к исследованию пассивной безопасности спортивных автомобилей на основе статистического анализа аварий / А.М. Туренко, А.В. Ужва, О.В. Сергієнко // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Транспортное машиностроение. – Харків : НТУ "ХПИ". – 2012. – № 19. – С. 74-80.

7. Сергієнко О.В. Моделирование перемещения пассажира при фронтальном столкновении автомобиля с помощью пакета SIMMECHANICS//Вестник Нац. техн. ун-та "ХНТУСГ". – Харків : ХНТУСГ.–2014.–№155.–С.194-199.

8. Туренко А.М. Состояние вопроса по созданию моделей систем пассивной безопасности спортивных автомобилей на стадии проектирования/ А.М. Туренко, А.В. Ужва, О.В. Сергієнко, В.А. Шаповаленко. // Вестник НТУ «ХПИ» 2012. – №60 – С. 42-47.

9. Туренко А.М. Статические испытания системы пассивной безопасности спортивного автомобиля класса «формула 1600»/ А.М. Туренко, С.М. Шуклинов, А.В. Ужва, О.В. Сергієнко, В.А. Шаповаленко. // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов: сборник научных трудов – Мінск, 2016. – Вип. 8 – С. 501-509.

10. Туренко А.М., Ужва А.В., Сергієнко О.В., Шаповаленко В.А., «Підхід до проектування систем пасивної безпеки», // Збірник тез.-Львів: Вестник Львівської Політехніки. 2013.

11. Туренко А.М. Моделирование поведения пассажира при фронтальном столкновении автомобиля с помощью пакета SIMMECHANICS/ А.М. Туренко, А.В. Ужва, О.В. Сергієнко.//Наука – образованию, производству, экономике: 12-а міжнародна науково-технічна конференція Білоруського національного технічного університету, 22-24 жовтня 2014 р.: збірник матеріалів у 4 томах. Мінск, 2014.–С 231–233.

12. Сергієнко О.В. Расчетно-экспериментальный метод оценки энергопоглощающих свойств элементов пассивной безопасности автомобилей для

спорту/ О.В. Сергієнко // Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті: Міжнародна науково-практична конференція присвячена 85-річчю заснування ХНАДУ, 85-річчю заснування автомобільного факультету та з нагоди Дня автомобіліста і дорожника Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, 15-16 жовтня 2015 р.: наукові праці. – Харків, 2015. – С. 51 – 52.

13. Пат. 47317 Україна, МПК А63К 99/00. Гоночний автомобіль / А.М. Туренко, В.І. Клименко, І.В. Лукашов, Є.В. Волянський, О.В. Сергієнко, Є.Л. Савченко. – № U200908350; заявл. 07.08.2009; опубл. 25.01.2010. Бюл. №2, 4с.

14. Пат. 78129 Україна, МПК А63К 99/00, В60Р 1/00. Система пасивної безпеки гоночного автомобіля / О.В. Сергієнко, О.О. Чернишов, І.В. Лукашов, Є.В. Хмельницький, Є.В. Волянський, О.Ю. Бездітко, М.Д. Стукало, В.І. Клименко, А.М. Туренко. – № U201210300; заявл. 31.08.2012; опубл. 11.03.2013. Бюл. №5, 4с.

15. Пат. 95811 Україна, МПК В60R 19/00 В60R 21/00. Система пасивної безпеки гоночного автомобіля / В.А. Богомолов, А.М. Туренко, В.І. Клименко, О.В. Сергієнко, В.А. Шаповаленко. – № U201407427; заявл. 02.07.2014; опубл. 12.01.2015. Бюл. №1, 4с.

АНОТАЦІЯ

Сергієнко О.В. Розрахунково-експериментальний метод оцінки енергопоглинальних властивостей елементів пасивної безпеки автомобілів для спорту. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – автомобілі та трактори. – Харківській національній автомобільно-дорожній університет МОН України, Харків, 2018.

Дисертацію присвячено розробці розрахунково-експериментального методу оцінки енергопоглинальних властивостей елементів пасивної безпеки автомобілів для спорту.

Науковими результатами є: 1) математична модель зіткнення автомобіля; 2) математична модель поведінки людини при ударі; 3) методика, що дозволяє визначити питому енергоємність композитних матеріалів.

Розроблені моделі та методика дозволяють вперше вирішити науково-прикладну проблему прийняття рішень щодо оцінки енергопоглинальних властивостей елементів пасивної безпеки автомобілів для спорту, та добрати оптимальні параметри конструкції на етапі ескізного проектування. Це дозволяє знизити ймовірність травмування людини під час дорожньо-транспортної пригоди.

Запропоновані моделі та методи дозволяють підвищити ефективність при забезпеченні пасивної безпеки автомобіля за рахунок поліпшення точності оцінки елементів пасивної безпеки автомобіля у порівнянні із традиційними методами.

Визначено питому енергоємність композиційних матеріалів яка складає для вуглепластику 60 Дж/г, для склопластику 22 Дж/г.

Ключові слова: пасивна безпека, фронтальне зіткнення, енергопоглинання, композиційні матеріали, питома енергоємність, елементи пасивної безпеки.

АННОТАЦИЯ

Сергиенко А.В. Расчетно-экспериментальный метод оценки энергопоглощающих свойств элементов пассивной безопасности автомобилей для спорта. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.02 – автомобили и тракторы. – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков, 2018.

Диссертация посвящена разработке расчетно-экспериментального метода оценки энергопоглощающих свойств элементов пассивной безопасности автомобилей для спорта.

На основании анализа существующих моделей и методов расчета и оценки энергопоглощающих свойств элементов пассивной безопасности при фронтальном столкновении были выбраны объект, предмет, цель и задачи исследования.

Анализ проблемы оценки пассивной безопасности спортивного автомобиля показал, что на этапах эскизного проектирования подбор параметров элементов пассивной безопасности проводится при помощи упрощенных моделей. Выбор параметров элементов пассивной безопасности осуществляется на основе аналогов или упрощенных моделей приводит к необходимости оптимизации модели и внесения изменений в конструкцию на этапе моделирования столкновения с помощью точных моделей и натурных экспериментов.

Разработанная математическая модель столкновения автомобиля адекватно описывает фронтальное столкновение и поглощение энергии при помощи элемента пассивной безопасности из композитных материалов. Погрешность данных полученных при помощи разработанной модели и натурных экспериментов составила в среднем 5 % и не превышала 10 %, что подтверждает адекватность предложенной модели.

Разработанная математическая модель поведения человека при ударе адекватно описывает перемещение человека при ударе, пристегнутого ремнями безопасности и использующего систему защиты головы HANS. Анализ модели позволил выявить характерные зависимости вероятности травмирования человека от посадки в автомобиле. Было установлено, что увеличение наклона спинки сиденья больше 30 градусов приводит к возникновению эффекта подныривания под поясной ремень. При использовании в автомобиле кресла с углом наклона больше 30 градусов необходимо применение подушки сиденья с большим наклоном для

восприятия части нагрузки и ограничения перемещения человека. Разница критерия тяжести травмирования НИС между посадкой с наклоном спинки в 20 градусов и 45 градусов составила 18 % при замедлении соответствующем требованиям FIA к фронтальному столкновению, вероятность травмирования снижается при увеличении угла наклона сиденья.

Разработана методика, позволяющая определить удельную энергоемкость композитных материалов. Используя предложенную методику определено, что удельная энергоемкость углекомполитов в 3 раза выше чем у стеклопластика и традиционно применяемых в энергопоглощающих элементах алюминия и мягких сталей. Полученные значения удельной энергоемкости углекомполита составляют 60 Дж/г, стеклопластика 22 Дж/г.

Экспериментально подтверждено применение расчетно-экспериментального метода при выборе параметров элементов пассивной безопасности и оценке соответствия предъявляемым требованиям безопасности.

Материалы диссертационной работы внедрены и применяются в практике проектирования спортивных автомобилей лабораторией скоростных автомобилей, использовались при проведении научно исследовательских работ и внедрены в учебный процесс ХНАДУ.

Ключевые слова: пассивная безопасность, энергопоглощение, композитные материалы, фронтальное столкновение, элементы пассивной безопасности.

ABSTRACT

O. V. Serhienko The computational and experimental method for evaluating the energy absorbing properties of passive safety elements of sports cars. — Manuscript.

The dissertation for the degree of Candidate of Engineering Sciences in specialty 05.22.02 — Automobiles and tractors. — Kharkiv National Automobile and Highway University, the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2018.

The dissertation is dedicated to the development of a computational and experimental method for evaluating the energy absorbing properties of passive safety elements of sports cars.

The scientific results are 1) a mathematical model of a car collision; 2) a mathematical model of an occupant's behavior in an impact; 3) a methodology that allows to determine the specific energy absorption capacity of composite materials.

The developed models and methodology allow for the first time to solve the theoretical and applied problem of making decisions on evaluating energy absorbing properties of passive safety elements of sports cars, which makes it possible to reduce the likelihood of injury to a person in an accident.

The proposed models and methods allow to increase the efficiency of ensuring passive safety of a car due to improving the accuracy of evaluating passive safety elements of

the car in comparison with traditional methods. The specific energy absorption capacity of composite materials has been determined, which is 60 J/g for carbon fiber reinforced plastic, and 22 J/g for glass-reinforced plastic.

Keywords: passive safety, energy absorption, composite materials, frontal collision.