

Дослідження на відповідність вимогам безпеки захисних властивостей кабін
самохідних машин

АНОТАЦІЯ

Безпека експлуатації самохідних машин (автомобілів, тракторів, спеціальної техніки та ін.) залежить від захисних пристроїв конструкції кабіни, кузова машини. Проведений аналіз конструкцій цих машин і аварій показав необхідність будови каркасу, який володіє такими властивостями.

Об'єкт дослідження - процес взаємодії 3D-моделі падаючого вантажу з 3D-моделлю каркаса кабіни колісного тягача класу 3-4 загального призначення.

Мета - теоретичні дослідження конструкції каркаса кабіни тягача на здатність забезпечити захист водія-оператора від падаючих предметів відповідно до ДСТУ ISO 3449-2005.

Для виконання теоретичних досліджень використовувався метод кінцевих елементів. Вихідні дані задані виходячи з вимог ДСТУ ISO 3449-2005 та даних конструкторської документації на кабіну.

В ході досліджень були визначені деформації і напруги елементів конструкції кабіни при поглинанні заданої енергії падаючого вантажу і перевірена зона захисту оператора трактора на відповідність ДСТУ ISO 3449-2005.

На основі аналізу результатів досліджень і рекомендацій була вдосконалена конструкція підвісу і 3D-модель каркаса кабіни. Проведені теоретичні дослідження показали те, що вдосконалена конструкція забезпечує рівень I захисту оператора колісного тягача тягового класу 3-4.

Ключові слова: АНАЛІЗ, БЕЗПЕКА, ЕКСПЛУАТАЦІЯ, КАБІНА, ПІДВІС, ЗАХИСТ, ВАНТАЖ, ПАДІННЯ, ЕНЕРГІЯ, ПОГЛИНАННЯ, ДЕФОРМАЦІЯ, НАПРУГА, ЗОНА, БЕЗПЕКА.

ЗМІСТ

Вступ

1 Безпека експлуатації самохідних машин

2 Об'єкт дослідження

3 Дослідження вихідного варіанту каркасу кабіни при падінні вантажу

Висновок

Список джерел інформації

ВСТУП

На сьогодні конструкції кабін сучасних самохідних машин постійно удосконалюються з позицій забезпечення комфортних умов праці водія-оператора, поліпшення естетичного вигляду, розробки сучасного дизайну машини в цілому. При цьому необхідно виконати в першу чергу нормативні вимоги безпеки водія-оператора при аварійних ситуаціях.

Одними з вимог є забезпечення гасіння енергії удару і нормативної деформації каркаса від падаючих предметів.

Цією проблемою займаються всі виробники, які створюють сучасні автомобілі, трактори і спеціалізовану техніку як в Україні, так і за кордоном. Вибір параметрів конструкції каркасу впливає на вартість, на масу, геометричні розміри елементів і самої кабіни або салону.

Рішення проблеми вибору раціональних конструктивних параметрів захисного каркаса кабіни за допомогою сучасних інформаційних технологій дозволяє зменшити витрати на перевірку конструкції на відповідність діючим вимогам і скоротити час на вирішення поставленого завдання.

У роботі проведено: аналіз аварійних ситуацій при експлуатації самохідних машин; дослідження взаємодії моделей падаючого вантажу і каркаса кабіни колісного тягача; аналіз відповідності конструкції вимогам ДСТУ ISO 3449-2005. Після аналізу результатів і рекомендацій необхідно вдосконалення конструкції захисного пристрою кабіни. Дослідження 3D-моделі каркаса кабіни за допомогою вказаної методики можуть показати відповідність конструкції вимогам необхідного рівня захисту водія-оператора тягача від проникнення предметів.

1 БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ САМОХІДНИХ МАШИН

Пасивна безпека колісних машин в даний час являє собою одну з найбільш важливих задач, яку доводиться вирішувати при проектуванні нових транспортних засобів. Ця задача дуже складна і трудомістка, оскільки пов'язана з ударом і, як наслідок, є суттєво нелінійною з великими деформаціями, напруженнями і прискореннями. Стосовно до кабін вантажних автомобілів одним з найбільш складних режимів є удар спереду. При контакті конструкції з об'єктом в її елементах відбувається втрата стійкості, смятие, вигин, з'являються пластичні шарніри і т. д. Метод кінцевих елементів (МКЕ) дозволяє вирішувати нелінійні задачі міцності і жорсткості з високою точністю для конструкцій практично будь-якої геометричної форми і при будь-яких граничних умовах. Однак навіть на сучасних ЕОМ вирішення подібних задач може тривати багато годин.

Оскільки пасивна безпека в першу чергу визначається ударно-міцностними властивостями кабіни автомобіля, методики вдосконалення її конструкції необхідні вже на самих ранніх стадіях проектування, коли неможливі натурні випробування.

Безпеку автомобіля прийнято поділяти на дві основні категорії: *активну* - здатність автомобіля запобігати дорожньо-транспортні пригоди (ДТП) або знижувати ймовірність їх виникнення і *пасивну* - властивість автомобіля зменшувати тяжкість ДТП (проявляється в період, коли водій не в змозі запобігти ДТП). Кожен тип автомобіля розробляють з урахуванням вимог пасивної безпеки, а їх рівень перевіряють за допомогою краш-тестів [1,2].

Для достовірної оцінки пасивної безпеки транспортного засобу необхідний статистичний аналіз аварійних ситуацій і виявлення найбільш характерних випадків.

Згідно з опублікованими даними в 27 країнах Євросоюзу близько 31 100 загинули в ДТП, що на 11% менше, ніж було раніше. Тенденція зниження числа загиблих стала позитивною за останні 20 років завдяки значному поліпшенню інфраструктури, транспортних засобів і, не в останню чергу, поведінки учасників

дорожнього руху (використання ременів безпеки, зниження випадків перевищення швидкості, зменшення впливу токсичних речовин). Скорочення ДТП зі смертельними наслідками майже на 60% (за 20 років) в Євросоюзі є вражаючим доказом узгоджених зусиль автомобільної промисловості, політиків, державних органів і споживчих організацій, однак подальші роботи в цьому напрямку необхідно продовжувати.

У країнах Євросоюзу за останнє десятиліття близько 1,7 млн. осіб в середньому значно менше, серйозно чи смертельно поранено у всіх типах ДТП (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Жертви ДТП в Євросоюзі (середнє значення)

Число постраждалих	Всі автомобілі	Автобуси > 3,5 т		Вантажівки > 3,5 т	
		Число випадків	Доля від всіх транспортних засобів, %	Число випадків	Доля від всіх транспортних засобів, %
Загиблі	43 500	1200	3	7200	17
Тяжко поранені	298 400	6500	2	21 900	7
Легко поранені	1 386 100	44 300	3	83 900	6
Всього	1 728 000	52 000	3	113 000	7

За даними патрульної поліції в Україні щорічно відбувається близько 160 тис. ДТП, з яких близько 25 тис. є ДТП з постраждалими (табл. 1.2) [6].

Таблиця 1.2 – Загальна кількість ДТП та ДТП з постраждалими в Україні (по статистиці патрульної поліції)

Кількість	Рік			
	2017	2018	2019	2020
Усього ДТП	162 526	150 120	160 675	168 107
ДТП з постраждалими				
Усього	27 220	24 294	26 052	26 140
Загинуло	3432	3350	3454	3541
Травмовано	34 677	30 884	32 736	31 974

На початку нинішнього року патрульна поліція України представила статистику аварійності за січень 2021 р. Згідно з цими даними, на дорогах України відбулося 1665 ДТП з постраждалими (зменшення на 10,8%), в яких 260 людини загинули (зменшення на 4,1%) і 2029 отримали поранення (зменшення на 15,1%). Причини ДТП в Україні за січень 2021 р. за даними патрульної поліції наступні:

- порушення правил маневрування (36%);
- перевищення безпечної швидкості (30%);
- недотримання дистанції (15%);
- порушення правила проїзду перехресть (6%).

Основні типи аварійних ситуацій наведені в табл. 1.3.

З табл. 1.3 випливає, що переважним видом ДТП є фронтальне зіткнення вантажівки з іншими транспортними засобами (легковий автомобіль, мотоцикл і т. д.) і людиною. Основні види ДТП наступні:

- зіткнення;
- перекидання;
- наїзд (на транспортний засіб, перешкоду, пішохода, велосипедиста, гужовий транспорт, тварину);
- падіння пасажирів;
- інші види.

На підставі подібних статистичних даних в Україні і Євросоюзі були розроблені вимоги, які регламентують пасивну безпеку транспортних засобів. В даний час кожен новий автомобіль який розробляється повинен відповідати цілій низці стандартів пасивної безпеки, основними з яких є правила Єдиної економічної комісії при Організації Об'єднаних Націй (ЄЕК ООН). На базі цих документів розроблені вітчизняні стандарти, що діють на території України.

Таблиця 1.3 - Дорожньо-транспортні пригоди з участю вантажівок, які привели до серйозних смертельних травм (дані дослідницької групи фірми Volvo) [3]

Користувач автодоріг	Тип аварії	Частота, %
Вантажівки (15–20 %) 	Одиночна вантажівка. Керування по бездоріжжю (з чи без перекидання)	35
	Одиночна вантажівка. Занос чи ковзання (нестабільності на дорозі)	15
	Фронтальне зіткнення двох вантажівок	10
	Зіткнення двох вантажівок (наїзд ззаду)	20
	Інші види зіткнень	5
Легкові автомобілі (55–65 %) 	Фронтальне зіткнення вантажівки з легковими автомобілями	35
	Бокове зіткнення	10
	Послідовне зіткнення декількох автомобілів	5
	Наїзд вантажівки на легковий автомобіль	10
	Удар вантажівки в бік легкового автомобіля	15
	Наїзд легкового автомобіля ззаду	10
	Боковий удар легкового автомобіля	10
	Бокове зіткнення при маневрі	5
Незахищені учасники дороги (15–25 %) 	Наїзд на пішохода	5
	Наїзд на пішохода при русі назад	5
	Наїзд на пішохода на перехресті	25
	Наїзд на пішохода при повороті	20
	Боковий наїзд на велосипедиста	10

На пасивну безпеку автомобіля впливає безліч конструктивних і технологічних факторів, на основі яких можна сформувати систему забезпечення і управління пасивної безпеки. При наявності достовірної статистичної інформації про пасивну безпеку автомобіля на стадії експлуатації можливості управління

системою забезпечення пасивної безпеки обмежені і пов'язані в основному з регламентацією швидкості руху. Набагато більш широкі можливості є на стадії проектування окремих елементів цієї системи, коли можлива доведення і оптимізація її конструктивних параметрів.

На основі проведених досліджень механізмів травмування і біомеханіки руху людини під час ДТП сформульовані критерії оптимізації. Прийнято використовувати чотири основні показники пасивної безпеки:

- деформація конструкції;
- максимальне прискорення людини;
- ймовірність викидання людини;
- займистість автомобіля.

Таким чином, ударно-міцнісні властивості навколишньої конструкції є основним чинником, що визначає рівень пасивної безпеки автомобіля. Оцінюють їх за деформаціями, які при певних умовах зіткнення не повинні перевищувати задані значення, зберігаючи усередині кабіни життєвий простір для водія і кожного з пасажирів, а також по перевантаженням, чинним на людину в процесі зіткнення. Життєвим (залишковим) простором називають захисну зону навколо людини, що сидить в автомобілі (тракторі), всередину якої не повинні проникати деталі при аваріях. Розміри життєвого простору, при якому забезпечується збереження життєдіяльності закріпленої на сидінні людини, регламентуються стандартами. Як приклад на рис. 1.1 представлена зона рекомендованого життєвого простору згідно з нормами, прийнятими в Європі і США [7].

Життєвий (залишковий) простір необхідних розмірів забезпечується ударно-міцностними властивостями кабін вантажних автомобілів і усуненням можливості травмування людей елементами внутрішнього інтер'єру.

Аналіз конструкції кабін вантажних автомобілів. Для розрахунку методики створення кабін вантажних автомобілів з раціональними параметрами, що відповідають вимогам пасивної безпеки, необхідно розглянути їх конструкції з позицій безпеки і конструктивних особливостей, які необхідно враховувати при

дослідженні. Конструкції кабін вантажних автомобілів відрізняються великою різноманітністю в зв'язку з різними умовами їх експлуатації (рис. 1.2) [2].

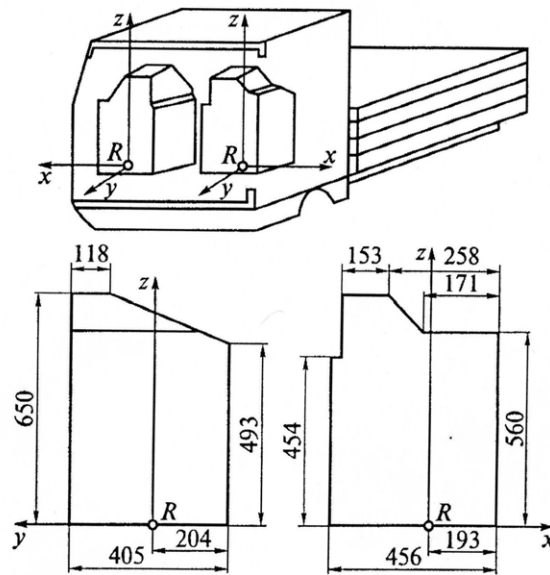


Рис. 1.1 – Розміри життєвого простору в кабіні вантажівки, мм



Рис. 1.2 – Класифікація кабін вантажівок

Визначальними факторами конструкції кабіни крім умов експлуатації є характерні аварійні ситуації для конкретних типів машин. Безпека, оглядовість і

комфорт - це три основні критерії, за якими створюють всі кабіни. Типові конструкції кабін вантажних автомобілів представлені на рис. 1.3.



Рис. 1.3 – Конструкції кабін вантажівок Scania (а), Volvo (б), «КамАЗ-5320» (в) и Mercedes Bens Atego (г)



Рис. 1.4 – Приклади деформації кабін вантажівок після аварії

Визначення енергопоглинаючих елементів конструкції автомобілів, оцінка деформацій (рис. 1.4) при зіткненні і в кінцевому підсумку загальна оцінка пасивної безпеки являють собою складні завдання. Методи дослідження пасивної безпеки конструкцій кабін вантажних автомобілів можна розділити на експериментальні, розрахункові і розрахунково-експериментальні.

Під експериментальними методами дослідження в першу чергу увазі повномасштабні випробування натурних зразків відповідно до стандартів безпеки. Методики випробувань на пасивну безпеку конструкції покликані моделювати сценарії реальних аварійних ситуацій (рис. 1.5).



Рис. 1.5 – Приклади кабін після натурних випробувань

Стосовно до вантажних автомобілів такими ситуаціями є лобовий удар, удар по кабіні ззаду, удар по кабіні ззаду вантажем який зірвався при гальмуванні і перекидання автомобіля. Згідно з вимогами ДСТУ 41.29-99 (правила ЄЕК ООН № 29), ці ситуації зведені до трьох видів випробувань (рис. 1.6, а).

При випробуванні А по кабіні, яка встановлена на транспортному засобі, здійснюють фронтальний удар маятником з заданими розмірами і кінетичною енергією. При випробуванні В через жорстку плиту до конструкції квазістатично прикладають задане вертикальне навантаження. При випробуванні С задню стінку

кабіни через жорстку плиту навантажують горизонтальною силою. Після проведення кожного виду випробувань в кабіні має залишатися залишковий простір, в якому на встановленому в середньому положенні сидінні може поміститися, не приходячи в зіткнення з жорстко закріпленими частинами, антропометричний манекен. В деталях кріплення кабін до рами можуть спостерігатися деформації і злами, проте кабіна повинна залишатися прикріпленою до рами.

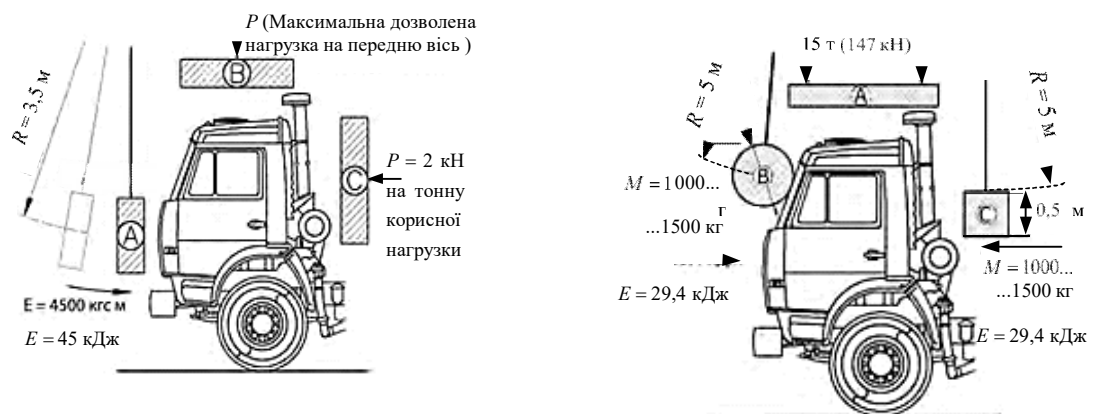


Рис. 1.6 – Види випробувань кабін по ДСТУ 41.29–99 (а) та по VVFS 2003:29 (б)

Характеристики пасивної безпеки кабін відповідно зі шведськими нормами VVFS 2003:29 перевіряють наступними випробуваннями (рис. 1.6, б):

- випробування А - квазістатичне навантаження на дах кабін;
- випробування В - удар циліндричним маятником спереду по передньому верхньому кутку кабін;
- випробування С - удар прямокутним маятником по задній стінці кабін під прямим кутом.

Кабіна вважається такою, що витримала всі види випробувань при наступних умовах:

- в несучій конструкції кабін або деталях, а також вузлах кріплення не відбулося руйнувань і не утворилися значні тріщини або деформації;
- в кабіні залишається життєвий простір для водія і пасажирів;
- при динамічному навантаженні (ударі) вся енергія удару поглинається кабіною, при цьому не відбувається проковзування маятника по даху.

В даний час в рамках Женеvської угоди йде розробка нової серії поправок до Правил № 29 ЄЕК ООН, які регламентують процедуру випробувань і технічні вимоги, що пред'являються до кабін вантажівок щодо їх ударно-міцностних властивостей для забезпечення безпеки водія і пасажирів в умовах зіткнення і перекидання [8]. Так, є додавання 28 до Правил ЄЕК ООН № 29 [9] (рис. 1.7).

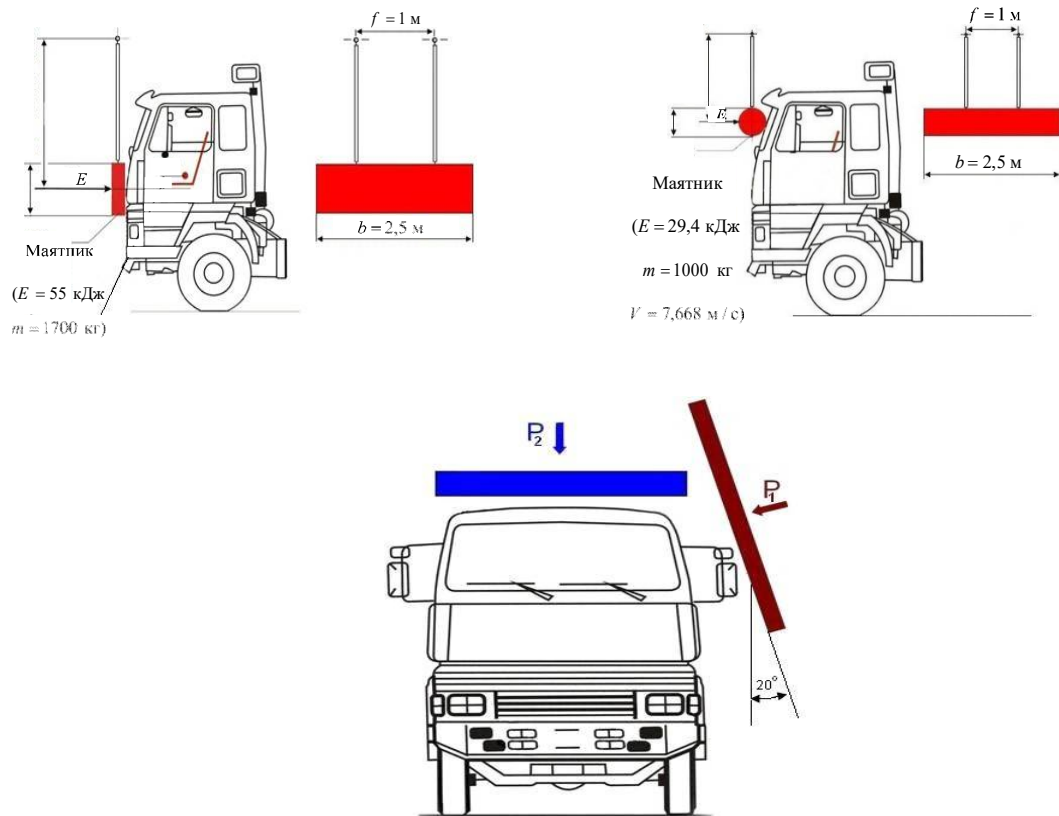


Рис. 1.7 – Схеми навантаження кабіни при випробуваннях А (а), В (б) і С (в) по правилам ДСТУ 41.29-99 (Правила ЕЭК ООН № 29)

Головним недоліком експериментальних методів досліджень є необхідність створення дорогих об'єктів досліджень, а також те, що при незадовільному результаті випробування важко встановити причини, з яких це сталося, і на чому може бути засноване подальше вдосконалення конструкції.

Вже згадана задача дуже складна і трудомістка, оскільки пов'язана з ударом і, як наслідок, є суттєво нелінійної з великими деформаціями, напруженнями і прискореннями. Стосовно кабін вантажних автомобілів одним з найбільш складних режимів є удар спереду, при якому має місце контакт конструкції з об'єктом, а в її

елементах відбувається втрата стійкості, зминання, вигин, з'являються пластичні шарніри і ін. Такі завдання вирішують методом кінцевих елементів (МКЕ), який забезпечує високу точність для конструкцій практично будь-якої геометричної форми і при будь-яких граничних умовах. Однак навіть на сучасних ЕОМ рішення подібних завдань може тривати багато годин.

Трактори та інші самохідні мобільні машини в сільському господарстві, лісовій промисловості, будівництві, видобувних галузях промисловості, при перевезенні матеріалів і т.п. можуть створювати серйозну небезпеку, перевертаючись на бік, перекидаючись вперед або назад, падіння на кабінку (каменів, снігу тощо).

У деяких країнах, де відбулося багато випадків перекидання транспортних засобів або падіння на кабінку будь-чого зі смертельними наслідками, дана проблема була винесена на національний рівень. У Швеції та Нової Зеландії розробки і випробування захисних засобів проти перекидання (ROPS) тракторів (рис. 1.8) проводилися вже в 1950-і роки. Шведська влада прийняли спеціальні правила. Ці правила набули чинності з 1959 року.

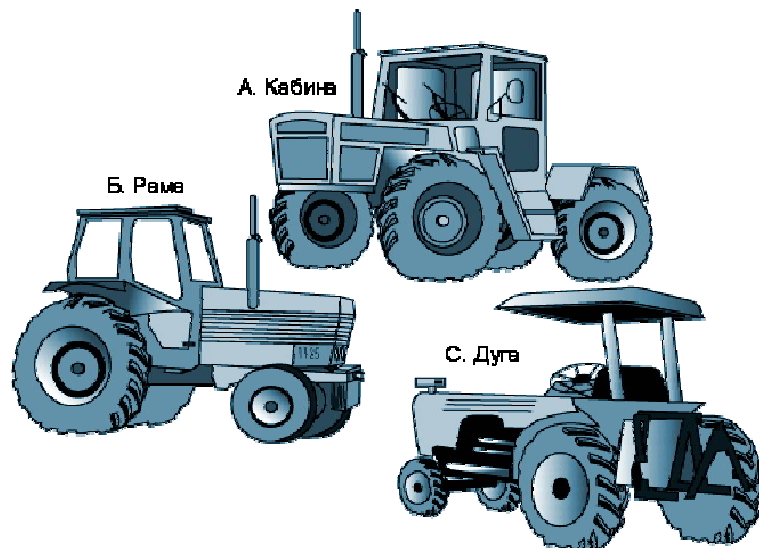


Рис. 1.8 – Звичайні типи ROPS (конструкції захисту від перекидання) на тракторах та інших самохідних машинах

Запропоновані для тракторів засоби ROPS зустріли опір з боку аграрного сектора деяких країн. Сильне протистояння виникло щодо вимоги до роботодавців

встановлювати ROPS на експлуатованих і навіть на нових, що випускаються з заводу тракторах. Зрештою, багато країн узаконили установку ROPS на нових тракторах, а пізніше деякі країни ввели вимоги установки ROPS також на старих тракторах. Міжнародні стандарти щодо тракторів і землерийних машин, включаючи стандарти з випробувань ROPS, внесли свій вклад в розробку більш надійних конструкцій. Конструювалися і проводилися трактори з більш низьким центром ваги і розташованими нижче буксирними гаками. Чотириколісний привід знизив ризик перекидання, але частка тракторів з ROPS все ще досить низька в країнах, де багато старих машин і немає положення про обов'язкове їх оснащення пристроями ROPS.

З усіх аварій зі смертельними наслідками в Новій Зеландії за період з 1949 по 2018 роки 80% припадало на колісні трактори, а 20% - на гусеничні. Дослідження в Швеції та Нової Зеландії показали, що близько 80% аварій зі смертельними наслідками відбувалося при перевертанні в кювет та при їзді біля крутих схилів.

Дослідження в Західній Німеччині по співвідношенню між випадками зі смертельними наслідками та роком випуску сільськогосподарських тракторів показали, що один з десяти тисяч старих незахищених тракторів, випущених до 1957 року, потрапляв в аварії, що супроводжувалися смертельними наслідками. З тракторів, оснащених ROPS, що випускаються починаючи з 1970 року, тільки один з 25000 тракторів потрапляв в аварію зі смертельним результатом. У двох третинах випадків зі смертельними наслідками за період з 1980 року жертви були придавлені у кабіні. У чверті випадків без смертельного результату водії були викинуті з сидіння від удару. У деяких випадках пристрій ROPS було зламано або сильно деформоване.

Спрінгфельдт підрахував відносну частоту травм і зменшення смертності на 100000 тракторів в різні періоди по деяким країнам (1993 г.). Ефективність пристрою ROPS в зниженні травм при вищевказаних аваріях була доведена в Швеції, де кількість смертей на 100000 тракторів зменшилася за 30 років (1960 - 1990 роки) з 17 до 0,3 (рис. 1.9). Після закінчення цього періоду було підраховано, що близько 98% тракторів було оснащено пристроєм ROPS, в основному у формі

протиударною кабіни (рис. 1.8, А). У Норвегії смертельні випадки скоротилися з приблизно 24 до 4 на 100000 тракторів за той же період. Проте, в Фінляндії і Нової Зеландії результати були гірше.

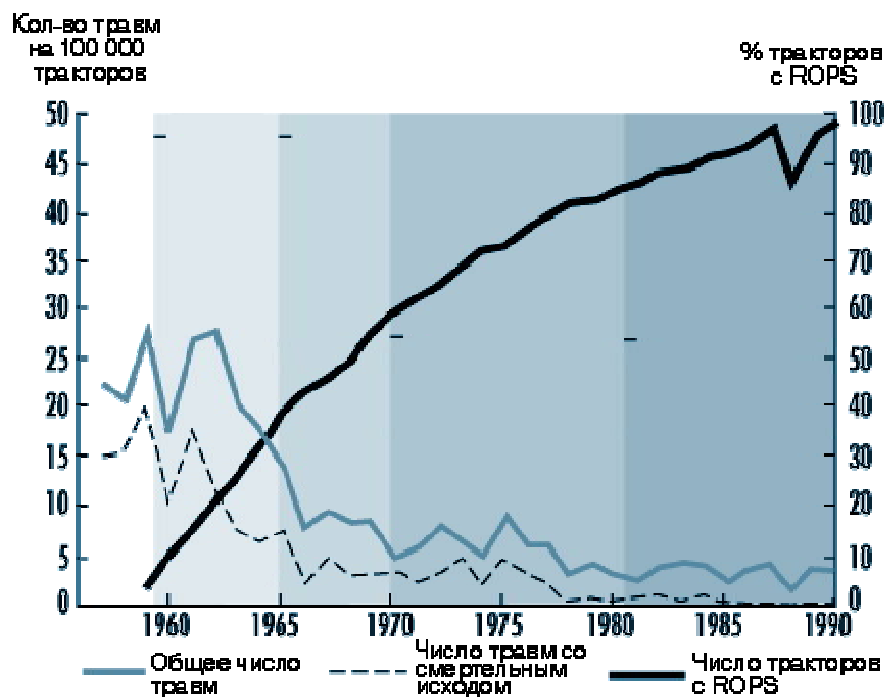


Рис. 1.9 – Ефективність пристрою ROPS в зниженні травм в експлуатації

Найбільш ефективною конструкцією є протиударний кабіна, що дозволяє водієві залишатися всередині під час перекидання. (Іншим аргументом на користь вибору кабіни є захист від несприятливих погодних умов). Найефективнішим засобом утримання водія в межах захисту ROPS при перевертанні є ремінь безпеки, якщо водій користується ним під час роботи. Додатковим заходом безпеки може бути конструкція водійської кабіни і її внутрішнього простору, оснащеної пристроєм ROPS, що запобігає небезпека порізів і ударів об гострі краї і опуклості.

Повсюдно перекидання автотранспорту або падіння на кабіну будь-чого - в основному, це стосується тракторів призводять до тяжких тілесних ушкоджень. Проте, в різних країнах існують різні технічні специфікації для конструкції машин і процедури огляду, випробувань, інспекції та продажу. Міжнародні відмінності стандартів безпеки обумовлені наступними обставинами:

- наявністю обов'язкових вимог застосування пристроїв ROPS (у формі правил або законів), просто рекомендацій по їх використанню або повною відсутністю будь-яких правил;
- необхідністю правил для нових машин, а також старого обладнання;
- державними інспекційними перевітками владою, соціальним тиском і культурними традиціями, що сприяють дотриманню правил безпеки; в багатьох країнах в сільському господарстві дотримання принципів безпеки не перевіряється;
- тиском з боку профспілок; слід мати на увазі, що в сільському господарстві професійні організації мають менший вплив, ніж в інших секторах, оскільки існує багато сімейних ферм;
- типами ROPS, використовуваних в даній країні;
- недостатньою інформованістю і усвідомленням небезпеки трактористами; зайнятість часто заважає фермерам і робітникам лісової промисловості отримувати достатню інформацію і освіту;
- географічним положенням країни, особливо в місцях ведення сільськогосподарських робіт, лісозаготівель і будівництва доріг.

2 ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження є кабіна колісного тягача класу 3-4 (див. рис. 2.1). Кабіна через гумові опори і кронштейни встановлюється на передній напіврамі машини. Рама вважається закріпленою жорстко на підставі аналогічно умовам експлуатації.

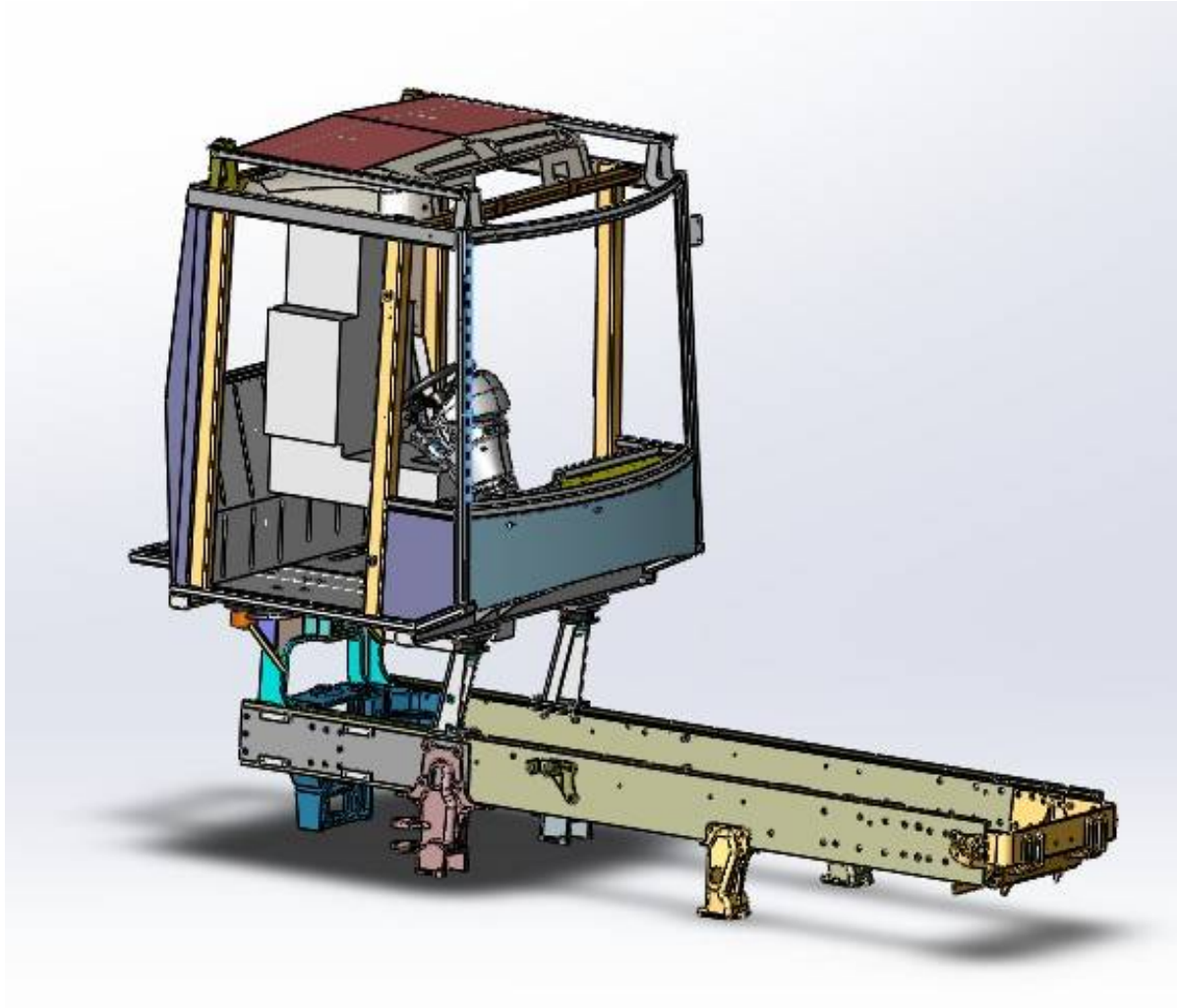


Рис. 2.1 – Об'єкт дослідження

Усередині кабіни показаний захищений лімітований об'єм DLV, який представляє об'єм, який займає чоловік-оператор високого зросту в положенні сидючи, в звичайному одязі і запобіжному шоломі. Таким чином імітується водій на робочому місці аналогічно розташування в реальних умовах експлуатації.

Розглядається конструктивне виконання пристрою захисту кабіни від падаючих предметів (FOPS) інтегроване в конструкцію каркаса безпеки. Воно повинно забезпечити захист оператора від падаючих предметів (каменів, льоду,

дерев, цегли, невеликих бетонних блоків, ручного інструменту і т.д.). Це вимога I рівня захисту від проникнення сторонніх предметів. Критерій оцінки захисту від ударного навантаження базується на характері використання машини. Для машин загального призначення потрібен I рівень захисту від проникнення сторонніх предметів. Для досліджень розроблена модель падаючого вантажу (рис. 2.2) масою 45 кг, який при вільному падінні з висоти 3,1 м забезпечує енергію впливу 1365 Дж. Діаметр циліндричної частини складає 204 мм, довжина - 109 мм, а висота сферичної нижньої частини 102 мм. Циліндр зі сферичним наконечником виконується з твердої або в'язкою сталі.

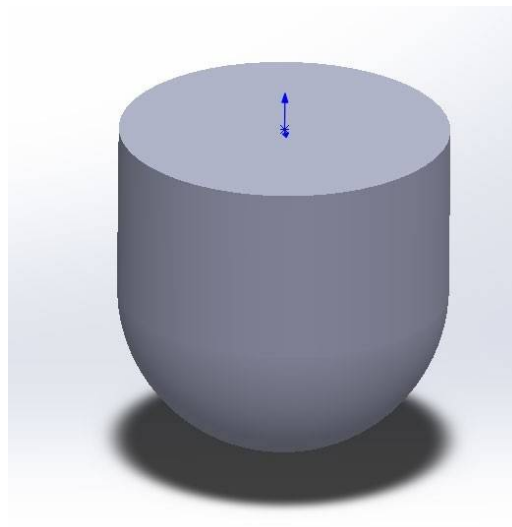


Рис. 2.2 – Зразок стандартного виробу – падаючого вантажу I рівня

Місце нанесення випробувального удару відповідно до вимог ДСТУ ІСО 3449-2009 показано на рис. 2.3.

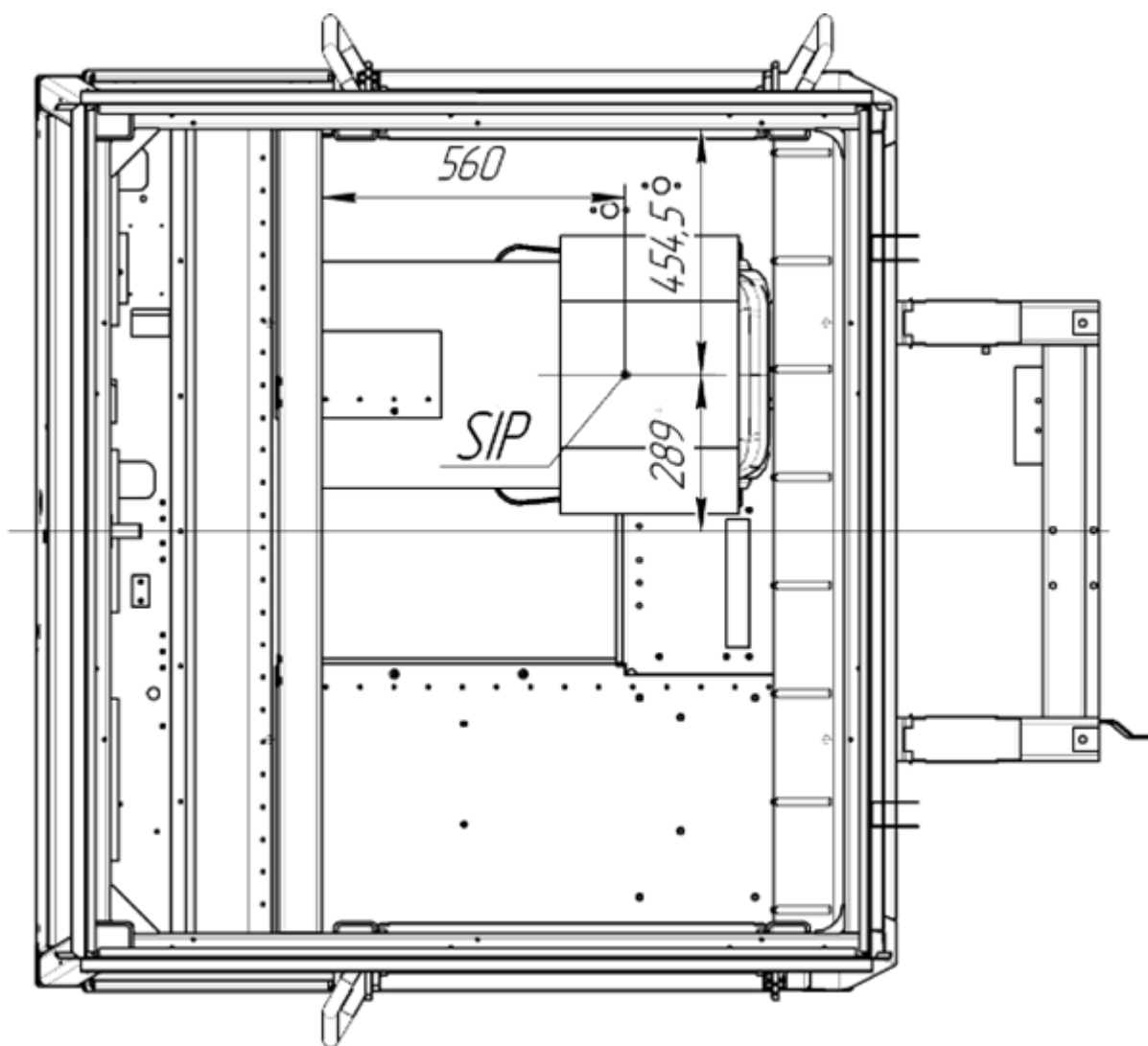


Рис. 2.3 – Схема розміщення DVL kabіни
з каркасом

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВИХІДНОГО ВАРІАНТУ КАРКАСУ КАБІНИ ПРИ ПАДІННІ ВАНТАЖУ

Падаючий вантаж обраний для перевірки I рівня захисту водія-оператора.

Межа плинності матеріалу захисного пристрою 210 МПа. Вибрати з довідкової літератури за матеріалами, зазначеним в документації на кабінку.

Контакт між падаючим вантажем і верхом кабінки розглядається нелінійний. При розрахунку включений облік великих деформацій. Об'єкт з картою товщин і вантажем представлено на рис. 2.1.

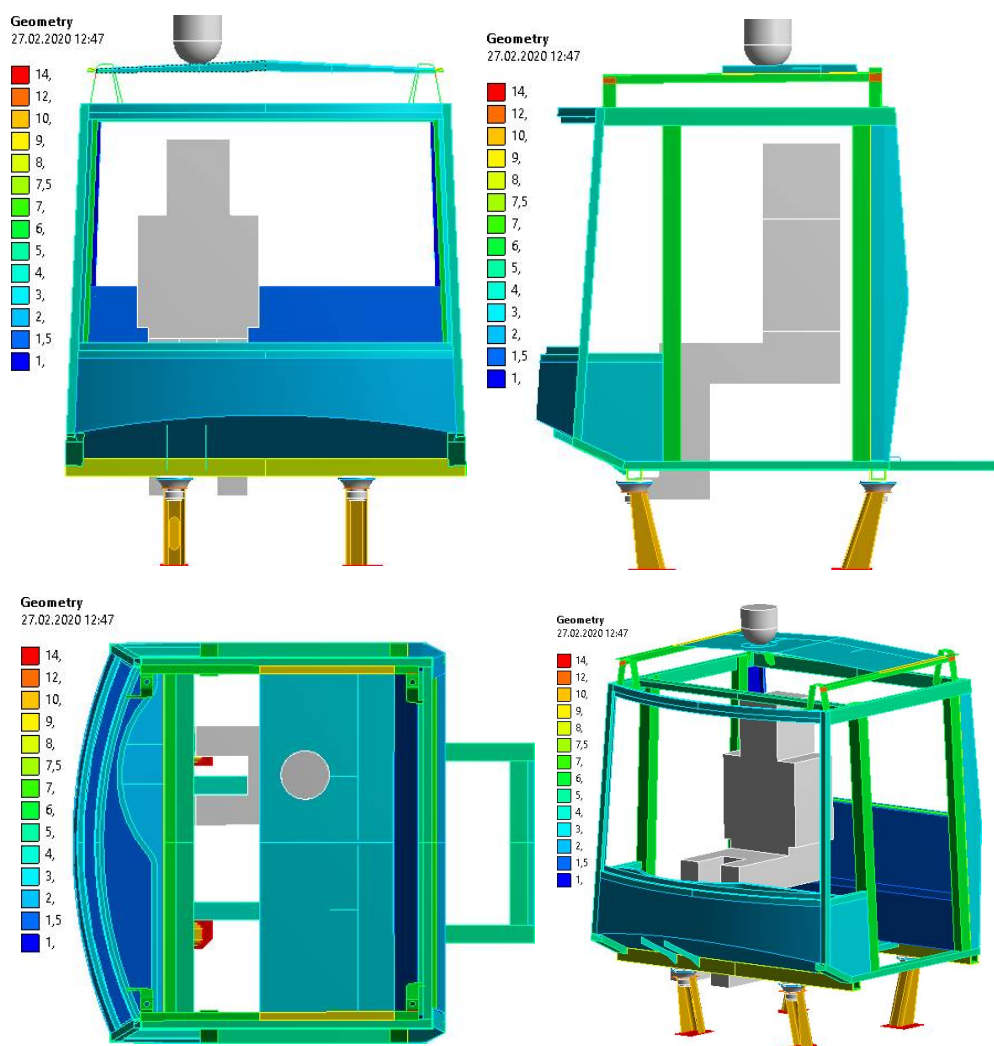


Рис. 3.1 – Зовнішній вигляд досліджуваної кабінки в різних проекціях з картою товщини (мм)

Вплив конструкції опорних кронштейнів кабінки в розглянутій задачі буде мінімальний. З огляду на це розглядаємо варіант установки каркаса кабінки на 4-х кронштейнах.

Для визначення енергії, що поглинається елемент для навантаження (вантаж, що падає) зміщується на 370 мм і контролюється реакція (рис. 3.2) в місці прикладення кінематичного навантаження.

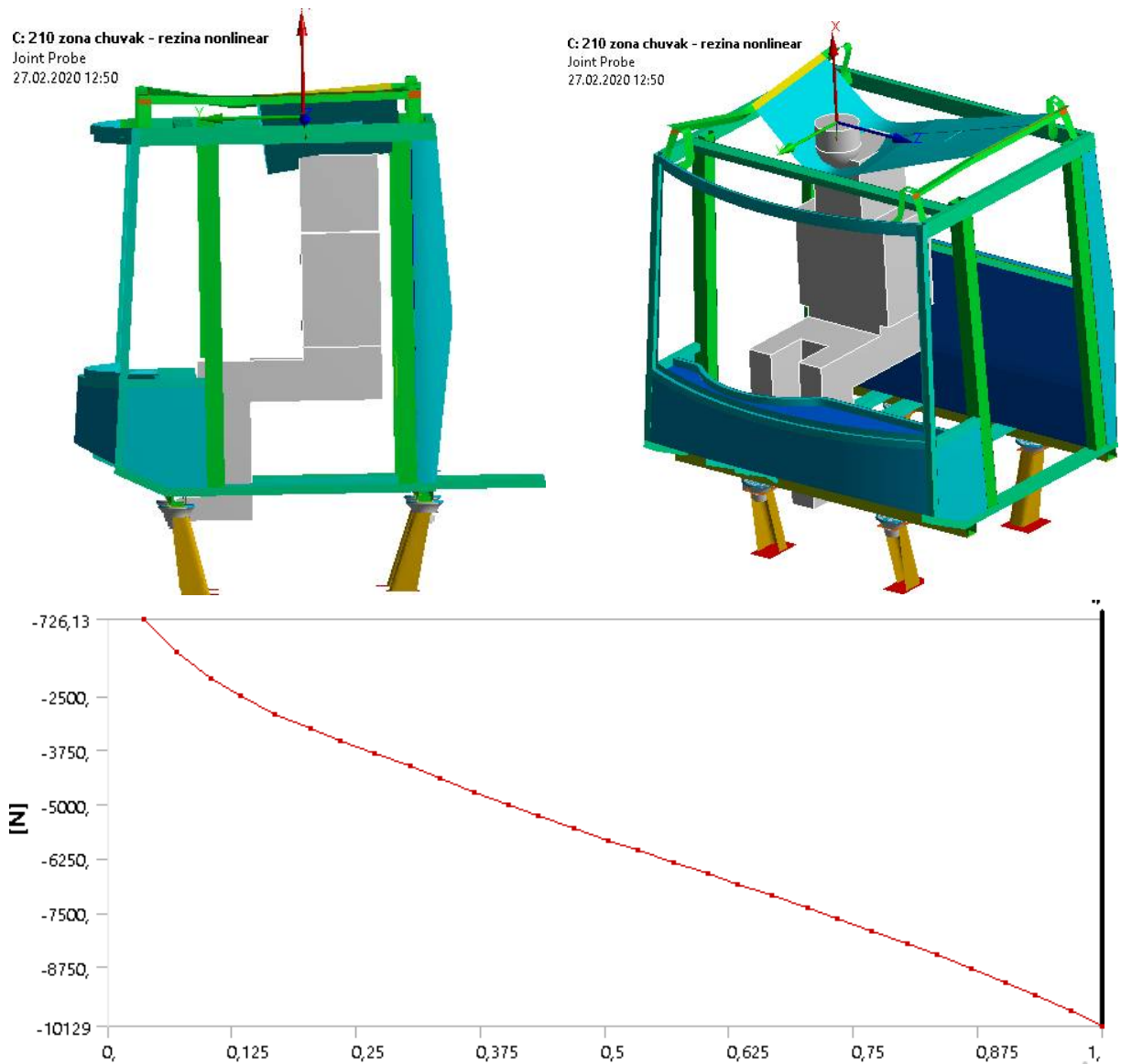


Рис. 3.2 – Реакція в місці навантаження у вертикальному напрямку

Графік зверху показує зміну реакції в шарнірі (кінематичне навантаження) до моменту умовного часу рівного 1с, яке відповідає 370 мм зміщенню вантажу уздовж осі ОХ. Оцінка міцності конструкції проводиться по вертикальній реакції. Умовний час в 1с відповідає переміщенню 370мм. Далі дані цього графіка представимо в табличному вигляді (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Визначення енергії деформування від падаючого вантажу

Умовний час, с	Кінематичне зміщення, мм	Реакція в шарнірі, Н	Енергія, що поглинається, Дж
0	0	0	0
3,67E-02	0,013567	-726,13	8,507644
6,83E-02	0,025283	-1468,6	27,52438
1,03E-01	0,038232	-2086	50,67898
0,13333	0,049332	-2503,7	83,1019
0,16833	0,062282	-2920,6	120,9237
0,20333	0,075232	-3259,2	157,1008
0,23333	0,086332	-3523,1	202,7249
0,26833	0,099282	-3827,1	252,2859
0,30333	0,112232	-4124,1	298,0634
0,33333	0,123332	-4395,6	354,9864
0,36833	0,136282	-4717,6	416,0793
0,40333	0,149232	-5010,8	471,6992
0,43333	0,160332	-5259	539,8033
0,46833	0,173282	-5547,2	611,6395
0,50333	0,186232	-5826,5	676,3136
0,53333	0,197332	-6062,4	754,8217
0,56833	0,210282	-6334,7	836,8561
0,60333	0,223232	-6607,7	910,2016
0,63333	0,234332	-6842,6	998,8132
0,66833	0,247282	-7116,8	1090,976
0,70333	0,260232	-7392,6	1173,034
0,73333	0,271332	-7632,2	1271,871
0,76833	0,284282	-7916,6	1374,391
0,80333	0,297232	-8210,8	1465,53
0,83333	0,308332	-8473,4	1575,261
0,86833	0,321282	-8790,5	1689,098
0,90333	0,334232	-9119,9	1790,329
0,93333	0,345332	-9415,5	1912,26
0,96833	0,358282	-9781	2026,872
1	0,37	-10129	

Енергія, що поглинається конструкцією, визначається інтеграцією кривої зміни реакції (рис. 3.3).

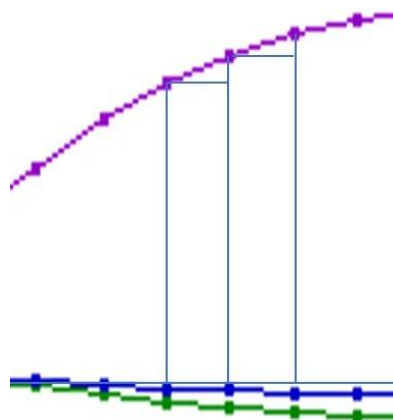


Рис. 3.3 – Схема інтегрування площі під кривою навантаження

Площа під кривою реакції (для отримання енергії) визначається як сума площ прямокутників під кривою (проілюстровано на рис. 3.3). Зміна енергії, що поглинається при кінематичному навантаженні (русі падаючого вантажу) представлено на рис. 3.4. Сумарні величини по енергії, що поглинається відображено в колонці 4 таблиці 3.1.

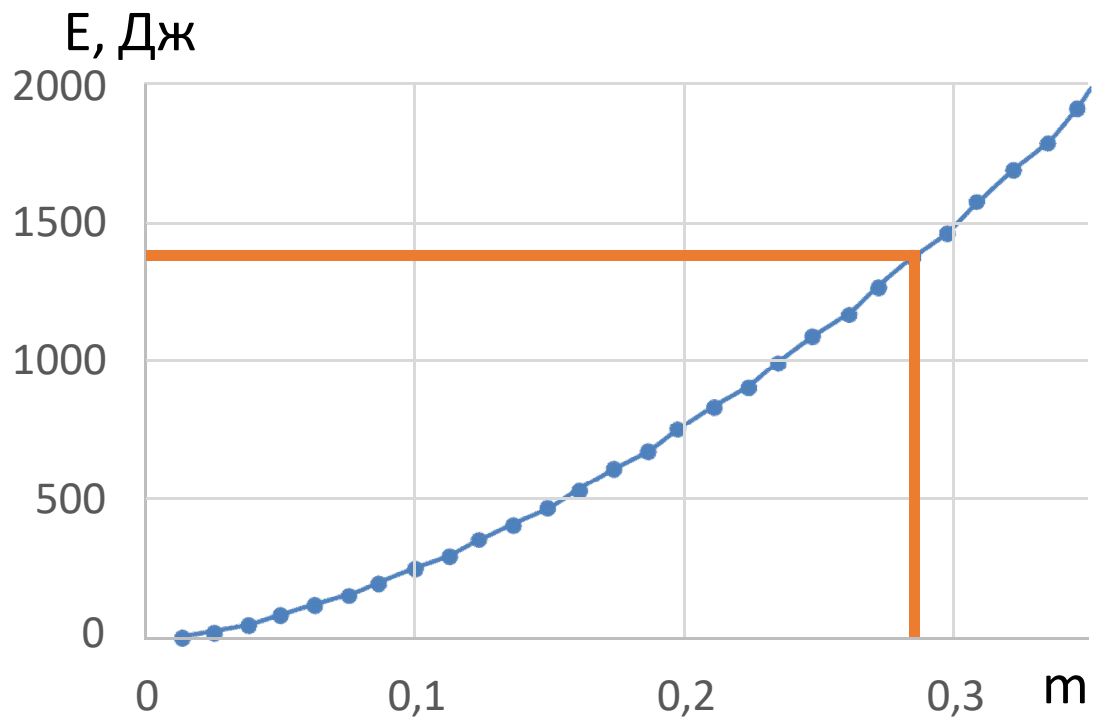


Рис. 3.4 – Графічне уявлення залежності енергії деформування (Дж) від кінематичного навантаження (м)

Енергія, яку повинна витримувати кабіна $E=1365$ Дж.

Відповідно така енергія буде утримуватися при кінематичному навантаженні вже при 0,3 м, а умовний момент часу, який відповідає цьому навантаженню, становить 0,8 с.

Переміщення при зазначеному кінематичному навантаженні представлено на рис. 3.5.

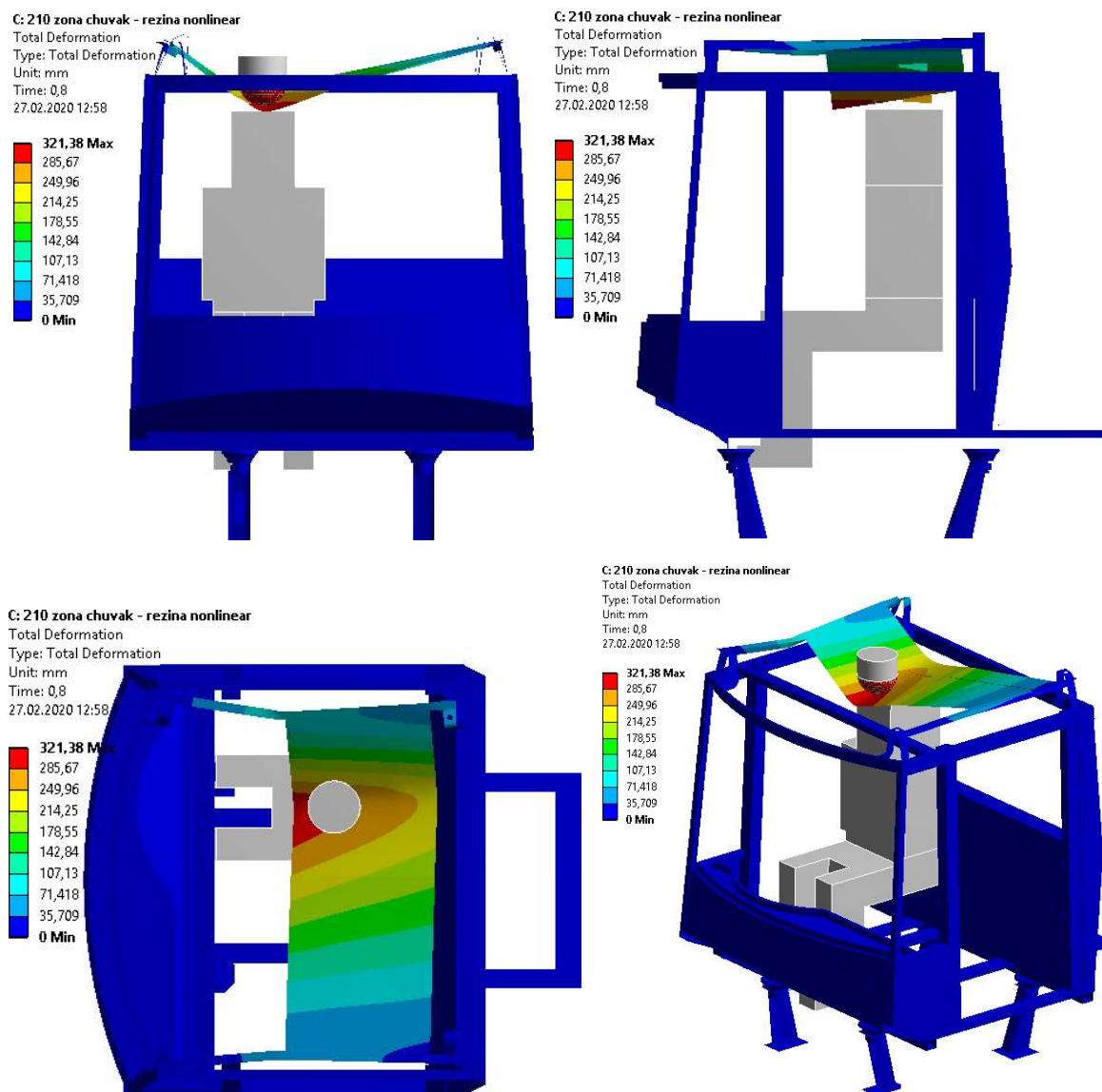


Рис. 3.5 – Сумарні переміщення при енергії деформування 1365 Дж

Переміщення окремих елементів перевищують 0,3 м.

Карта напружень елементів конструкції представлено на рис. 3.6.

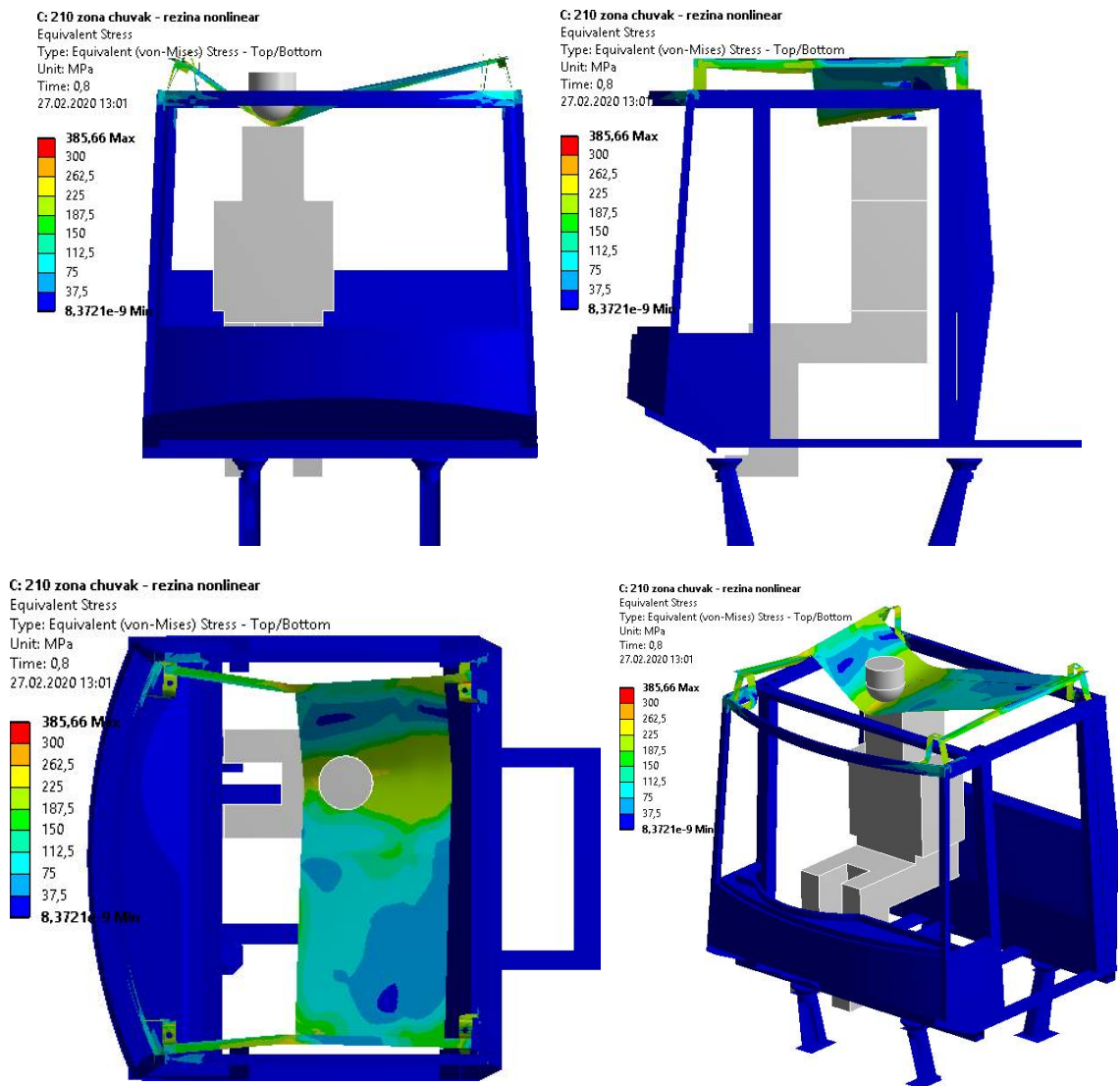


Рис. 3.6 – Еквівалентні напруги при енергії деформування тисяча 1365 Дж

Еквівалентні напруги в окремих деталях конструкції перевищують межу текучості.

Еквівалентні деформації елементів конструкції представлено на рис. 3.7.

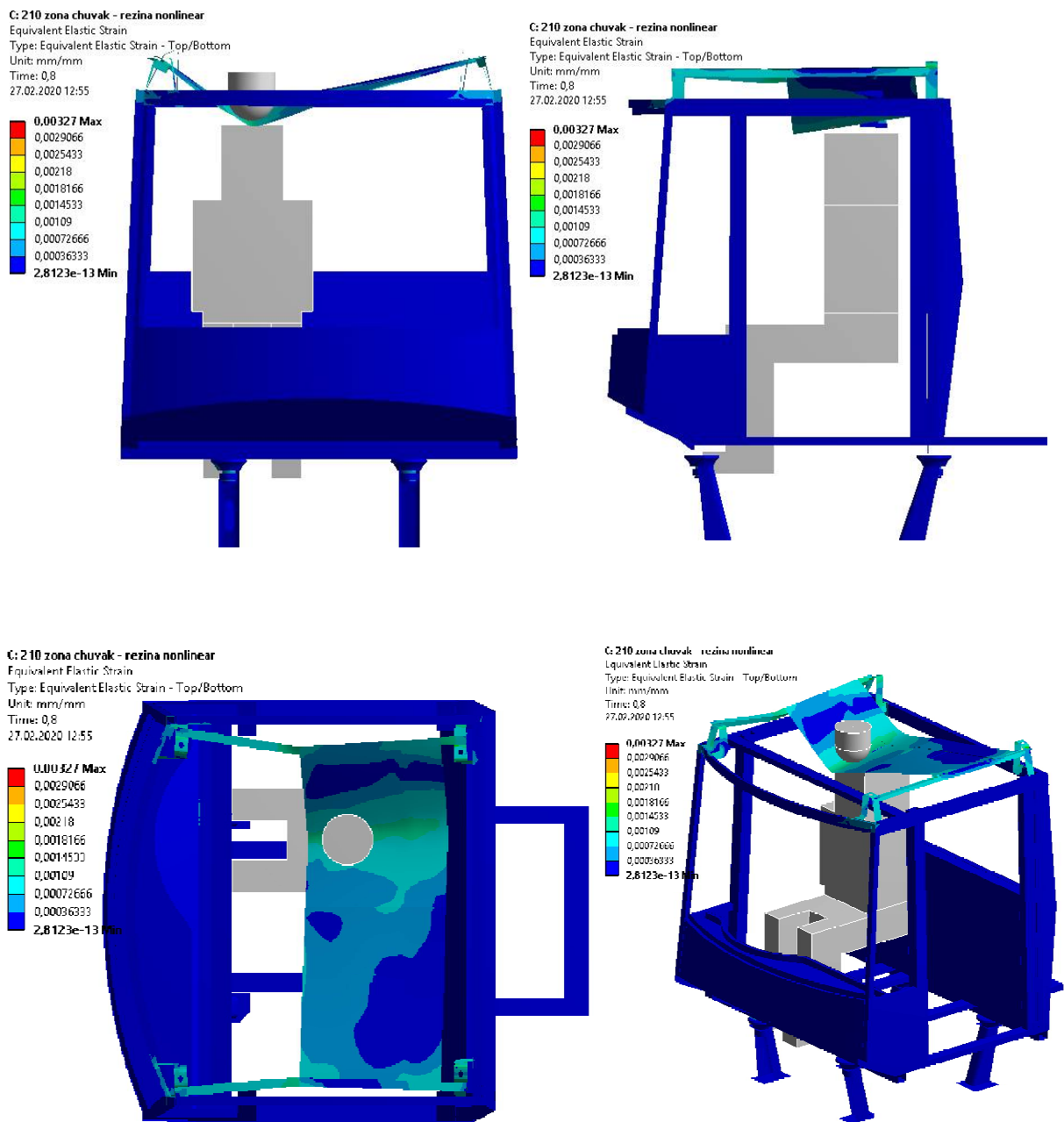


Рис. 3.7 – Еквівалентні деформації при енергії деформування 1365 Дж

Відстань до зони безпеки приблизно 15 мм.

З огляду на отримані результати, доцільно в початковій конструкції захисного пристрою каркаса кабіни від падаючого вантажу посилити окремі елементи конструкції.

Для забезпечення гарантованого захисту від падаючого вантажу, враховуючи результати і рекомендації, були змінені деякі елементи конструкції підвісу захисного пристрою.

Характеристика матеріалу не змінювалася і бралася, як і початковому варіанті, - 210 МПа.

При розрахунках задавалося також кінематичне навантаження переміщенням падаючого вантажу. Елемент навантаження зміщувався на відстань яка задавалася і контролювалася реакція в місці додатка кінематичного навантаження.

На графіку відображалась зміна реакції в шарнірі (кінематичне навантаження). Умовний момент часу 1с відповідав зміщенню на переміщення яке задавалось вантажу уздовж осі ОХ.

Оцінка міцності проводилася по зміні вертикальної реакції.

Умовно заданий час 1 с відповідав заданому переміщенню вантажу. При отриманні енергії, що поглинається величина умовного часу не впливає на результат і може бути вибрано будь-яке значення. Таким чином швидкість навантаження пристрою підвісу по умовному часу не може бути визначена.

По результатам досліджень допрацьовані такі деталі:

- Кутник;
- Ребро;
- Ребро;
- Кронштейн.

Також, введені приварні деталі в задню частину підвісу.

Енергія, яку повинна витримувати кабіна при падінні падаючого вантажу, для розглянутого тягача повинна бути не менше $E=1365$ Дж.

Відповідно така енергія була отримана для вдосконаленої конструкції при кінематичному навантаженні 0,234 м в умовний момент часу 0,63 с.

ВИСНОВКИ

1. Теоретичні дослідження захисних властивостей кабіни від падаючого вантажу, які можуть спостерігатися в експлуатації, були виконані за допомогою методу скінченних елементів на 3D-моделі каркаса кабіни з пристроєм захисту та моделі падаючого вантажу.

2. Параметри падаючого вантажу (маса, розміри) і місце його падіння були визначені відповідно до чинних нормативів.

3. Для оцінки рівня енергії, що поглинається при падінні вантажу масою 45 кг задавався кінематичний вплив на кабіну і, використовуючи залежність зміни вертикальної реакції в місці контакту з вантажем, обчислювалася енергія яка поглинається захисним пристроєм.

4. В ході теоретичних досліджень пристрою I рівня захисту від падаючих предметів оператора колісного тягача класу 3-4 було встановлено те, що при базовому варіанті конструкції пристрою підвісу спостерігаються деформації і напруги близькі до гранично-допустимих.

5. Для забезпечення захисних властивостей підвісу кабіни були посилені: бічний кутник, ребро поперечне, введені додатково по два ребра до поперечного ребра і два ребра в задні кронштейни підвісу.

6. Дослідження вдосконаленої конструкції захисного підвісу кабіни показали, що при падінні вантажу 45 кг і поглинанні енергії 1365 Дж деформація елементів конструкції не доходить до лімітованого обсягу DLV і відповідає вимогам ДСТУ ISO 3449-2009. Мінімальна відстань від деформованих елементів до зони обмеження становить 60 мм. Напруження в деталях конструкції підвісу не перевищують граничних значень.

7. Запропоновані технічні удосконалення елементів каркаса кабіни дозволять забезпечити в експлуатації безпеку водія тягача.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

- 1 Хусаинов А.Ш., Кузьмин Ю.А. Пассивная безопасность автомобиля. Ульяновск, УлГТУ, 2011, 89 с.
- 2 Полунгян А.А., ред. Проектирование полноприводных колесных машин. В 3 т. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008, т. 3, 432 с.
- 3 Almqvist C.J. European Accident Research and Safety Report 2013 Volvo Trucks. 2013, 35 p. URL:
<http://www.volvotrucks.com/SiteCollectionDocuments/VTC/Corporate/Values/ART%20Report%202013.pdf>.
- 4 Road Safety Evolution in the EU. European Commission 2012. URL:
http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics/index_en.htm.
- 5 Contributory Factors Statistics 2008. Department for Transport, UK. URL:
<http://www.dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/accidents>.
- 6 <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/>.
- 7 Ломакин В.В. Безопасность автотранспортных средств. Москва, МГТУ «МАМИ», 2011, 299 с.
- 8 ГОСТ Р 41.29-99. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении защиты лиц, находящихся в кабине грузового транспортного средства. Введен 2000-07-01. Москва, Изд-во стандартов, 2000, 20 с.
- 9 Правила ЕЭК ООН № 29 (документ E/ECE/324/Rev.1/Add.28/Rev.2 — E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.28/Rev.2). Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении защиты лиц, находящихся в кабине грузового транспортного средства. ООН, 2012, 26 р.
- 10 ГОСТ ИСО 3449-2009 Машины землеройные. Устройства защиты от падающих предметов. Лабораторные испытания и технические требования.
- 11 ГОСТ ИСО 3164-99 Машины землеройные. Защитные устройства. Характеристика объема ограничения деформации при лабораторных испытаниях.

12 Русанов О.А. Анализ прочности конструкций машин с использованием современных численных методов // Тракторы и сельскохозяйственные машины, №2, 2002. С. 34-36.

13 Дмитриченко С.С., Русанов О.А. Опыт расчетов на прочность, проектирования и доводки сварных металлоконструкций мобильных машин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2006. №1. С. 8-13.

14 Русанов О.А. Расчетный анализ напряженного состояния и оценка прочности несущих систем тракторов: автореферат дис.... докт. техн. наук. М.: МГИУ, 2009. 32 с.

15 Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 541 с.

16 Илинич И. М. Расчёт, проектирование и испытание кабин тракторов / И. М. Илинич, В. В. Никонов, Б. И. Кальченко. М.: Агропромиздат, 1989. 213 с.

17 Мячников В. И. Расчёты машиностроительных конструкций методом конечных элементов: справочник / В. И. Мячников, В. П. Мальцев, В. П. Майборода. М.: Машиностроение, 1989. 520 с.

18 Журавлёв А. В. Исследование несущих систем кабин каркасно-панельной конструкции для транспортных средств сельскохозяйственного назначения // Международный научный журнал. 2010. № 3. С. 59-62.

19 Сергиенко Н.Е., Ткачук Н.А., Сергиенко А.Н., Васильев А. Ю., Грабовский А.В. Особенности использования современных технологий проектирования при создании каркаса кабин / Вісник НТУ „ХПІ”. 36. н. праць. Серія: Транспортне машинобудування. 2015. №43(1152). С. 78-85.