

О. З. Горбай¹
Р. В. Зінько¹
Л. В. Крайник¹
А. П. Поляков²

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНЬ В РАМІ СМІТТЄВОЗА З ЗАДНІМ ЗАВАНТАЖЕННЯМ КОМПАКТОРА

¹Національний університет «Львівська політехніка»

²Вінницький національний технічний університет

Компоновка електричних сміттєвозів відрізняється від автомобілів з класичним приводом. Наявність акумуляторів великої ваги, специфічне розміщення тягових електроприводів вимагає іншого розміщення компактора, що відзначається на напруженості рами шасі в цілому, а також в місцевих концентраторах напружень.

В статті розглядається проблематика проектування сміттєвозів з електричним приводом, зокрема досліджуються питання забезпечення міцності несучої конструкції шасі «екологічно чистого» сміттєвоза з наступною її оптимізацією.

Було проведено розрахунки для рами електричного сміттєвозу серії ERCV з компактором із заднім завантаженням методом скінченних елементів за допомогою комп'ютерної програми Ansys Workbench. Проведено три типи розрахунків: на згин із коефіцієнтом динамічності 2, на кручення при вивантаженому лівому передньому колесі із коефіцієнтом динамічності 1, на кручення при вивантаженому правому задньому колесі із коефіцієнтом динамічності 1. За результатами розрахунків було побудовано епюри повної деформації, еквівалентних напружень та запасу міцності.

З метою підвищення характеристик міцності рами проведено оптимізацію конструкції, яку здійснено шляхом зміни перерізів стрижнів та збільшення товщини листів у місцях, які виявились небезпечними для першого типу розрахунку.

Після зіставлення результатів розрахунків, встановлено, що завдяки зміні перерізів стрижнів та збільшення товщини листів, для режиму згину вдалося зменшити деформацію рами з 16,15 мм до 2,07 мм, а еквівалентні напруження на 20 % і відповідно збільшити запас міцності для цього режиму навантаження.

Отримані дані дозволили уточнити залежності напруги на рамі від сил в підвісі. Розроблені методика і скінченно-елементна математична модель рами сміттєвозу були використані для перевірки нових конструкційних рішень в зварній рамі сміттєвозу Електротранс. За результатами розрахунків проведено оптимізацію конструкції рами шасі.

Ключові слова: міцність рами, епюра деформації, оптимізація конструкції, запас міцності, напруження деформації.

Вступ

Специфіка використання сміттєвозів полягає в необхідності перевозити досить велику кількість побутових відходів з мінімальними витратами, причому цьому виду комунальної техніки нерідко доводиться пробиратися по вузьких дворах, у місцях масового проживання людей і не кращої якості дорогах. Враховуючи значимість підтримки чистоти в місцях масового проживання людей, особливо в літній час, спецтехніка для вивозу сміття повинна мати достатньо велику місткість і вантажопідйомність, при цьому зберігаючи високу маневреність, прохідність, надійність і забезпечувати вимоги екологічності. Суттєво зменшити загазованість повітря при виконанні робіт, пов'язаних з завантаженням, ущільненням, транспортуванням та вивантаженням сміття допоможуть сміттєвози-електромобілі, що і складає актуальність цього наукового дослідження. Компоновка електричних сміттєвозів відрізняється від автомобілів з класичним приводом. Наявність акумуляторів великої ваги, специфічне розміщення тягових електроприводів вимагає іншого розміщення компактора, що відзначається на напруженості рами шасі в цілому, а також в місцевих концентраторах напружень (виточки, отвори, галтелі, шпонкові та шліцові канавки, нарізки на поверхні та інше.). Виникнення напружень в місцевих концентраторах значною мірою залежить від їх конструктивного оформлення. Тому небезпечною є недооцінка небезпеки можливого виявлення концентрації напружень. Тому актуальною проблемою надійності роботи електричних сміттєвозів є визначення напруженості рами шасі з урахуванням місцевих концентраторів напружень і також технологічного процесу роботи сміттєвоза.

Результати дослідження

Сьогодні поширення набувають сміттевози з електроприводом. Особливість компоновки вимагає нових підходів у конструюванні і розрахунку елементів та агрегатів. При цьому слід враховувати і технологічні процеси обробки сміття [1, 2]. Проблемами надійності сміттевозів займалися А. А. Домницький [3], Р. В. Каргін, В. І. Жигульський [4], М. С. Косинова [5], А. С. Носенко [6], М. С. Алтуніна [7], В. Heißing, M. Ersoy, S. Gies [8]. Авторами встановлено, що до 25 % відмов припадає на шасі і трансмісію сміттевозів. Тому підвищення надійності, зокрема вдосконаленням конструкції рами шасі є актуальною задачею. Розв'язок цієї проблеми полягає у розробці адаптивних алгоритмів проектування і конструювання з урахуванням нових технологічних процесів обробки сміття.

На даному етапі проектування важливим є дослідження міцності несучої конструкції шасі типу «ферма» електричного сміттевоза з урахуванням нетипового прикладання навантажень, пов'язаного з новою компоновкою і особливостями технологічного процесу, а також з наступною оптимізацією несучої конструкції шасі.

Під надійністю електричних сміттевозів будемо розуміти їх властивість виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих межах протягом потрібного проміжку часу і потрібної наробки.

Розрахунки проводяться для рами електричного сміттевоза серії ERCV з компактором із заднім завантаженням методом скінченних елементів (МСЕ) за допомогою комп'ютерної програми Ansys Workbench [9]. Рама сміттевоза представлена у вигляді тривимірної стрижневої моделі рами, яка також містить листові елементи. Модель розглядається як пружне тіло, що складається з оболонкових кінцевих елементів рами, а сполучені з рамою вузли і системи представлені зосередженими масами, жорсткими і пружними балками, пружними демпферами.

В процесі руху для сміттевоза характерні кутові коливання ходової частини в горизонтальній площині відносно компактора з вантажем. Роль пружних елементів відіграють передні шини, рама, опори і амортизатори, що пояснює недостатнє демпфування коливань. При цьому рама зазнає згину в горизонтальній площині з крученням передньої частини відносно задньої, внаслідок чого відбувається паралелограмування передньої частини рами, що призводить у свою чергу до підвищених змінних напруг в з'єднанні поперечок з лонжеронами.

Закріплення рами в моделі здійснюється по площинах кріплення стаканів підвіски. Задня вісь має жорстке закріплення (імітація стоянкового гальма), а передня та середня осі – лише обмеження переміщення по Y.

До рами прикладаються 3 види навантажень:

1) Навантаження від допоміжного обладнання, вказуючи центри мас обладнання (на рис. 1 показані перші 10 із 38 центрів мас) та елементи конструкції, на які вони діють. Найбільш суттєвий вплив тут здійснюється від блока тягових батарей масою 2760 кг, що розміщений в передній частині транспортного засобу позаду водія та пасажирів, які також враховані та мають масу 75 кг кожний.

2) Навантаження від компактора в місцях кріплення кронштейнів (виділені чорним на схемі) - порожній компактор (7553 кг), сміття (8685 кг), завантажувальний пристрій (569 кг).

3) Сила земного тяжіння.

Оскільки розрахунок, що проводитиметься, є статичним розрахунком на міцність, то для забезпечення необхідної точності слід врахувати коефіцієнт динамічності, який рівний 2 [8].

Авторами пропонуються такі шляхи підвищення довговічності рам сміттевозів:

- оптимізація несучої системи електросміттевозів по динамічній навантаженості рами;
- раціоналізація геометрії рами в цілому і локальних зон з урахуванням форм їх деформацій для зниження рівня змінної напруги;
- підвищення опору втоми рами за допомогою винесення зварних з'єднань за межі зон концентрації напруги.

Було проведено 3 типи розрахунків: на згин із коефіцієнтом динамічності 2, на кручення при вивантаженому лівому передньому колесі із коефіцієнтом динамічності 1, на кручення при вивантаженому правому задньому колесі із коефіцієнтом динамічності 1. Результати розрахунків отримуємо у вигляді епюр повної деформації, еквівалентних напружень та запасу міцності.

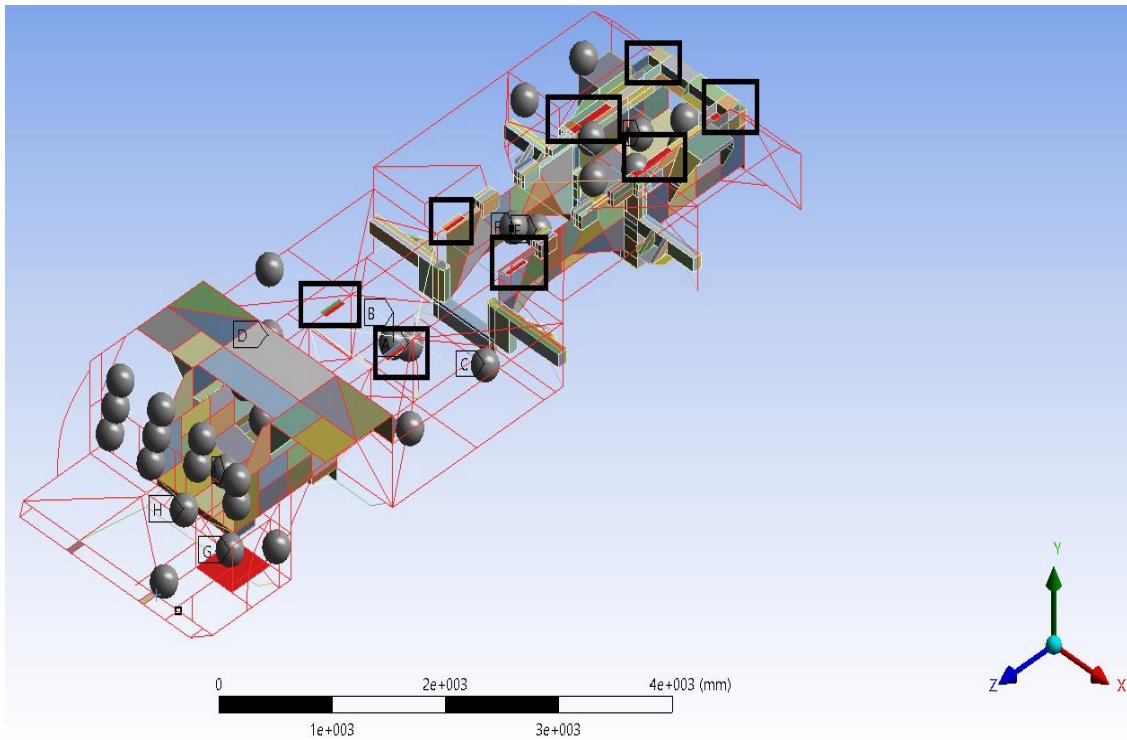


Рис. 1. Схема прикладення навантажень

Як було зазначено вище, результати розрахунків отримуємо у вигляді епюр повної деформації, еквівалентних напружень та запасу міцності, що наведені на рис. 2, відповідно.

При розрахунку	Епюри повної деформації	Епюри еквівалентних напружень	Епюри запасу міцності
на згин із $K_D = 2$			
на кручення із $K_D = 1$, переднє ліве колесо виванта- жене			
на кручення із $K_D = 1$, заднє праве колесо виванта- жене			

Рис. 2. Результати моделювання за трьома типами розрахунків

З метою підвищення міцнісних характеристик рами проведена оптимізація конструкції, яка здійснена шляхом зміни перерізів стрижнів та збільшення товщини листів у місцях, які виявились небезпечними для першого типу розрахунку. Місця зміцнення конструкції наведено на рис. 3.

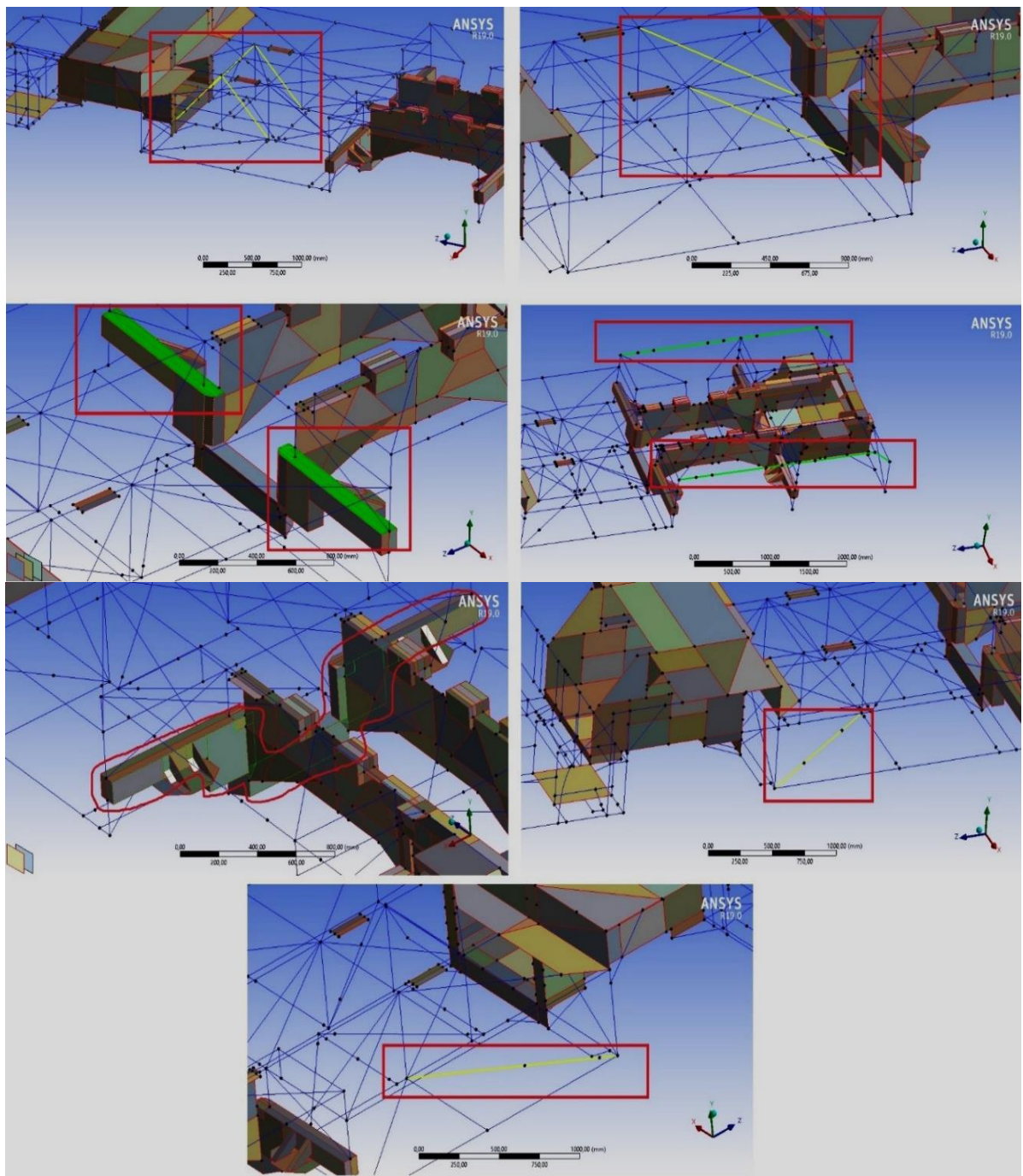


Рис. 3. Місця зміцнення конструкції рами

Після співставлення результатів (табл.1), можна зробити висновок, що шляхом зміни перерізів стрижнів та збільшення товщини листів у місцях, які виявились небезпечними, для режиму згину вдалося зменшити деформацію рами з 16,15 мм до 2,07 мм, а еквівалентні напруження на 20 % і відповідно збільшити запас міцності для даного режиму навантаження.

Таблиця 1

Результати оптимізації рами шасі сміттєвоза

Параметр	Повна деформація, мм		Еквівалентне напруження, МПа		Коефіцієнт запасу міцності	
	До оптимізації	Після оптимізації	До оптимізації	Після оптимізації	До оптимізації	Після оптимізації
Згин, $K_{\phi} = 2$	16,15	2,07	290,82	239,42	1,10	1,34
Кручення, переднє ліве, $K_{\phi} = 1$	8,17	7,63	232,49	220,55	1,38	1,45
Кручення, заднє праве, $K_{\phi} = 1$	8,43	7,39	509,71	505,23	0,63	0,63

Висновки

В результаті проведених досліджень обґрунтовані і вдосконалені розрахункові методики визначення динамічної напруженості рам сміттєвозів і порівняльної оцінки довговічності різних варіантів конструкції рам на основі аналізу скінченно-елементних моделей і нормованих кривих втоми зварних з'єднань. Отримані дані дозволили уточнити залежності напруги на рамі від сил в підвісці. Розроблені методика і скінченно-елементна модель сміттєвозу були використані для перевірки нових конструкційних рішень в зварній рамі сміттєвозу Електротранс. Моделювання динамічної поведінки сміттєвозів дозволяє істотно збільшити ефективність змін, що вносяться, в несучу конструкцію з метою досягнення необхідного ресурсу: скоротити кількість дорогих експериментальних зразків, терміни доведення нових машин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] В Украине будут прятать мусор под землей. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://superdom.ua/news/2438-v-ukraine-budut-pryatat-musor-pod-zemley>.
- [2] «Умные» мусорные контейнеры — кардинальное решение проблемы отходов. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://cleverbin.ru/>.
- [3] А. А. Домницкий, «Повышение эффективности кузовных мусоровозов совершенствованием конструкции манипулятора и системы технического обслуживания.»: дис. канд. техн. наук: 05.05.04 . - Новочеркасск, 2007. – 159 с.
- [4] Р. В. Каргин, и В. И. Жигульский, «Надежность кузовных мусоровозов,» *Грузовик*. № 2. с. 37–40. 2012.
- [5] А. С.Носенко, Р. В.Каргин, А. А.Домницкий, В. Г. Хазанович, М. С. Косинова, и О. С. Мирошниченко, *Эксплуатация машин для сбора и вывоза твердых бытовых отходов*. Шахты: ЮРГУЭС, 2009.
- [6] А. С. Носенко, и А. А. Домницкий, «Исследование надежности и совершенствование конструкции контейнерных мусоровозов,» в *Погрузочно-транспортные, строительно-дорожные и коммунальные машины. Технический сервис и конструкции: сб. науч. тр.* Новочеркасск: ЮРГТУ, 2004.
- [7] М. С .Алтунина, «Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта кузовных мусоровозов.» дис. канд. техн. наук: 05.05.04. Новочеркасск, 2015. – 145 с.
- [8] В. Heißing, M. Ersoy, S. Gies. *Fahrwerkhandbuch: Grundlagen, Fahrdynamik, Komponenten, Systeme, Mechatronik, Perspektiven*. Vieweg+Teubner Verlag; 3., überarb. u. erw. Aufl., 2011.
- [9] С. А. Испеньков, А. А. Ракицкий, «Моделирование динамического поведения карьерных самосвалов особо большой грузоподъемности в среде ANSYS,» *Теоретическая и прикладная механика*. Минск: БНТУ, 2010, вып. 25, с.. 295–300.

Горбай Орест Зенонович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автомобілебудування.

Зінко Роман Володимирович – канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілебудування.

Крайник Любомир Васильович – д-р техн. наук, професор, професор кафедри автомобілебудування.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів.

Поляков Андрій Павлович - д-р техн. наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: poliakovap61@gmail.com.

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

O. Horbay¹
R. Zinko¹
L. Krajnyk¹
A. Poliakov²

Research of stresses in the frame of the garbage truck with rear loading of the comparator

¹National University "Lviv Polytechnic"

²Vinnitsa National Technical University

The layout of electric garbage trucks is different from cars with a classic drive. The presence of heavy batteries, the specific placement of traction electric drives requires a different placement of the compactor, which affects the strength of the chassis frame as a whole, as well as local stress concentrators.

The article considers the problems of designing electric-powered garbage trucks, including the issues of ensuring the strength of the supporting structure of the chassis of an "environmentally friendly" garbage truck with its subsequent optimization.

The calculations were carried out for an ERCV series electric garbage truck with a rear-loading compactor using the finite element method using the Ansys Workbench computer program. Three types of calculations were carried out: bending with a dynamic coefficient of 2, torsion with an unloaded left front wheel with a dynamic coefficient of 1, torsion with unloaded right rear wheel with a dynamic coefficient of 1. Plots of total deformation, equivalent stresses and safety factor were constructed for the results of calculations.

In order to increase the strength characteristics of the frame, the design was optimized, which was carried out by replacing the sections of the rods and increasing the thickness of the sheets in places that turned out to be unsafe for the first type of calculations.

After comparing the calculation results, it was found that due to changes in the cross sections of the rods and an increase in the thickness of the sheets, for the bending mode, it was possible to reduce the deformation of the frame from 16.15 mm to 2.07 mm, and the equivalent stresses by 20% i, therefore, to increase the margin of safety for this mode loads.

The data obtained made it possible to clarify the dependence of the stresses on the frame on the forces in the suspension. The developed technique and the finite element mathematical model of the garbage truck frame were used to test new design solutions in the welded frame of the Electrotrans garbage truck. Based on the calculation results, the chassis frame design was optimized.

Key words: frame strength, deformation diagram, design optimization, safety factor, deformation stress.

Gorbay Orest – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Automotive.

Zinko Roman – Ph. D. (Eng), Associate Professor of Automotive Engineering.

Kraynik Lyubomyr – Dr. Sc. (Eng.), professor, professor of the automotive industry department.

Polyakov Andriy – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: poliakovap61@gmail.com.

О. З. Горбай¹
Р. В. Зинько¹
Л. В. Крайник¹
А. П. Поляков²

Исследование напряжений в раме мусоровоза с задней загрузкой компаратора

¹Национальный университет «Львовская политехника»

²Винницкий национальный технический университет

Компоновка электрических мусоровозов отличается от автомобилей с классическим приводом. Наличие аккумуляторов большого веса, специфическое размещение тяговых электроприводов требует другого размещения компактора, что отражается на напряженности рамы шасси в целом, а также в местных концентраторах напряжений.

В статье рассматривается проблематика проектирования мусоровозов с электрическим приводом, в том числе исследуются вопросы обеспечения прочности несущей конструкции шасси «экологически чистого» мусоровоза с последующей ее оптимизацией.

Были проведены расчеты для рамы электрического мусоровоза серии ERCV з компактором с задней загрузкой методом конечных элементов с помощью компьютерной программы Ansys Workbench. Проведено три типа расчетов: на изгиб с коэффициентом динамичности 2, на кручение при разгруженном левом переднем колесе с коэффициентом динамичности 1, на кручение при разгруженном правом заднем колесе с коэффициентом динамичности 1. За результатами расчетов были построены эпюры полной деформации, эквивалентных напряжений и запаса прочности.

С целью повышения характеристик прочности рамы проведена оптимизация конструкции, которая осуществлена путем замены сечений стержней и увеличения толщины листов в местах, которые оказались небезопасными для первого типа расчетов.

После сопоставления результатов расчетов установлено, что благодаря изменениям сечений стержней и увеличения толщины листов, для режима изгиба удалось уменьшить деформацию рамы с 16,15 мм до 2,07 мм, а эквивалентные напряжения на 20 % i, следовательно, увеличить запас прочности для данного режима нагрузок.

Полученные данные позволили уточнить зависимости напряжений на раме от сил в подвеске. Разработанные методика и конечно-элементная математическая модель рамы мусоровоза были использованы для проверки новых конструктивных решений в сварной раме мусоровоза Электротранс. По результатам расчетов проведена оптимизация конструкции рамы шасси.

Ключевые слова: прочность рамы, эпюра деформации, оптимизация конструкции, запас прочности, напряжения деформации.

Горбай Орест Зенонович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автомобилестроения.

Зинько Роман Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры автомобилестроения.

Крайник Любомир Васильевич – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры автомобилестроения.

Поляков Андрей Павлович – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры автомобилей и транспортного менеджмента, e-mail: poliakovap61@gmail.com.