

**В.П. Гонтаровський, к.т.н., доц.
І.Г. Грабар, д.т.н., проф.
А.С. Гриценко, інж.-мех.
В.Є. Титаренко, ст. викл.
С.С. Чайковський, доц.**

Житомирський державний технологічний університет

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РАМИ НАПІВПРИЧЕПА

У статті розглянуті проблеми оптимізації рамних конструкцій на основі використання комп'ютерних моделей об'єкта дослідження. Для підтвердження адекватності розроблених моделей використані результати експерименту при симетричному навантаженні рами на згин зосередженими силами.

Постановка проблеми

Рама є основною несучою частиною автотранспортного засобу (АТЗ), що сприймає на себе статичні та динамічні навантаження. Статичні навантаження виникають від ваги рами та вантажу, а динамічні – від нерівностей дороги.

Вона являє собою просторову статично-невизначну систему, що працює в складних умовах кососиметричного навантаження. При проектуванні необхідно знати напружено-деформований стан (НДС) рами, який досить важко визначити, і проєктант, часто керуючись наближеними методами та інтуїцією, закладає значно перевищуючий норму запас міцності, що відбивається на показниках вантажопідйомності транспортного засобу.

Напружено-деформований стан рами можливо визначити аналітичними та експериментальними методами:

- випробуванням натурних рам та їх моделей (потребує значних матеріальних вкладень і займає багато часу);
- аналітичними розрахунками (складність існуючих методів розрахунку багато раз статично невизначних систем);
- комп'ютерним моделюванням (усуває вищезазначені недоліки).

Аналіз джерел дослідження

Комп'ютерне моделювання – це важливий інструмент оптимізації конструкції для виробників продукції. Підтвердження цьому можна знайти в наступних міркуваннях.

Найбільшу достовірність мають результати натурних випробувань, але можливості їх проведення і одержання потрібного об'єму інформації досить обмежені. Натурні випробування нової техніки – завжди довготривалий процес. Так, випробування нових сільськогосподарських машин в польових умовах потребує 3–4 роки, залізнично-шляхових локомотивів – 1,5–2 роки, при випробуванні коробки передач автотранспортного засобу ГАЗ-24 необхідно було здійснити пробіг 1 млн. км, що еквівалентно 2–3 рокам експлуатації [1]. Тому для вирішення подібних проблем більш раціонально використовувати комп'ютерне моделювання. Від досконалості створеної комп'ютерної моделі залежить достовірність одержаних результатів.

Найчастіше зустрічається комп'ютерне моделювання, яке базується на методі кінцевих елементів, що є найпотужнішим і популярним чисельним методом дослідження НДС та розв'язання диференціальних рівнянь, що зустрічаються в різних областях механіки та фізики [2].

Постановка завдання

Метою роботи було створення ряду комп'ютерних моделей для дослідження НДС рами при різних, схожих з експлуатаційними, схемах навантаження, їх порівняння і вибір для кожного випадку найбільш адекватної моделі.

Виклад основного матеріалу досліджень

Досліджувана рама виконана на базі двох лонжеронів двотаврового профілю зі змінним перетином по довжині, зв'язаних основними поперечинами різних розмірів двотаврового та швелерного профілів. Рама виготовлена із сталі Ст. 3, яка має низькі характеристики міцності ($\sigma_T = 250$ МПа, $\tau_T = 160$ МПа).

Лонжерони, в основному, сприймають згинні навантаження, а поперечини – скручуючі. Дані конструктивні елементи виконують основну несучу функцію. Інші елементи конструкції можна класифікувати як допоміжні, які формують об'ємні параметри причепа і сприймають незначну частину загального навантаження.

Виходячи із вищесказаного, для дослідження НДС рами була виділена її основна несуча частина (рис. 1), що складається із конструктивних елементів, сприймаючих на себе основні експлуатаційні навантаження (лонжерони і поперечини).

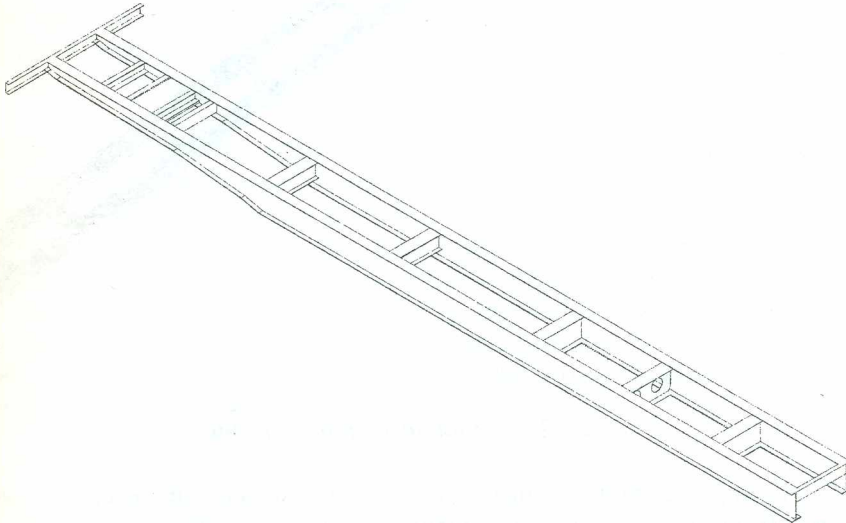


Рис. 1. Конструкція основної несучої частини рами напівпричепа

Рама АТЗ являє собою просторову статично невизначну несучу систему, на яку в умовах експлуатації діють статичні та динамічні навантаження. Напруження в елементах рами визначаються: згином у вертикальній площині під впливом симетричної системи сил; крученням навколо поздовжньої осі під впливом кососиметричних навантажень; згином у горизонтальній площині; місцевими навантаженнями. Статичні напруження виникають від дії власної ваги рами, ваги механізмів, кузова і корисного вантажу. Після виготовлення автотранспортного засобу в його рамі уже створюються напруження згину величиною 10...15 % від границі текучості матеріалу за рахунок технологічних залишкових напружень. При цьому напруження в лонжеронах у 2–2,5 раза перевищують напруження в поперечинах [3].

При русі АТЗ на раму діють динамічні навантаження як симетричні, так і кососиметричні. Основною причиною виникнення симетричних динамічних навантажень є сили інерції підресорених мас, що навантажують раму при її коливаннях. Вертикальні і кутові коливання, обумовлені симетричними складовими прогинів підвіски, викликають згин рами, створюють напруження в лонжеронах і незначні напруження в поперечинах.

Кососиметричні складові прогинів підвіски викликають гойдання та кручення рами, створюючи значні напруження в поперечинах (особливо в місцях з'єднання поперечин з лонжеронами).

При крученні рами виникають горизонтальні складові навантажень. Вони залежать від бічної жорсткості ресор, відхилення осі обертання від площини рами, а також від кута закручування. Чим більші жорсткість ресор, зміщення осі обертання та кут закручування, тим більші горизонтальні зусилля. Таким чином, елементи рами при перекосі знаходяться в умовах складного опору, який викликається дією вертикального згину, стиснутого кручення, горизонтального згину тощо [4].

Для аналітичного розрахунку рами як складної статично-невизначної системи можливе застосування методів сил, переміщень, граничної рівноваги тощо. Також для розрахунку рамних конструкцій на стадії проектування використовують спрощені методики.

Для проведення даного комп'ютерного дослідження рами використовувався модуль розрахунку НДС конструкцій методом скінчених елементів WinStructure3D з САЕ-системи (computer aided engineering) АІМ WinMachine. Російський розробник системи – Центр автоматизованого проектування машин (м. Корольов, Московська обл.) надав ЖДТУ ліцензію на використання своїх програм в навчальних цілях, а також для проведення науково-дослідних робіт. Тому був зроблений вибір саме цього розрахункового засобу.

Найбільш простою для реалізації в WinStructure3D є стрижнева модель основної несучої частини рами напівпричепа, яка складається з 36 стрижнів різної форми поперечного перетину (рис. 2). Балки з неперервно змінним поперечним перерізом були замінені ступінчастими балками, тому значення напружень в цих місцях мають наближений характер.

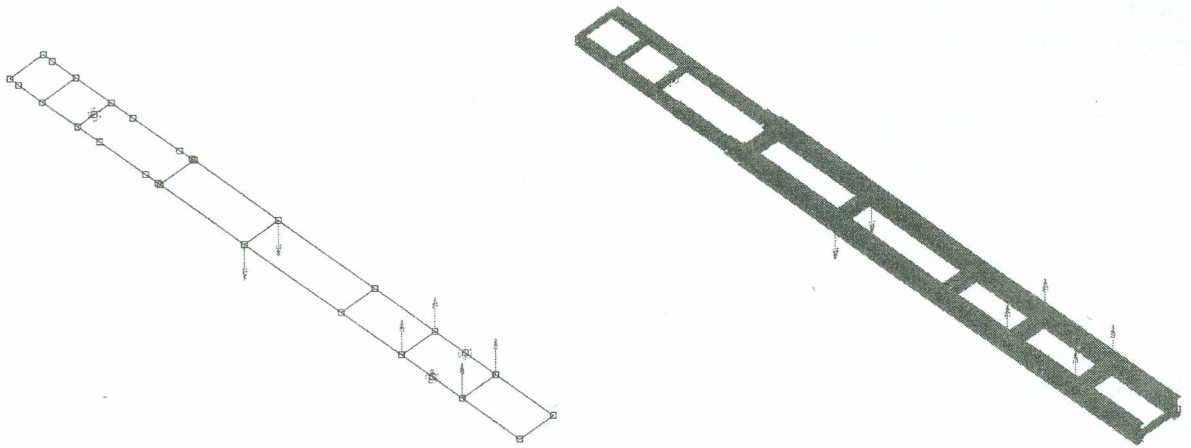


Рис. 2. Стрижнева модель рами

Рама в комп'ютерній моделі навантажувалась згідно зі схемою, яка аналогічна експериментальній (рис. 3). Одна опора розташована в місці зчеплення причепа з кузовом АТЗ (сідельний пристрій), а друга – в площині осей задніх коліс.

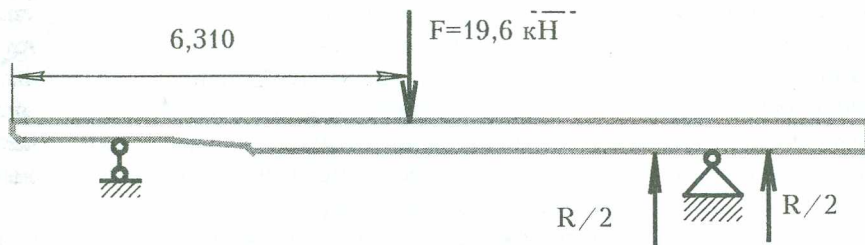


Рис. 3. Схема навантаження рами напівпричепа

Для аналізу напружень в балках зі змінним перетином та моделювання НДС в умовах сумісного згину з крученням була створена змішана пластинчато-стрижнева модель, яка складається з 558 пластин та 312 стержнів (рис. 4).

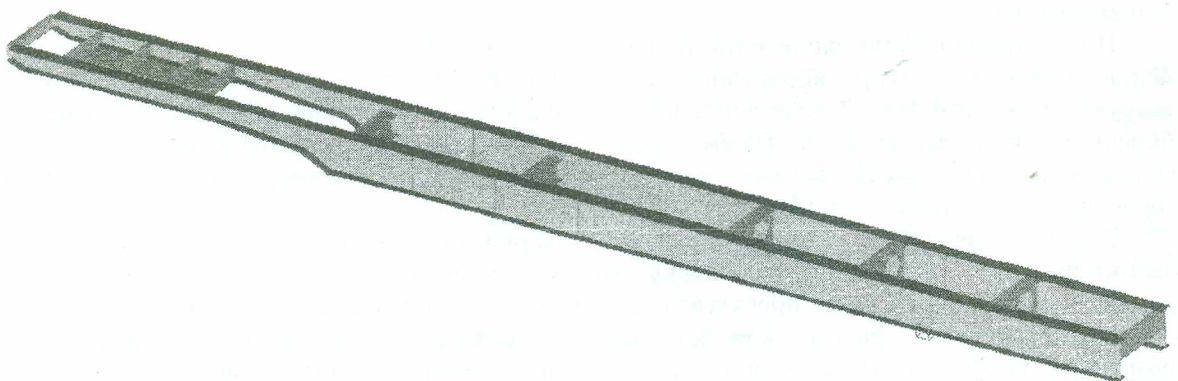


Рис. 4. Змішана (пластинчато-стрижнева) модель рами

Як видно, стрижнева модель більш проста і складається з меншої кількості елементів. Тому її створення займає менше часу і потребує менших вимог до комп'ютерної техніки. Але основним недоліком є те, що за її допомогою неможливо розрахувати раму на кручення, тобто дана модель підходить лише для розрахунків на згин. За даним принципом побудови неможливо також створити стрижень неперервно змінного перетину, що видно з рис. 3, і тому вся модель складається зі стрижнів різного профілю, зі ступінчастою зміною перерізу в місцях їх з'єднання.

Недоліком пластинчастої моделі є складність її побудови. Якість отриманих результатів залежить від кількості пластин, на які розбита модель. Збільшення кількості вузлів призводить до значного збільшення вимог до комп'ютерної техніки та часу на розбивку конструкції на пластини.

Співставлення результатів, отриманих по обох моделях, з результатами натурального експерименту, показало можливість їх використання при розрахунках рами на згин.

Результатом роботи програми при статичному розрахунку є визначення розподілу напружень по всій рамі, розподілу напружень в поперечних перетинах, значень прогинів та сил в необхідних нам точках рами та значень невідомих реакцій опор.

Розподіл напружень по довжині та характер прогину рами ми бачимо з карти напружень (рис. 5). На карті напружень їх величина зображається комп'ютером різними кольорами. Для встановлення чисельних значень напружень наводиться тарована діаграма кольорів з відповідними їм цифровими значеннями.

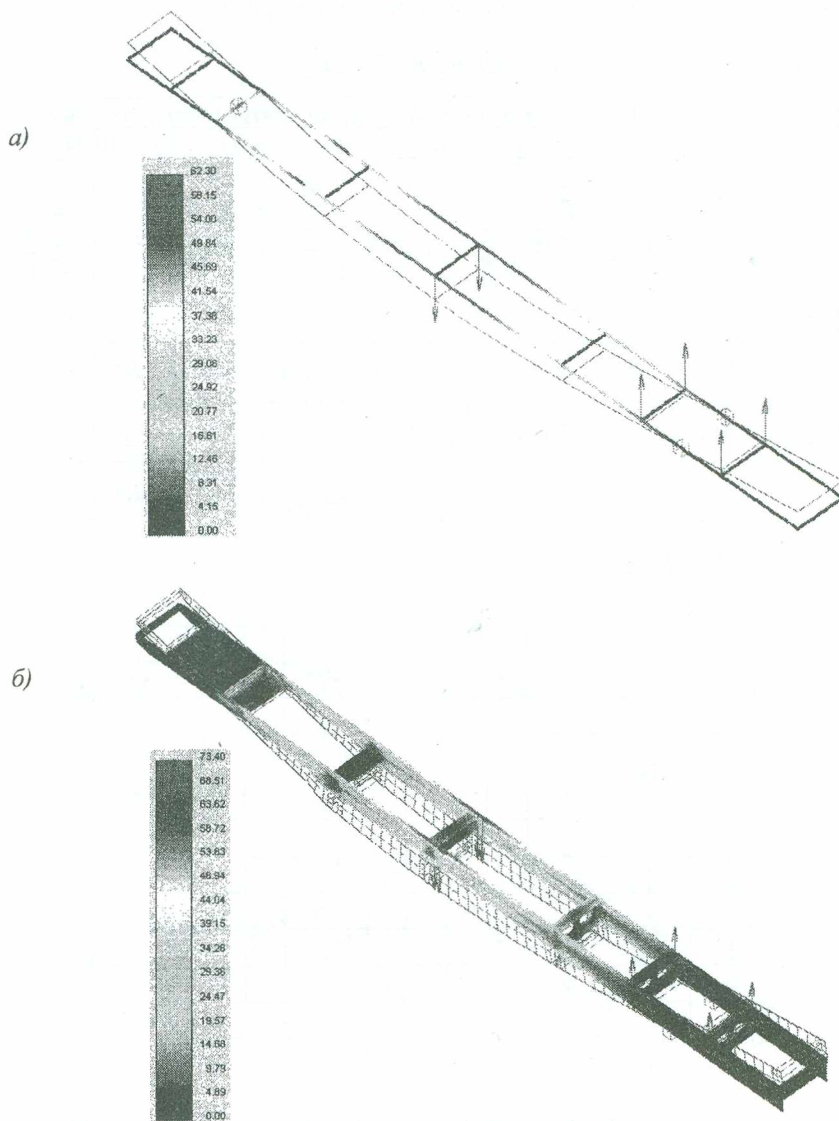


Рис. 5. Карти напружень рами автоприцепа:
а) стрижнева модель; б) змішана (пластинчасто-стрижнева) модель

За допомогою функції програми для визначення напружень одержуємо картину розподілу напружень в поперечних перетинах для різних конструктивних елементів (рис. 6).

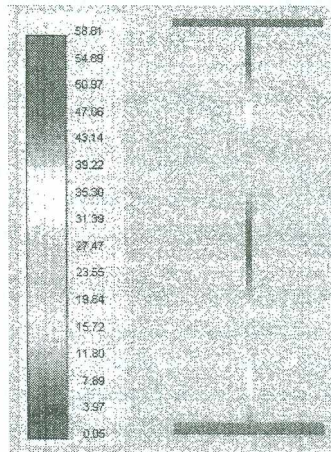


Рис. 6. Напруження в перетині

Для порівняння результатів комп'ютерного моделювання та експерименту складена порівняльна таблиця (табл. 1) та порівняльні графіки (рис. 7, 8). За порівняльні показники бралися значення напружень та прогинів у відповідних точках рами.

Таблиця 1

Порівняльна таблиця

№	Метод	Відстань від початку рами до контрольної точки, мм											
		2383		4138		6158		8758		10400		12050	
		Прогини, мм	Напруження, МПа	Прогини, мм	Напруження, МПа	Прогини, мм	Напруження, МПа	Прогини, мм	Напруження, МПа	Прогини, мм	Напруження, МПа	Прогини, мм	Напруження, МПа
1	Експеримент	-	19,1	-8	30	-11	62	-7,4	29	-2,7	8	3,5	0
2	Стрижнева модель	-	22,6	-7,9	32,5	-	61,07	-7,1	31	-	10,37	2,6	0
3	Змішана модель	-2,4	22,5	-7,5	34,4	-9,9	65,4	-	32,6	-2,4	9,65	2,4	0,1

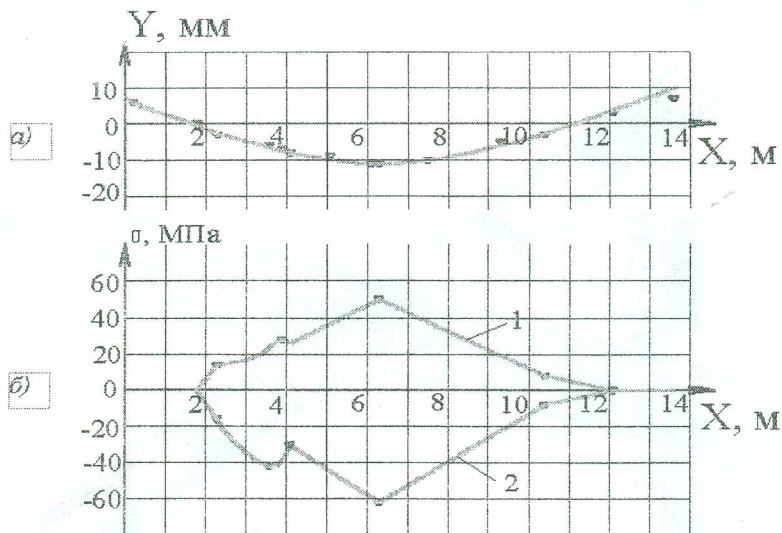


Рис. 7. Розподіл прогинів (а) та максимальних напружень (б) по довжині лонжерона (лінії – результати аналітичного розрахунку, точки – результати експерименту): 1 – напруження по низу лонжерона; 2 – напруження по верху лонжерона

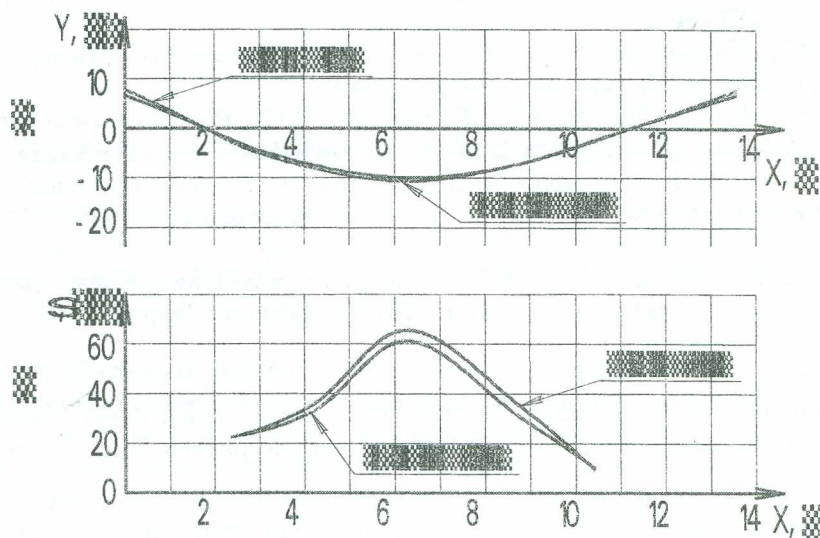


Рис. 8. Розподіл прогинів (а) та максимальних напружень (б) по довжині лонжерона (результати комп'ютерного обчислення)

Співставлення одержаних експериментальних та аналітичних результатів з результатами розрахунків, проведених на ПЕОМ методом скінченних елементів за програмою Win Structure 3D, дало можливість правильно апроксимувати раму скінченними елементами та вибрати їх розміри (створити комп'ютерну модель рами) і показало можливість використання даної програми для розрахунку таких конструкцій.

Використання подібної скінченно-елементної комп'ютерної моделі має велике практичне значення для оцінки напружено-деформованого стану при конструюванні та оптимізації подібних конструкцій, дозволяє відслідкувати зміну НДС при зміні схем навантаження, розмірів поперечних перерізів елементів конструкції, а також при введенні або вилученні конструктивних елементів рами. Крім цього, дана модель дозволяє виявити найбільш несприятливу (критичну) схему навантаження рами за різних умов її експлуатації.

В подальшому планується продовжити дію ліцензії на розрахунковий комплекс АПМ WinMachine і отримати нові версії програмних продуктів, які входять до його складу. Перш за все, це – просторовий редактор АПМ Studio, який дозволяє легко будувати тривимірні моделі конструкцій, складених з пластин та об'ємних елементів, генерувати сітку скінченних елементів та передавати геометрію моделі в розрахунковий модуль Structure 3D, проводити дослідження НДС рами при дії кососиметричних та динамічних навантажень [6].

Висновки

1. На початкових етапах комп'ютерного моделювання одержано комп'ютерну модель рами напівпричепа, яка дозволяє виконувати першу стадію розрахунків рами при проектуванні – розрахунок лонжеронів на згин з вибором розмірів геометричних параметрів перетинів для різних схем навантажень та визначенням критичних схем навантажень.
2. Точність параметрів комп'ютерного моделювання, одержана при порівнянні з експериментальними, знаходиться в межах 5–10 % для прогинів та напружень.
3. Напрямок розвитку нових версій комп'ютерних програм “APM WinMachine” показує потенційні можливості для створення комп'ютерної моделі, що забезпечить адекватність розрахунків при кососиметричних та динамічних навантаженнях.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Хомяк О.Н., Волощенко В.П. Расчеты надежности элементов машин при проектировании. – К.: Высшая школа, 1988. – 167 с.
2. Курков С.В. Метод конечных элементов в задачах динамики механизмов и приводов. – Санкт-Петербург: Политехника, 1992. – 224 с.

3. Бухарин Н.А., Прозоров В.С., Щукин М.М. Автомобили. Конструкция, нагрузочные режимы, рабочие процессы, прочность агрегатов автомобиля. – Л.: Машиностроение, 1973. – 502 с.
4. Лельчук Л.М., Сархошьян Г.Н., Кобрин М.М., Гурман В.С. Испытание и ремонт автомобильных рам. – М.: Транспорт, 1974. – 224 с.
5. Гонтаровський В.П., Грабар І.Г., Титаренко В.Є. Ресурсозбереження і проблеми надійності причіпних транспортних засобів // “Вісник ЖІТІ”. – № 3 (22). – 2002.
6. Горелов С., Казак А. Компьютерное моделирование и изучение поведения под нагрузкой несущей конструкции автомобиля УАЗ. – М.: “САПР и графика”, 2004. – № 1. – С. 30–32

ГОНТАРОВСЬКИЙ Віктор Петрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- дослідження напружено-деформованого стану та міцності елементів конструкції;
- розрахунки напружено-деформованого стану осесиметричних тіл методом скінченних елементів.

ГРАБАР Іван Григорович – доктор технічних наук, професор, перший проректор, проректор з наукової роботи, завідувач кафедри автомобілів і механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- міцність конструкцій;
- нелінійні явища та моделі;
- синергетика;
- нові технології, екологія.

ГРИЦЕНКО Андрій Сергійович – інженер-механік.

Наукові інтереси:

- конструювання та випробування АТЗ;
- САПР в автомобілебудуванні.

ТИТАРЕНКО Володимир Євгенович – старший викладач кафедри автомобілів і механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- сучасні енерго- та ресурсозберігаючі технології;
- конструювання та випробування машин і обладнання.

ЧАЙКОВСЬКИЙ Сергій Семенович – доцент кафедри ТМ і КТС Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси :

- моделювання технічних систем;
- САПР в машинобудуванні;
- комп'ютерна графіка.

Подано 11.03.2004