

УДК 621.833.65

В.М. Тігарєв, канд. техн. наук, В.М. Тонконогий, д-р техн. наук,
О.О. Якімов, д-р техн. наук, Одеса, Україна

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО МОДУЛЮ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ТРИВИМІРНОЮ МОДЕЛЛЮ РАМИ СПОРТИВНОГО АВТОМОБІЛЯ ПРИ АВТОМАТИЗОВАНОМУ ПРОЕКТУВАННІ

Розробка програмного модулю для управління тривимірною моделлю рами спортивного автомобіля. Розглянуто технологію розробки програмного додатку для керування та аналізу просторової каркасно-векторної рами автомобіля за допомогою середовища iLogic САПР Autodesk Inventor Professional. Розроблено інтерфейс та необхідні правила побудови та управління моделлю. Проведено симуляцію фронтальних та бічних навантажень.

Ключові слова: тривимірна модель, правила побудови та управління моделлю

Разработка программного модуля для управления трёхмерной моделью рамы спортивного автомобиля. Рассмотрено технологию разработки программного приложения для управления и анализа пространственной каркасно-векторной рамой автомобиля с помощью среды iLogic САПР Autodesk Inventor Professional. Разработан интерфейс и необходимые правила построения и управления моделью. Проведена симуляция фронтальных и боковых нагрузок.

Ключевые слова: трёхмерная модель, правила построения и управления моделью

Development of the programming module to control three-dimensional model of sport car frame. This paper describes software applications development techniques to control and analyze three-dimensional vectorized car frame by means of the iLogic Computer-Aided Design System, namely, Autodesk Inventor Professional. The interface and required rules for designing and controlling model were developed. Simulation of frontal and side loads was carried out.

Keywords: three-dimensional model, rules for designing and controlling model

Вступ

Основною спортивного автомобіля є шасі. Призначення шасі полягає у включенні всіх чотирьох коліс у структуру з жорсткістю на згин та кручення, тобто таку, яка не буде ні прогинатися, ні викручуватися. Рамна конструкція шасі повинна бути здатна підтримувати всі компоненти і пасажирів, а також вбирати в себе всі подані на неї навантаження без надмірних відхилень.

Постановка завдання

Рамні конструкції можливо проектувати у різних САД системах. Можливий варіант комп'ютерної моделі рами спортивного автомобіля представлено у [1]. Використання сучасних комп'ютерних технологій при проектуванні рами спортивного автомобіля дозволяє скоротити час, підвищить точність, створити параметричну комп'ютерну модель для проведення аналізу механічних навантажень, але у цій роботі не представлена

технологія створення програмного модулю керування тривимірної моделлю. Задачу зручніше вирішувати за допомогою САПР Autodesk Inventor Professional, яка дозволяє створити параметричну тривимірну модель просторової рами автомобіля в розділі «Проектування рам». Параметризація дозволяє провести аналіз створеної моделі для різноманітних профілів елементів конструкції. Для створення програмного додатку використовується середовище iLogic Autodesk Inventor

Результати дослідження

Метою роботи є розгляд технології створення програмного модулю для керування тривимірною параметричною моделлю рами спортивного автомобіля та аналіз створеної моделі рами при проведенні симуляції фронтального та бокового впливів для різних модифікацій рами.

Одним з найважливіших завдань проектування рами має бути забезпечення безпеки водія, а вже потім її ефективність, як конструкції з'єднання основних вузлів авто. Але щоб бути ефективною з точки зору конструкції, рама повинна бути досить жорсткою, що також сприяє підвищенню рівня її безпеки. Тобто ці дві мети досягаються дещо схожими методами, різниця лише в місцях застосування. Для аналізу створеної моделі рами необхідно проведення симуляцію фронтального та бокового впливів для різних модифікацій рами.

При створенні моделі спортивного автомобіля необхідно виконати модель основи рами, а потім створити групи елементів, які дозволять зміцнити загальну надійність конструкції. Такий підхід дозволить провести поетапний аналіз конструкції на жорсткість та надійність.

Побудова просторової рами має деякі особливості порівняно зі звичними збірками, зібраними зі звичних змодельованих деталей. По-перше, для того щоб модель можна було тестувати в середовищі «Аналіз рам», вона повинна бути створена зі спеціальних профільних елементів. По-друге, для завдання стандартного профілю необхідний попередньо створений ескіз, введений в середовище збірки у якості компоненту (профіль задається лише в середовищі збірки). По-третє, для моделі необхідна наявність декількох підрівнів деталізації (збірки в збірках), що надасть певну свободу контролю над різними компонентами та рівнями деталізації.

Технологію створення тривимірної параметричної моделі рами розглянуто у роботі [1].

Вигляд основи рами має вигляд (Рис. 1). Кінцева параметрична тривимірна модель просторової рами з елементами жорсткості має вигляд (Рис. 2).

Для створення програмного додатку використовується середовище iLogic Autodesk Inventor. Додаток включає у себе правила керування моделлю та необхідний користувацький інтерфейс.

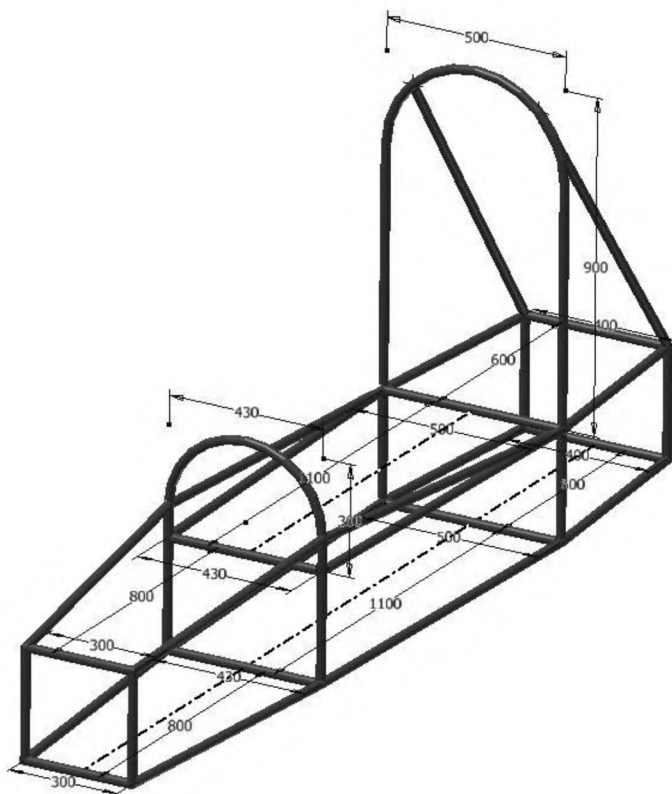


Рисунок 1

Оскільки функціонування додатку базується на параметрах моделі (як і власне, все в середовищі Autodesk Inventor), то перед тим, як безпосередньо приступити до компонування правил iLogic, ми створимо декілька користувацьких параметрів. Задля цього на цій же вкладці натиснемо на кнопку «Параметри».

У вікні, що з'явилося, можемо управляти існуючими параметрами, створювати нові і такі інші. Додавання нових параметрів проводиться натисканням кнопки, що знаходиться внизу зліва у вікні параметрів. Створимо сім нових параметрів (Рис. 3):

- «хрестовини» – текстовий;
- «хрестовини бічні» – текстовий;
- «матеріал» – текстовий;

- «бічні діагоналі» – текстовий;
- «маса» – цифровий;
- «перетин» – цифровий;
- «товщина» – цифровий.

Значення кожного з них буде налаштовано безпосередньо при описі коду, в якому він буде використовуватися.

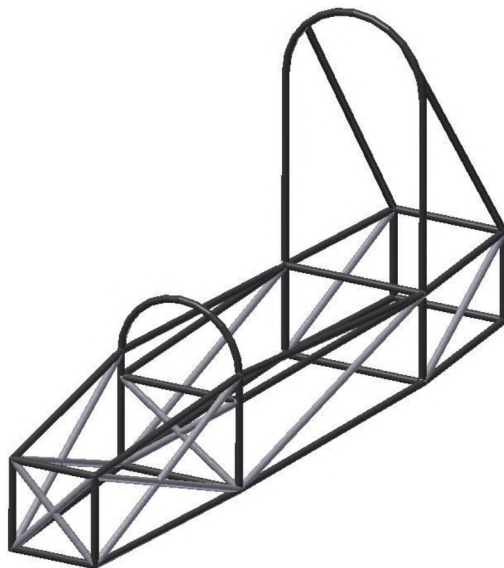


Рисунок 2

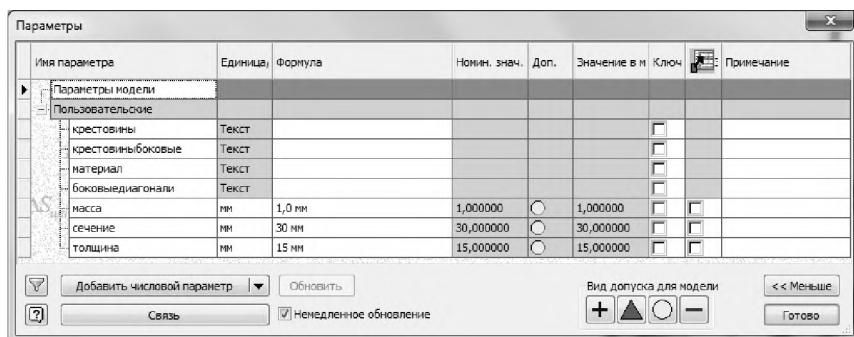


Рисунок 3

Наш програмний додаток по задуму повинен мати власний інтерфейс. Для цього він повинен функціонувати у власному вікні (формі). Створення форми відбувається в контекстному меню вкладки «Форми» браузера iLogic. Вибираємо пункт «Додавання форми». З'являється вікно налаштувань функціоналу форми та власне сама порожня форма. Міняємо її назву на «Налаштування варіацій рами» та погоджуємося зі створенням, натискаючи клавішу «ОК». Вікно редактора форм після створення вікна інтерфейсу має вигляд (Рис. 4).

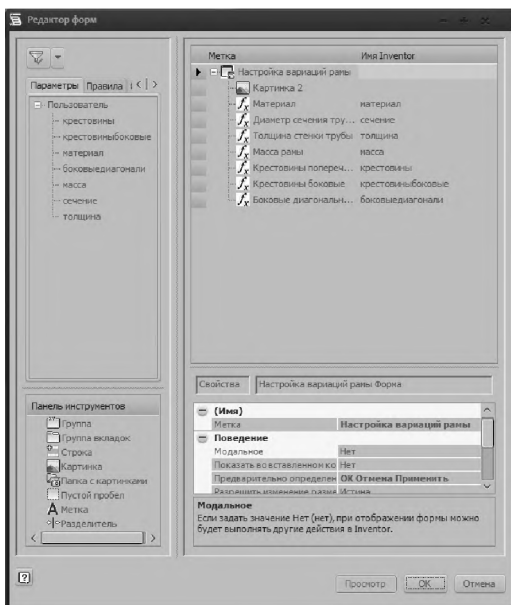


Рисунок 4

Тепер заповнимо форму. В діалоговому вікні редагування (відкривається через контекстне меню вкладки «Форми») виводяться для використання всі користувальні параметри, правила, властивості Inventor та стандартні інструменти створення форм (порожні текстові поля, групи вкладок, рисунки і таке інше). Всі наші елементи форми додані на форму за допомогою користувальних параметрів. В залежності від типу параметру вони по-різному відображаються на формі: параметри для присвоєння певного значення – у вигляді текстового поля, параметри з багатьма значеннями – у вигляді випадаючого списку. Для деяких параметрів можна змінити режим відображення, для параметру з двома значеннями доступний як режим випадаючого списку, так і режим радіокнопки, що й використано на формі.

Вікно інтерфейсу для керування побудовою рами та завдання необхідних параметрів має вигляд (Рис. 5)

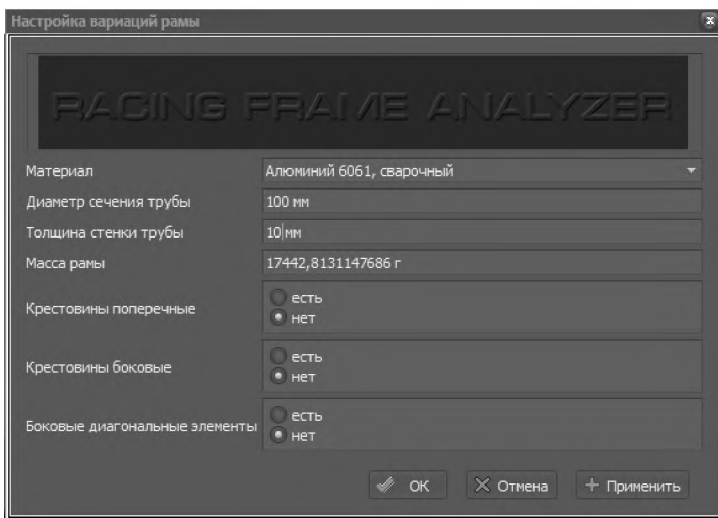


Рисунок 5

Перейдемо до створення коду елементів функціоналу форми. Натискаємо клавішу «Додати правило» на панелі інструментів iLogic. Перед нами відкривається середовище програмування iLogic. Задля коректної роботи додатку весь код буде знаходитися в одному правилі. Це пояснюється тим, що для виконання деяких функцій важливий порядок виконання інших.

Аналізуючи можливості нашого середовища та цілі проектування, ми наступним кроком зробимо на нашій формі радіо кнопку, по перемиканню якої будуть під'єднуватися або від'єднуватися поперечні хрестоподібні елементи рами. Суттю створення цієї функції є можливість швидкого доступу до різних комбінацій рами для проведення аналізу кожної з них.

В реалізації поставленої задачі нам допомогла функція iLogic – Component Is Active ("Part1:1") – функція, котра може подавити компонент збірки або повернути його назад в розрахунок. "Part1:1" – імя компоненту. Для її реалізації запишемо невеликий цикл «якщо ... то». В умовній частині оператора ми присвоюємо параметру «хрестовини» значення «ні». При виконанні цієї умови Component Is Active ("Part1:1") буде рівнятися значенню False, тобто компонент стане неактивним. В наступній умовній частині параметр «хрестовини» буде рівнятися значенню «так». При виконанні цієї умови Component Is Active ("Part1:1") буде дорівнювати True, тобто компонент стане знову активним.

Приклад коду:

```
If «хрестовини» = «ні» Then  
Component Is Active ("хрестовини:1") = False  
Else If «хрестовини» = «так» Then  
Component Is Active ("хрестовин:1") = True  
End If
```

Подібним чином ми створюємо радіокнопки для підключення / відключення двох інших інсталяцій, код буде аналогічним, різниця лише в назвах компонентів.

Наступною важливою функцією нашого додатку буде можливість зміни матеріалу. Її можна реалізувати за допомогою функції iLogic iProperties Matherials, яка повертає значення всіх матеріалів у вигляді списку, та функції iProperties Matherial Of Component ("Part1:1"), яка присвоює або повертає значення матеріалу певного компоненту. Звернення до компоненту нижчого рівню відбувається за допомогою розширеної функції iProperties Matherial Of Component MakePath (через кому вказується повний шлях до компоненту). Спочатку привласнюємо значення всіх матеріалів певному параметру (параметр «матеріали») у вигляді списку, а потім прирівнюємо цей параметр до кожного необхідного компоненту. Звертання до кожного компоненту окремо має дещо громіздкий та нераціональний вигляд, але це необхідно для можливості контролю над кожним елементом в подальшому.

Приклад коду:

```
Multi Value List("матеріал") = iProperties Matherials  
iProperties Matherial Of Component ("ANSI 1 x 0.133 00000001:1") =  
матеріал
```

Для реалізації наступної функції ми скористалися можливістю створення власної змінної в середовищі iLogic – Shared Variable ("ім'я"). Вона необхідна для того, щоб виразити функцію маси – iProperties Mass ("ім'я компоненту").

Для кожного компоненту потрібна своя змінна, в подальшому значення маси компонентів будуть додаватися для відображення загальної маси рами. Сума буде присвоюватися параметру «маса», котрий в подальшому буде виведений на форму.

Наступна використана функція дозволяє скористатися будь-яким параметром моделі/збірки (до цього ми мали справу тільки з користувальними параметрами) для повернення або присвоєння його значення. З її допомогою ми отримали змогу змінювати товщину та діаметр перерізу труби, що надає змогу використовувати не тільки стандартні типи труб Inventor, а й будь-які інші. Значення можна буде вводити вручну в формі за допомогою користувальних параметрів «перетин» та «товщина».

Вікно редагування з необхідними правилами показано на (Рис. 6).

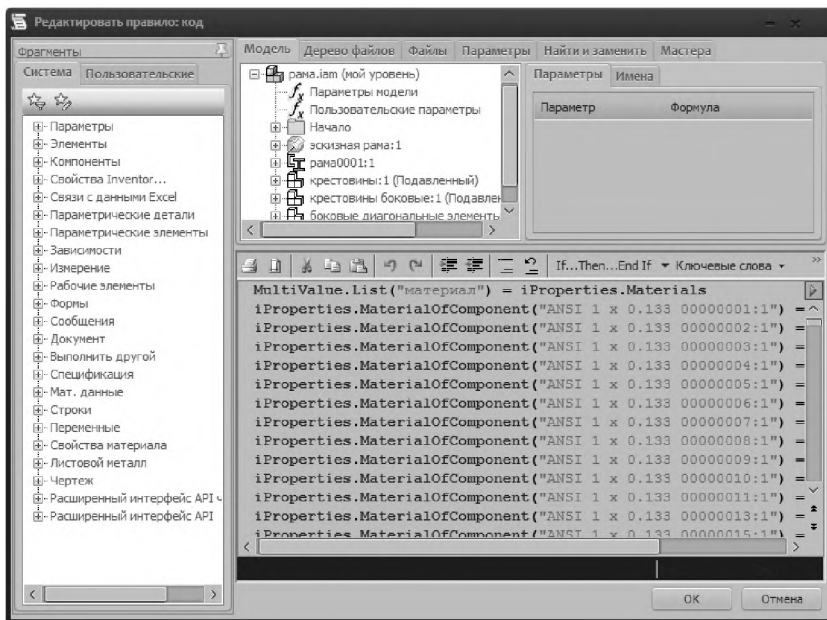


Рисунок 6

Після створення програмного додатку було проведено симуляції фронтального та бокового впливів достатньої сили (близької до сили зіткнення) різних модифікацій рами та матеріалів. При проведенні симуляції використовувались наступні матеріали: вуглеволокно, сталь та алюміній. Досліджувався характер деформації при фронтальному (Рис. 7) та бічному навантаженні (Рис. 8).

За результатами симуляцій було встановлено що вуглеволокно неекономічне для використання та є занадто незручним для виготовлення саме просторової рами (потрібні спеціальні та дорогі засоби формування рами як суцільного тіла). Отже вуглеволокно є зовсім неприйнятним матеріалом.

При застосуванні сталі майже не змінився характер деформацій, але на декілька пунктів змінилася її амплітуда. В цьому та в низькій вартості сталь є набагато кращим матеріалом ніж вуглеволокно, але спостерігаючи за масою за допомогою нашого додатку, ми побачили величезний приріст в масі рами: з 9,2 кг при вуглеволокні, до 50,5 кг при сталі. Таким чином нам необхідно знайти компромісний матеріал. Проводимо тестування для алюмінію. Порівняно зі сталлю амплітуди деформацій зросли майже в 2,5 рази, але не змінився їх характер. Також рама з алюмінію має значно меншу вагу: 17,4 кг з

алюмінієм проти 50,5 кг зі сталлю. Таким чином алюміній і є тим самим компромісним матеріалом, який найкраще підійде для нашої рами. Він відносно дешевий та легко зварюється (економічність, легкість монтажу), він досить легкий та має достатній запас міцності (характер деформацій не змінився).

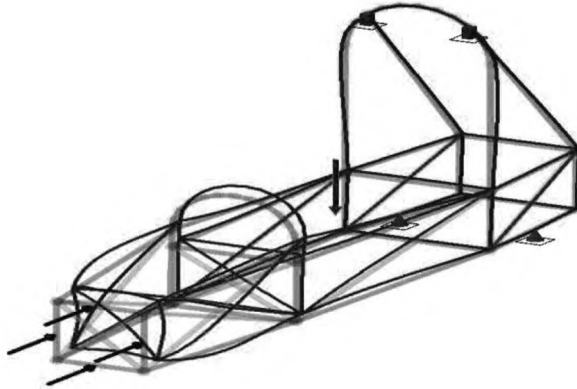


Рисунок 7

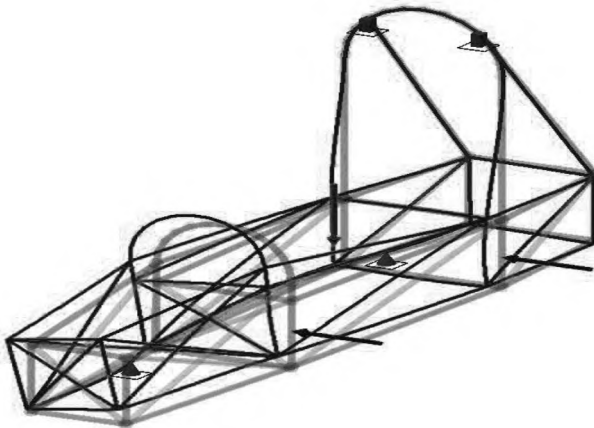


Рисунок 8

Результати розрахунків сил та моментів реакцій у залежностях для симуляції при фронтальному навантаженні для повній конфігурації рами наведено у табл. 1, а зведення за статичними результатами наведено у табл. 2.

Таблиця 1

Назва залежності	Сила реакції		Реактивний момент	
	Величина	Компоненти (Fx, Fy, Fz)	Величина	Компоненти (Mx, My, Mz)
Залежність фіксації:1	2575,612 Н	10,030 Н	168528,500 Н мм	-18629,602 Н мм
		305,934 Н		-1861,320 Н мм
		2557,358 Н		-167485,309 Н мм
Опора:1	16686,522 Н	1405,550 Н	0,000 Н мм	-0,000 Н мм
		-276,022 Н		-0,000 Н мм
		16624,929 Н		0,000 Н мм
Опора:2	18164,099 Н	-1407,795 Н	0,000 Н мм	0,000 Н мм
		-289,508 Н		-0,000 Н мм
		18107,148 Н		0,000 Н мм
Залежність фіксації:2	2733,319 Н	-7,785 Н	175744,862 Н мм	-23217,264 Н мм
		351,860 Н		7516,361 Н мм
		2710,565 Н		174042,293 Н мм

Таблиця 2

Назва		Мінімальна	Максимальна
Зміщення		0,000 мм	3,776 мм
Сили	Fx	-5807,145 Н	5392,346 Н
	Fy	-611,948 Н	2710,565 Н
	Fz	-7624,968 Н	17948,246 Н
Моменти	Mx	-150986,865 Н мм	150381,076 Н мм
	My	-303560,854 Н мм	492132,556 Н мм
	Mz	-26753,042 Н мм	17998,169 Н мм
Нормальне напруження	Smax	-76,900 МПа	519,081 МПа
	Smin	-528,260 МПа	36,493 МПа
	Smax(Mx)	-0,000 МПа	147,706 МПа
	Smin(Mx)	-147,706 МПа	0,000 МПа
	Smax(My)	0,000 МПа	481,439 МПа
	Smin(My)	-481,439 МПа	-0,000 МПа
	Saxial	-86,562 МПа	36,774 МПа
Напруження зсуву	Tx	-51,380 МПа	55,333 МПа
	Ty	-25,827 МПа	5,831 МПа
Напруження кручення	T	-8,804 МПа	13,086 МПа

Висновки

У роботі розглянуто технологію створення програмного модулю для управління тривимірної моделлю рами спортивного автомобілю. Задачу вирішено за допомогою САПР Autodesk Inventor Professional у середовище iLogic. Наведено послідовність створення програмного додатка та зручний користувальницький інтерфейс. З використанням розробленого модуля було проведено дослідження симуляції при фронтальному навантаженні для повній конфігурації рами для трьох матеріалів. Це дозволило знайти оптимальну конфігурацію конструкції рами та матеріал спортивного автомобіля. Запропонована технологія створення програмних модулів дозволяє проводити дослідження для параметричних моделей різних механізмів, які створені у САПР Autodesk Inventor Professional.

Список використаних джерел: 1. *В.М. Тонконогий, В.М. Тігарев, К.В. Козирева.* Розробка параметричної тривимірної моделі просторової рами автомобіля. Сучасні технології в машинобудуванні. – Вип. 9, Харків, НТУ "ХПІ", 2014, – с. 216-228. 2. *Michael Costin, David Phipps.* Racing and sports car chassis design. – London: B. T. Batsford Ltd, 1965. – 146 с. 3. *Фентон Дж.* Несущий каркас кузова автомобиля и его расчет. – М.: Машиностроение, 1984. – 200с. 4. *Том Трембли* Autodesk Inventor 2013 и Inventor LT 2013. Основы. Официальный учебный курс /. – М.: ДМК-Пресс, 2013. – 348 с. 5. *Curtis Waguespack.* Mastering Autodesk Inventor 2014 and Autodesk Inventor LT 2014. – Sybex, 2013. – 1032 p.

Bibliography (transliterated): 1. *V.M. Tonkonogij, V.M. Tigarev, K.V. Kozireva.* Rozrobka parametrichnoї trivimirnoї modeli prostorovoї rami avtomobilja. Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni. – Vip. 9, Harkiv, NTU "HPI", 2014, – s. 216-228. 2. *Michael Costin, David Phipps.* Racing and sports car chassis design. – London: V. T. Batsford Ltd, 1965. – 146s. 3. *Fenton Dzh.* Nesushhij karkas kuzova avtomobilja i ego raschet. – M.: Mashinostroenie, 1984. – 200s. 4. *Tom Trembli* Autodesk Inventor 2013 i Inventor LT 2013. Osnovy. Oficial'nyj uchebnyj kurs /. – M.: DMK-Press, 2013. – 348 s. 5. *Curtis Waguespack.* Mastering Autodesk Inventor 2014 and Autodesk Inventor LT 2014. – Sybex, 2013. – 1032 p.