

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Ю. А. Буренніков, А. А. Кашканов, В. М. Ребедайло

АВТОМОБІЛІ:
РОБОЧІ ПРОЦЕСИ ТА ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ

Вінниця
ВНТУ
2013

УДК 629.33(075)

ББК 39.33я73

Б91

Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Лист №1/11-20256 від 28.12.2012 р.

Рецензенти:

В.Ф. Анісімов, доктор технічних наук, професор

В.П. Волков, доктор технічних наук, професор

В.П. Сахно, доктор технічних наук, професор

Буренніков, Ю. А.

Б91 Автомобілі: робочі процеси та основи розрахунку: навчальний посібник/Ю. А. Буренніков, А. А. Кашканов, В. М. Ребедайло.– Вінниця: ВНТУ, 2013. –283 с.

ISBN 978-966-641-515-1

В посібнику дано аналіз конструкцій систем, агрегатів і механізмів різних типів автомобілів, їх робочі процеси та вимоги до них. На основі робочих процесів подані елементи розрахунку, необхідні для визначення навантажень, діючих в агрегатах і механізмах.

Навчальний посібник призначений для студентів ВНЗ напряму підготовки «Автомобільний транспорт» і може бути корисним інженерно-технічним працівникам автомобільного транспорту.

УДК 629.33(075)

ББК39.33я73

ISBN 978-966-641-515-1

©Ю. Буренніков, А. Кашканов, В. Ребедайло, 2013

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	6
1 КЛАСИФІКАЦІЯ, ПОЗНАЧЕННЯ, ВЛАСТИВОСТІ, ЗАГАЛЬНА БУДОВА ТА ВИМОГИ ДО КОНСТРУКЦІЇ АВТОМОБІЛІВ	7
1.1 Класифікація та позначення автомобілів	7
1.2 Властивості автомобілів	10
1.3 Загальна будова та вимоги до конструкції автомобілів	12
2 НАВАНТАЖУВАЛЬНІ РЕЖИМИ ТА МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ	16
2.1 Робочий процес	16
2.2 Методи розрахунку на міцність	17
2.3 Навантажувальні і розрахункові режими	20
3 ЗЧЕПЛЕННЯ	24
3.1 Вимоги до зчеплень	24
3.2 Класифікація зчеплень	24
3.3 Робочий процес фрикційного дискового зчеплення	25
3.4 Автоматизація керування зчепленням	27
3.5 Конструювання і розрахунок зчеплень	29
4 КОРОБКА ПЕРЕДАЧ	37
4.1 Вимоги до коробок передач	37
4.2 Класифікація коробок передач	37
4.3 Робочий процес механічної ступінчастої коробки передач	39
4.4 Особливості робочого процесу планетарної коробки передач ..	40
4.5 Робочий процес гідротрансформатора	46
4.6 Особливості роботи автоматичних коробок передач	50
4.7 Конструювання і розрахунок ступінчастих коробок передач ...	54
5 КАРДАННА ПЕРЕДАЧА	65
5.1 Вимоги до карданних передач	65
5.2 Класифікація карданних передач	65
5.3 Робочий процес карданних передач	65
5.4 Конструювання і розрахунок карданних передач	69

6 ГОЛОВНА ПЕРЕДАЧА	75
6.1 Вимоги до головних передач	75
6.2 Класифікація головних передач	75
6.3 Робочий процес головних передач	76
6.4 Проектування і розрахунок головної передачі	78
7 ДИФЕРЕНЦІАЛ	86
7.1 Вимоги до диференціалів	86
7.2 Класифікація диференціалів	86
7.3 Робочий процес диференціала	88
7.4 Проектування і розрахунок диференціала	89
8 ПРИВОД ВЕДУЧИХ КОЛІС	92
8.1 Вимоги до приводу ведучих коліс	92
8.2 Класифікація приводу ведучих коліс	93
8.3 Робочий процес приводу ведучих коліс	93
8.4 Розрахунки на міцність	95
9 ПІДВІСКА	99
9.1 Вимоги до підвісок	99
9.2 Класифікація підвісок	99
9.3 Компонувальні схеми та конструктивні елементи підвісок	100
9.4 Робочий процес підвіски	100
9.5 Розрахунки на міцність	118
10 КОЛЕСА І ШИНИ	120
10.1 Колеса	120
10.2 Шини	125
11 РУЛЬОВЕ КЕРУВАННЯ	133
11.1 Вимоги до рульового керування	133
11.2 Класифікація рульового керування	133
11.3 Робочий процес рульового керування	134
11.4 Підсилювачі рульового керування	141
11.5 Розрахунки на міцність	151
12 ГАЛЬМА	153
12.1 Вимоги до гальмових систем	154
12.2 Класифікація	157
12.3 Робочий процес гальмових механізмів	158
12.4 Гальмові приводи	163
12.5 Регулятор гальмових сил	181

12.6 Антиблокувальні системи	184
12.7 Стоянкова гальмова система	192
12.8 Гальмові системи зі сповільнювачем	193
12.9 Розрахунки на міцність	200
13 КУЗОВ І РАМА, МІСЦЕ ПРАЦІ ВОДІЯ	201
13.1 Вимоги до кузовів і рам	201
13.2 Класифікація кузовів і рам	201
13.3 Робочий процес та основи розрахунку кузовів і рам	201
13.4 Розрахунки на міцність	204
13.5 Особливості улаштування робочого місця водія	205
14 АВТОМОБІЛЬНА ГІДРАВЛІКА	206
14.1 Елементи прикладної гідравліки	206
14.2 Гідравлічні об'ємні приводи	218
14.3 Насоси та гідродвигуни	229
14.4 Гідроагрегати, які обслуговують виконавчий контур	240
14.5 Гідравлічні акумулятори	243
14.6 Гідравлічна апаратура	246
14.7 Розрахунок параметрів виконавчого контура гідроприводу ...	252
15 АВТОМОБІЛЬНА ПНЕВМАТИКА	261
15.1 Керування відкриттям-закриттям дверей і люків, жалюзів радіатора	261
15.2 Регулювання тиску повітря в шинах	263
ЛІТЕРАТУРА	266
ГЛОСАРІЙ	268
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК	281

ПЕРЕДМОВА

В результаті інтенсивного вдосконалення конструкції автомобілів, більш частого поновлення моделей, що випускаються, додання їм високих споживчих якостей виникає необхідність підвищення професійного рівня фахівців напрямку підготовки «Автомобільний транспорт».

Вивчення автомобіля у ВНЗ проводиться послідовно за трьома об'єднаними у загальний курс розділами дисципліни «Автомобілі»: «Основи конструкції», «Теорія експлуатаційних властивостей» і «Робочі процеси та основи розрахунку». Задача розділу «Робочі процеси та основи розрахунку» – дати знання і навички з аналізу та оцінювання конструкції різних автомобілів, а також визначення навантажень, діючих в їх агрегатах і механізмах. Метою вивчення курсу «Автомобілі» є систематизація, закріплення й розширення теоретичних і практичних знань при вирішенні конкретних наукових технічних й економічних завдань в галузі автомобільного транспорту.

Студент ВНЗ, який навчається за даним напрямком, повинен одержати знання в області теорії та конструкції автомобілів, що забезпечують йому можливість успішного керування сучасним складним автомобільним господарством. Він повинен мати уявлення про сучасний стан і тенденції розвитку як автомобілебудування в цілому, так і окремих конструкцій автомобілів, вміти оцінювати експлуатаційні властивості на основі аналізу конструкції моделей автомобілів, визначати навантаженість окремих елементів, щоб прогнозувати їхню надійність, а також проводити випробування автомобілів і оцінювати їхні результати.

Навчальний посібник «Автомобілі: робочі процеси та основи розрахунку» відповідає за змістом задачам розділу «Робочі процеси та основи розрахунку», його побудова підпорядкована загальному принципу: аналіз і оцінювання конструкцій дається на базі запропонованих вимог і класифікаційних ознак, супроводжує вивчення робочих процесів.

Вимог можна дотриматись при різних конструктивних рішеннях, тому їх необхідно розглядати разом із класифікацією й аналізом виконаних конструкцій.

Кількісні оцінки вихідних характеристик і аналіз можливостей їхньої зміни можна одержати тільки на основі аналізу робочого процесу з використанням його математичного опису.

Робочий процес (operation, working procedure) – це сукупність фізичних, фізико-хімічних і ін. явищ, що виникають під час роботи в агрегатах і системах, їхня послідовність, причинність, взаємозв'язок.

На основі аналізу конструкції та математичного опису робочого процесу можна визначити, на якому ступені і за яких умов можливе виконання вимог, і перейти до вибору розрахункових навантажень, використовуваних у розрахунках на міцність, жорсткість і т. д.

1

КЛАСИФІКАЦІЯ, ПОЗНАЧЕННЯ, ВЛАСТИВОСТІ, ЗАГАЛЬНА БУДОВА ТА ВИМОГИ ДО КОНСТРУКЦІЇ АВТОМОБІЛІВ

1.1 Класифікація та позначення автомобілів

Автомобільний рухомий склад (vehicles) за призначенням поділяють на вантажний, пасажирський і спеціальний. До вантажного рухомого складу відносять вантажні автомобілі, автомобілі-тягачі, причепа (trailers) та напівпричепа (semitrailers).

Вантажний рухомий склад в залежності від характеру його використання поділяється на рухомий склад загального призначення і спеціалізований. Автомобілі, причепа та напівпричепа загального призначення мають неперекидний кузов і використовуються для перевезення вантажів всіх видів, крім рідких, без тари. До спеціалізованого рухомого складу (specialized vehicles) відносять автомобілі, причепа та напівпричепа, призначені для перевезення вантажів певних видів або обладнані спеціальними вантажно-розвантажувальними пристроями: самоскиди, самонавантажувачі, фургони і рефрижератори, цистерни, трубовози, металовози, контейнеровози, ваговози, лісовози, для перевезення будівельних конструкцій, сільськогосподарської продукції та ін. Спеціалізація рухомого складу досягається, головним чином, установленням спеціалізованих кузовів і додаткового устаткування на шасі базових автомобілів, причепів і напівпричепів. При цьому тип кузова і його конструкція залежать, в основному, від виду перевозимого вантажу, його властивостей і масо-габаритних параметрів. Удосконалювання конструкції може бути досягнуто максимальним використанням вантажопідйомності шасі, уникненням зовнішнього впливу на якість вантажів у процесі перевезення і підвищенням зручності та ефективності вантажно-розвантажувальних робіт.

Автомобілями-тягачами називають автомобілі, призначені для постійної роботи з причепами або напівпричепами. Вони поділяються на сідельні автомобілі-тягачі для роботи з напівпричепами і автомобілі-тягачі для роботи з причепами. Автомобіль-тягач (truck tractors) в зчепленні з причепом (напівпричепом) називається автопоїздом (articulated truck).

До пасажирського рухомого складу відносять автобуси, легкові автомобілі, пасажирські причепа та напівпричепа.

Спеціальний рухомий склад (special vehicles) охоплює автомобілі, причепа та напівпричепа і призначається для виконання не транспортних робіт, а технологічних операцій. Тому на ньому встановлюється, в залежності від призначення, спеціальне обладнання – пожежні машини, автокрани, пересувні ремонтні майстерні та ін.

Вантажні автомобілі (нормаль ОН 025270) поділяються на класи (табл. 1.1) за повною масою та експлуатаційним призначенням (бортовий, тягач, самоскид і т. д.).

Таблиця 1.1 – Індеси вантажних автомобілів

Повна маса, т	Експлуатаційне призначення автомобіля					
	Бортові	Тягачі	Само-скиди	Цистерни	Фургони	Спеціальні
До 1,2	13	14	15	16	17	19
1,2 до 2,0	23	24	25	26	27	29
2,0 до 8,0	33	34	35	36	37	39
8,0 до 14,0	43	44	45	46	47	49
14,0 до 20,0	53	54	55	56	57	59
20,0 до 40,0	63	64	65	66	67	69
більше 40	73	74	75	76	77	79

Класи 18, 28, ..., 78 є резервними і в індексацію не внесені.

Схема позначення вантажних автомобілів, причепів і напівпричепів показана на рис. 1.1.

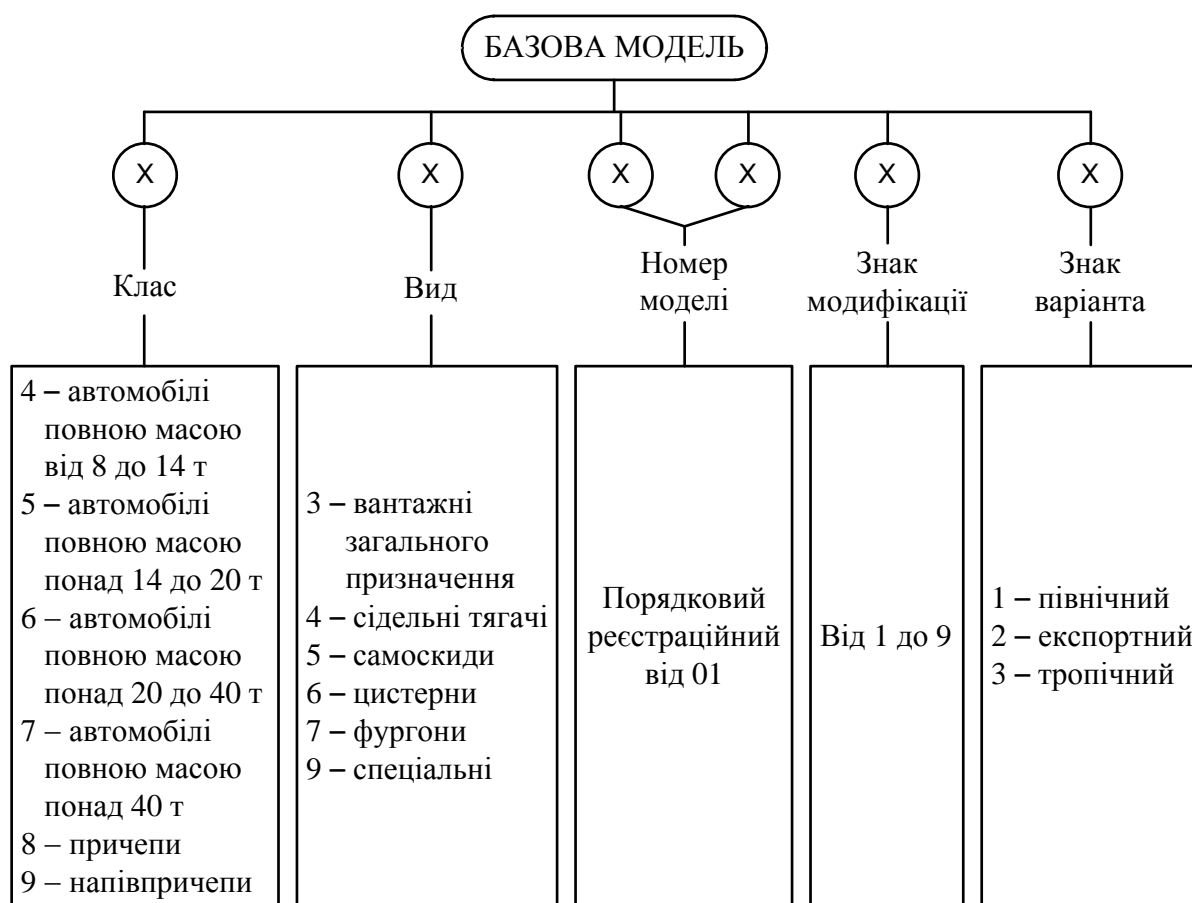


Рисунок 1.1 – Схема класифікації і позначень

Наприклад, позначення ЗІЛ-431413 розшифровується так: 4 – повна маса 8...14 т; 3 – вантажні загального призначення, 14 – номер моделі, 1 – знак модифікації, 3 – тропічний.

Легкові автомобілі класифікуються за робочим об'ємом двигуна в літрах на 4 класи (з 11 по 41): 11 – особливо малий (до 1,2), 21 – малий (від 1,2 до 1,8), 31 – середній (від 1,8 до 3,5), 41 – великий (більше 3,5 л).

Автобуси класифікуються за габаритною довжиною в метрах на п'ять класів (з 22 по 62): 22 – особливо малий (до 5 м), 32 – малий (від 6,0 до 7,5 м), 42 – середній (від 8 до 9,5 м), 52 – великий (від 10,5 до 12 м) і 62 – особливо великий (16,5 м і більше).

Індекси причепів і напівпричепів наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Індекси причепів і напівпричепів

Типи причепів	Причепа	Напівпричепа
Легкові	81	91
Автобусні	82	92
Вантажні (бортові)	83	93
Самоскидні	85	95
Цистерни	86	96
Фургони	87	97

При розгляді технічної документації вітчизняних і закордонних автотранспортних засобів більш зручно користуватися класифікацією, прийнятою в Правилах ЄЕК ООН (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Європейська класифікація транспортних засобів

Категорія АТЗ	Тип автотранспортного засобу	Повна маса, т	Примітки
M1	АТЗ із двигуном, призначені для перевезення пасажирів, мають не більше 8 місць для сидіння (крім місця водія)	Не регламентується	Легкові автомобілі
M2	Те ж, що мають більше 8 місць для сидіння (крім місця водія)	До 5,0	Автобуси
M3	Те ж	Понад 5,0	Автобуси, у тому числі зчленовані
N1	АТЗ із двигуном, призначені для перевезення вантажів	До 3,5	Вантажні автомобілі, спеціальні автомобілі
N2	Те ж	Понад 3,5 до 12,0	Вантажні автомобілі-тягачі, спеціальні автомобілі
N3	Те ж	Понад 12,0	Те ж
O1	АТЗ без двигуна	До 0,75	Причепа і напівпричепа
O2	Те ж	Понад 0,75 до 3,5	Те ж
O3	Те ж	Понад 3,5 до 10,0	Те ж
O4	Те ж	Понад 10,0	Те ж

1.2 Властивості автомобілів

Автомобіль має ряд властивостей, які характеризують його не лише як транспортний засіб, призначений для перевезення вантажів, пасажирів і спеціального обладнання для виконання нетранспортних робіт, але і як об'єкт безпечного руху індивідуального користування (легковий автомобіль).

Зазвичай, розглядають такі властивості автомобілів: експлуатаційні, споживчі і властивості безпеки.

Експлуатаційні властивості характеризують виконання автомобілем транспортних і спеціальних робіт. Вони визначають пристосованість автомобіля до умов експлуатації, а також ефективність і зручність використання автомобіля.

Експлуатаційні властивості автомобіля підрозділяються на дві основні групи: експлуатаційні властивості, пов'язані з рухом автомобіля і не пов'язані з його рухом.

Тягово-швидкісні і гальмові властивості, паливна економічність, керуваність, поворотальність, маневреність, стійкість, прохідність, плавність ходу, екологічність і безпека руху забезпечують рух автомобіля та визначають його закономірності.

Місткість, міцність, довговічність, пристосованість до технічного обслуговування і ремонту, до навантажувально-розвантажувальних робіт, до посадки і висадки пасажирів багато в чому визначають ефективність і зручність використання автомобіля.

Експлуатаційні властивості, що забезпечують рух автомобіля, істотно залежать від конструкції та технічного стану систем і механізмів автомобіля. Чим досконаліша конструкція автомобіля і кращий його технічний стан, тим вищі експлуатаційні властивості автомобіля. Системи і механізми автомобіля проектують так, щоб набути експлуатаційних властивостей, потрібних для заданих умов експлуатації й забезпечити ефективне використання автомобіля в цих умовах.

На рис. 1.2 показаний зв'язок експлуатаційних властивостей, що забезпечують рух автомобіля, з системами і механізмами автомобіля, конструкція та технічний стан яких найбільше впливають на ці властивості.

Споживчі властивості особливо важливі для легкового автомобіля, вони характеризують здатність автомобіля задовольняти вимоги його власників. Так, споживчими властивостями легкового автомобіля є: зручність посадки і висадки водія та пасажирів, наявність ефективних систем опалювання, вентиляції, кондиціонування повітря, електропідйомників скла, аудіосистеми, вбудованого телефону, телевізора, а також якість матеріалів обшивки салону кузова, привабливість зовнішнього вигляду автомобіля, його престижність і відповідність моді.

Властивості безпеки характеризують активну, пасивну та екологічну безпеку автомобіля.



Рисунок 1.2 – Зв'язок експлуатаційних властивостей із системами і механізмами автомобіля

Активна безпека – властивість автомобіля запобігати дорожньо-транспортним пригодам (ДТП). Активну безпеку автомобілю забезпечують його високі тягово-швидкісні і гальмові властивості, хороші стійкість, керованість, маневреність, недостатня повертальність, висока плавність ходу, хороші оглядовість і комфортабельність, які різко знижують стомлюваність водія і створюють умови для тривалої безаварійної роботи.

Пасивна безпека (внутрішня і зовнішня) – властивість автомобіля зменшувати тяжкість наслідків ДТП, тобто травматизм водія, пасажирів і пішоходів, забезпечувати збереження вантажів і запобігати можливості виникнення пожежі. Пасивну безпеку автомобілю забезпечують висока міцність пасажирського салону, що практично унеможлиблює його деформації при аваріях, ремені безпеки, надувні подушки безпеки, травмобезпечне рульове керування, підголівники, спеціальне скло, надійне внутрішнє устаткування кузова, яке зменшує травмування водія і пасажирів, а також зовнішня форма кузова, що зменшує травмування пішоходів. Пожежна безпека автомобіля забезпечується конструкцією системи живлення двигуна і місцем розташування паливного бака на автомобілі.

Екологічна безпека – властивість автомобіля зменшувати шкоду, що наноситься в процесі експлуатації пасажиром, водієм, людям і довкіллю. Екологічна безпека автомобіля забезпечується конструкцією окремих систем, механізмів та їх елементів, що знижують створюваний автомобілем шум і токсичність відпрацьованих газів. Крім того, екологічна безпека досягається використанням екологічно нешкідливих матеріалів і пристосова-

ністю автомобіля до утилізації, тобто повторній переробці після виходу з ладу автомобіля, його систем і механізмів.

Параметри безпеки регламентуються державними стандартами і Правилами ЄЕК ООН, чинними в Україні.

1.3 Загальна будова та вимоги до конструкції автомобілів

Основні терміни:

Механізм (device, gear, mechanism) – пристрій, призначений для перетворення руху і швидкості.

Агрегат (unit) – з'єднання декількох пристроїв в одне ціле.

Система (system) – сукупність окремих частин, зв'язаних загальною функцією (наприклад, система живлення, охолодження, змащення та ін.).

Автомобіль (car) – самохідна машина, що приводиться в рух за допомогою встановленого на ньому двигуна. Механізми, агрегати і системи автомобіля містять у собі тисячі деталей. Проте в більшій частині рухомого складу, в якому визначальною ланкою є автомобіль, принципи устрою і роботи основних механізмів однакові.

Він складається з трьох основних частин: двигуна, кузова і шасі.

Двигун (engine) перетворює теплову енергію, яка виділяється при згорянні палива, у механічну. В результаті такого перетворення приводяться в обертання через механізми трансмісії ведучі колеса автомобіля. На більшості автомобілів застосовують поршневі двигуни – бензинові або дизелі.

Кузов (body) служить для розміщення перевозимого вантажу. У кузові автобуса і легкового автомобіля розміщуються пасажирів і водій. Кузов вантажного автомобіля складається з платформи (body floor, loading platform) під вантаж і кабіни водія.

Шасі (chassis, running gear) являє собою сукупність усіх механізмів, призначених для передавання крутного моменту від двигуна на ведучі колеса, пересування автомобіля і керування ним. Шасі складається з трансмісії, несучої системи, мостів, підвіски, коліс і механізмів керування.

Трансмісія (transmission; power drive) передає крутний момент від колінчатого вала двигуна до ведучих коліс автомобіля і змінює величину і напрямок цього моменту.

На рис. 1.3 зображена спрощена схема автомобіля (вигляд зверху). Від двигуна 1 потужність за допомогою трансмісії підводиться до ведучих коліс 8. Трансмісія складається зі зчеплення 2, коробки передач 3, карданної передачі 4, головної передачі 5, диференціала, розміщеного в ній, і півосей 6.

Зчеплення (clutch) призначене для тимчасового від'єднання коробки передач від двигуна на момент зрушення з місця та перемикання передач (з наступним плавним з'єднанням із двигуном). Коробка передач (gearbox) служить для збільшення крутного моменту, одержуваного від двигуна шляхом вмикання шестерень, що мають різні передаточні числа. Цим забезпечується зміна швидкості руху автомобіля. Крім того, коробка передач служить і для руху заднім ходом.

Від коробки передач крутний момент за допомогою *карданної передачі* (*cardan drive; driveline*) передається до *головної передачі* 5, розташованої в задньому мості, що може переміщатися щодо *рами* 9 при деформації пружного елемента (ресор) між мостом і рамою. Карданна передача передає крутний момент від коробки передач задньому мосту при змінному куті і відстані між ними.

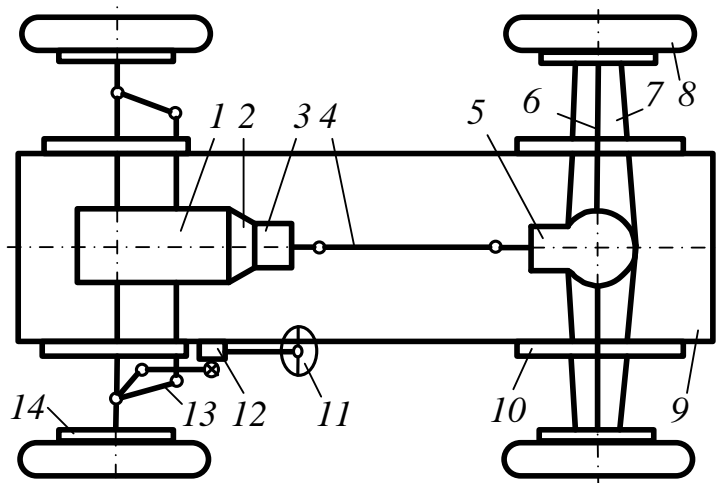


Рисунок 1.3 – Спрощена схема класичного компонування автомобіля

У *головній передачі* (*final drive*) відбувається подальше після коробки передач збільшення крутного моменту і передавання руху під прямим кутом від карданного вала до *півосей* 6 коліс.

Разом з головною передачею розташований *диференціал* (*differential mechanism*), що дозволяє одержувати різну швидкість коліс (на поворотах і при подоланні різних за висотою нерівностей). *Півосі* знаходяться в картері 7 ведучого (найчастіше заднього) моста, а зовнішні їх кінці з'єднані з ведучими колісьми 8.

Рама (frame) 9, що виконує в розглянутій схемі функції несучої системи, колеса, встановлені на керованих і ведучих 7 мостах і підвісці 10, що зв'язують мости з рамою, утворюють візок автомобіля. Підвіска і шини дозволяють пом'якшувати поштовхи і удари, сприймані колісьми від нерівностей дороги.

До органів керування відносять гальмову і рульову системи. *Гальмова система* (*braking system*) складається з гальм 14, установлених на колесах, і приводу до них. Вона служить для зниження швидкості, зупинки й утримання автомобіля на місці.

Рульовий механізм (*steering gear*) містить у собі рульове колесо 11, рульову передачу 12 і важелі 13. В цій системі поворот рульового колеса змінює положення передніх коліс і тим самим забезпечує поворот автомобіля.

Компонування (assembling, arrangement) автомобіля може бути найрізноманітнішим, тому що воно залежить від:

- взаємного розташування двигуна, кабіни і кузова;

- типу несучої системи (рами);
- числа мостів і розташування їх по довжині автомобіля;
- типу трансмісії.

Розрізняють 4 схеми компоновання автомобіля за розташуванням двигуна: перед кабіною, під кабіною або усередині кабіни, між кабіною і кузовом, у задній частині шасі.

Перші 2 схеми встановлення двигуна є типовими для автомобілів загальнотранспортного і багатоцільового призначення.

Схема розташування двигуна під кабіною (усередині кабіни) є більш раціональною в порівнянні з установленням його перед кабіною, тому що при цьому забезпечуються великі розміри платформи кузова або менша загальна довжина автомобіля; краща оглядовість для водія, що сприяє підвищенню безпеки руху.

Компоновання автомобілів-тягачів за схемою «кабіна над двигуном» доцільне також у випадках улаштування їх спальними місцями, розташованими позаду сидіння.

Розташування двигуна за кабіною застосовується для потужних тягачів і довгобазних шасі багатовісних автомобілів.

Розміщення кабіни перед двигуном доцільно зберігати у випадках, коли між кабіною й опорно-зчипним пристроєм існує вантажонесучий кузов. Такі автомобілі-тягачі типу «верблюди» виготовляються в США на довгобазних стандартних чи спеціальних шасі три- чи чотиривісних автомобілів. Останнім часом такі автомобілі-тягачі роблять чотиривісними, що дозволяє при звичайних розмірах шин підвищити вантажопідйомність і зменшити радіус повороту (обидві передні осі являють собою здвоєний керований візок).

Перевагами автомобілів-тягачів типу «верблюди» є збільшення їхньої зчипної ваги, висока стійкість і більш повне використання довжини автопоїзда.

Розташування двигуна в задній частині характерно для автобусів, тому що при цьому можна збільшити розміри салону, а також підвищити їх екологічність, тому що пари палива і теплове випромінювання двигуна не впливають на пасажирів.

Для збільшення пасажирського кузова в деяких моделях легкових автомобілів (наприклад, ВАЗ-2114) двигун розташовують попереду поперек поздовжньої осі автомобіля, а привод при цьому здійснюється на передні колеса.

Несуча система автомобіля може бути виконана у вигляді рамної, корпусної або комбінованої конструкції. Рамна конструкція буває лонжеронною або трубчастою у вигляді центральної каркасної труби великого діаметра. Її застосування характерне для вантажних автомобілів. Корпусні або комбіновані конструкції типові для легкових автомобілів і автобусів.

До конструкції автомобіля висувається цілий ряд вимог. До них відносять виробничі, експлуатаційні, споживчі вимоги і вимоги безпеки. Дамо визначення цих вимог.

Виробничі вимоги – відповідність конструкції автомобіля технологічним можливостям заводу-виробника, а також мінімальні витрати матеріалів, трудомісткість і собівартість при виробництві.

Експлуатаційні вимоги – високі тягово-швидкісні і гальмові властивості, паливна економічність, хороші керуваність, маневреність, стійкість, плавність ходу, прохідність, недостатня повертальність, надійність, технологічність обслуговування і ремонту, мінімальна собівартість транспортних робіт. Експлуатаційні вимоги багато в чому залежать від умов експлуатації, тобто на яких дорогах, в яких кліматичних зонах працюватиме автомобіль, а також які вантажі і яких пасажирів передбачається перевозити.

Споживчі вимоги – невелика вартість автомобіля та його експлуатації, безвідмовність і ремонтпридатність, легкість керування, безпека й комфортабельність.

Вимоги безпеки висуваються до активної, пасивної (внутрішньої, зовнішньої) та екологічної безпеки автомобіля.

При проектуванні автомобіля до його систем, агрегатів і механізмів додатково висуваються загальні і спеціальні вимоги.

Загальними вимогами до усіх систем, агрегатів і механізмів є такі: мінімальні розміри і маса, простота конструкції та обслуговування, технологічність, ремонтпридатність і низький рівень шуму.

Спеціальні вимоги висуваються додатково до кожної системи, кожного агрегату і механізму з урахуванням їх призначення, особливостей конструкції і робочих процесів.

Запитання для самоконтролю

1. Як класифікують і позначають автомобілі?
2. Які властивості характеризують автомобіль?
3. Які вузли, механізми, агрегати і системи входять до конструкції автомобіля?
4. Які вимоги висуваються до конструкції автомобіля?
5. Які вимоги висуваються до конструкції систем, агрегатів і механізмів автомобіля?

2.1 Робочий процес

Для математичного опису основних особливостей робочого процесу агрегатів, механізмів і систем шасі в багатьох випадках при використанні умови рівноваги системи достатньо взяти до уваги тільки зовнішні сили (force) P (для обертального руху – моменти M):

$$\sum M_n = 0, \quad (2.1)$$

а для перехідних процесів (розгони, гальмування) участь ще й маси m (для обертального руху – моменти інерції I):

$$\sum M_n + \sum I_n \ddot{\varphi}_n = 0. \quad (2.2)$$

В деяких випадках, наприклад, для підвіски, необхідно проаналізувати коливальні процеси. При цьому, використовуючи принцип незалежності, розглядають поведінку системи під впливом сил (або моментів), викликаних лінійною $e = x/P$ (або кутовою $e = \varphi/M$) пружністю ланок системи, і сил, викликаних нерівномірним рухом мас:

$$\sum I_n \ddot{\varphi}_n + \sum \frac{\varphi_n + \varphi_{n+1}}{e_{n,n+1}} = M_\varphi, \quad (2.3)$$

де $M_\varphi = M_a \sin(\dot{\varphi}t + \varepsilon)$ – момент, відповідний зовнішньому збурювальному впливу. При визначенні власних коливань системи приймають $M_\varphi = 0$. Врахування сил (або моментів) опору, еквівалентних в'язкому тертю $C_b \dot{\varphi}$ (або $C_b \dot{\varphi}$) та сухому тертю $C_c \mu$, дозволяє визначити ступінь затухання коливань у часі:

$$\sum I_n \ddot{\varphi}_n + \sum \frac{\varphi_n + \varphi_{n+1}}{e_{n,n+1}} - C_b \dot{\varphi} - C_c \mu = M_\varphi. \quad (2.4)$$

В деяких випадках доводиться, крім того, враховувати ще і наявність люфтів в окремих ланках системи.

Істотне спрощення розрахунку та аналізу багатомасової багатоланкової системи забезпечується при заміні її на більш просту еквівалентну систему, наприклад, одномасову або двомасову. При цьому для систем з послідовно з'єднаними ланками використовують такі формули зведення:

$$I_e = \sum \frac{I_n}{i_n^2} + \sum \frac{m_n \cdot r_n^2}{i_n^2}, \quad (2.5)$$

$$e_e = \sum \frac{e_{n,n+1}}{i_n^2}, \quad (2.6)$$

де $i_n = \omega_e / \omega_n$ – передаточне число від ланки зведення до даної ланки. Для систем, які мають розімкнені та замкнені (кільцеві) розгалуження, при визначенні I_e та e_e використовують спеціальні методи: метод ланцюгових дробів, метод залишку [3].

При аналізі робочого процесу систем і підсистем з автоматичним регулюванням додатково проводиться дослідження стійкості, швидкодії та точності роботи системи.

При розв'язанні рівнянь типу (2.1)-(2.4), отримуємо вихідні характеристики, які для механічних систем, звичайно, мають вигляд залежностей силових параметрів M або P від кінематичних ω або v . У вихідні характеристики входять також функції, які дозволяють оцінити економічність агрегату чи системи, наприклад, питома витрата палива для теплових двигунів, ККД (coefficient of efficiency) для передач і т. д. Коливальні процеси, звичайно, оцінюють за допомогою амплітудно-частотних характеристик. Використовуються й інші види характеристик. Необхідно також мати інформацію про граничні умови для вихідних характеристик і про ступінь впливу на них умов експлуатації: температури, вологості, тривалості роботи тощо.

Таким чином, в розрахунок вихідних характеристик повинні входити:

- визначення номінальних статичних (і динамічних) характеристик;
- розрахунок (якщо це необхідно) характеристик, які дозволяють оцінити коливальні процеси і роботу автоматичних підсистем;
- визначення ступеня впливу можливих умов експлуатації на параметри вихідних характеристик.

2.2 Методи розрахунку на міцність

При експлуатації автомобіля можливі руйнування його деталей з різних причин. Відмови, тобто порушення працездатності деталей автомобіля, можна віднести до двох груп.

1. Відмови, що виникають раптово, коли напруження перевищує межу міцності даної деталі.

2. Відмови, що виникають як результат поступового необоротного накопичення ушкоджень у вигляді руйнування від втоми (тріщини) або у вигляді зношування.

Розрахунок граничних станів у першому і другому випадках виконується з використанням принципово різних методів розрахунку та умов навантаження деталей.

2.2.1 Розрахунок на статичну (динамічну) міцність

Цей розрахунок необхідно робити за максимальними навантаженнями, що відповідають особливо важким для даної деталі режимам руху автомобіля, наприклад, переїзд через значну нерівність, рушання з місця при різкому вмиканні зчеплення і т. п. Виникаючі при цьому максимальні корот-

кочасні напруження не повинні перевищувати межі міцності матеріалу даної деталі. Особливо важкі розрахункові режими будуть різними, неоднаковими для деталей автомобіля, що входять у трансмісію, підвіску, системи керування, раму або кузов, але, звичайно, їхнє визначення не викликає труднощів.

Критеріями (criterion) статичної міцності (strength) можуть бути коефіцієнти запасу міцності, визначені за граничними або за допустимими напруженнями.

При розрахунку за граничними напруженнями

$$\sigma_{роб} \leq \frac{\sigma_{сп}}{n_{сп}} \text{ або } \tau_{роб} \leq \frac{\tau_{сп}}{n_{сп}}. \quad (2.7)$$

Для пластичних матеріалів беруть граничні напруження $\sigma_{сп}$ за границею текучості $\sigma_{сп} = \sigma_m$, для крихких – за границею міцності $\sigma_{сп} = \sigma_s$. Діюче напруження $\sigma_{роб}$ беруть за максимальним напруженням, визначеним за максимальним навантаженням для найбільш небезпечного перерізу деталі. При складному напруженому стані визначають еквівалентне напруження $\sigma_e = \sigma_{роб}$. Звичайно, для пластичних матеріалів користуються теорією найбільших дотичних напружень:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}, \quad (2.8)$$

$$\sigma_e = \frac{1-\alpha}{2}\sigma + \frac{1+\alpha}{2}\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}, \quad (2.9)$$

де $\alpha = \sigma_{сп} / \sigma_{сс}$ – відношення границь міцності при розтяганні і стиску.

Значення коефіцієнта запасу міцності n_m визначається добутком коефіцієнтів K_1, K_2, K_3 і т. д., що враховують різні фактори. Звичайно обмежуються двома коефіцієнтами і приймають

$$n_m \approx n_0 = K_1 \cdot K_2, \quad (2.10)$$

де K_1 – коефіцієнт стабільності властивостей матеріалу,

K_2 – коефіцієнт відповідальності деталі.

Для пластичних матеріалів приймають $n_0 = 1,2 \div 2,5$ (менші значення відповідають меншим відношенням σ_m / σ_s , для крихких матеріалів $n_0 = 2 \div 6$ (менші значення відповідають більш високим значенням ударної в'язкості α_k)).

В автомобілебудуванні частіше застосовують розрахунок за допустимими напруженнями $[\sigma] = \sigma_{сп} / n_m$ (або $[\tau] = \tau_{сп} / n_m$), значення яких приймають на підставі наявного у промисловості досвіду, причому

$$\sigma_{роб} \leq [\sigma] \text{ або } \tau_{роб} \leq [\tau]. \quad (2.11)$$

Таким чином, при розрахунку за граничним напруженням $\sigma_{роб}$ потрібно порівняти з $\sigma_{сп} / n_m$ – рівняння (2.7), а при розрахунку за допустимими напруженнями – із заданим значенням $[\sigma]$.

2.2.2 Розрахунок на втомну міцність

Цей розрахунок необхідно робити за навантажувальними режимами, які відповідають характерним для даного автомобіля умовам експлуатації з урахуванням їх тривалості. Підраховані при цьому еквівалентні напруження, що характеризують утому матеріалу даної деталі при відомому характері зміни навантажень, використовують для визначення довговічності (durability). Для розрахунку на втомну міцність, з урахуванням вібрацій, необхідно визначити умови, що відповідають резонансним коливанням. Для розрахунків на втомну міцність необхідно мати статистичні дані, збір яких досить трудомісткий і вимагає великих витрат часу.

Критеріями втомної міцності так само, як і критеріями статичної міцності, можуть бути коефіцієнти запасу міцності, визначені за граничним або за допустимим напруженнями – рівняння (2.7) і (2.11).

Граничні напруження беруть за границею витривалості при симетричному циклі напруження σ_{-1} (або τ_{-1}), чи за напруженнями $\sigma_{роб}$ (або $\tau_{роб}$), що враховують асиметрію циклу. Діючі напруження $\sigma_{роб}$ (або $\tau_{роб}$) беруть за еквівалентним напруженням, що враховує заданий характер зміни напруження за часом, $\sigma_{роб} = \sigma_e$, коефіцієнт запасу міцності при розрахунку на втомну міцність беруть $n_m \approx n_0 = 1,1 \div 1,5$, а іноді $n_0 = 1$.

Якщо умови експлуатації відомі, тоді можна використовувати такий порядок розрахунку [2].

1. Встановити класифікацію умов експлуатації для даного автомобіля (тип дороги, корисне навантаження, швидкісний режим і т. д.).
2. Записати навантажувальний режим даної деталі в умовах дорожніх випробувань і побудувати кореляційні таблиці для кожної з прийнятих умов експлуатації.
3. Побудувати криві розподілу навантаженості деталі для кожної з прийнятих умов експлуатації.
4. Побудувати криві утоми при використанні даних стендових випробувань.
5. Обчислити кореляційні рівняння довговічності.
6. Підрахувати коефіцієнт запасу втомної міцності і граничний термін служби деталі (у км пробігу) для кожної з прийнятих умов експлуатації.
7. Підрахувати граничний термін служби деталі (у км пробігу) для змішаних умов експлуатації.

2.2.3 Розрахунок на зносостійкість (контактну міцність)

Цей розрахунок доцільно робити за тими ж навантажувальними режимами, що і при розрахунку на втомну міцність. Менш достовірний, але більш простий розрахунок можна виконати з використанням умовних середніх навантажень і коригувальних коефіцієнтів (coefficient, factor), що враховують ступінь нестационарності режиму.

2.3 Навантажувальні і розрахункові режими

Навантажувальний режим (working conditions) характеризує реальні навантаження, що їх витримують деталі та агрегати автомобіля під час експлуатації. Розрахунковим називається реальний або умовний навантажувальний режим, прийнятий при розрахунку деталей автомобіля на міцність. Розрахунковий режим устанавлюється на основі аналізу навантажувальних режимів. Для різних агрегатів і систем автомобіля використовують різні розрахункові режими.

2.3.1 Розрахункові режими для трансмісії

1. За максимальним моментом двигуна. В цьому випадку розрахунковий момент (без врахування ККД)

$$M_p = M_{e_{\max}} \cdot i_n \cdot \alpha_n, \quad (2.12)$$

де i_n – передаточне число від вала двигуна до даного вала;

α_n – коефіцієнт, що враховує максимально можливу частину моменту, переданого даним валом, якщо інша частина моменту передається іншими валами (півосі, привод до передніх і задніх ведучих коліс і т. п.).

Цей розрахунковий режим використовують звичайно для порівняльних перевірок розрахунків.

2. За максимальним зчепленням ведучих коліс з дорогою. В цьому випадку

$$M_p = G'_{зч} \cdot \varphi_{\max} \cdot \frac{r_k}{i'_n \cdot \eta'_n}, \quad (2.13)$$

де $G'_{зч}$ – найбільша зчїпна вага (adhesion weight) з урахуванням можливого при розгоні перерозподілу;

i'_n, η'_n – передаточне число і ККД від ведучого колеса до даного вала;

r_k – радіус кочення ведучого колеса;

$\varphi_{\max} = 0,7 \div 0,9$ – максимальний (із запасом) коефіцієнт зчеплення (adhesion factor).

Цей розрахунковий режим звичайно використовують для карданних валів і мостів багатовісних автомобілів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Автомобильный справочник BOSCH : пер. с англ. – М. : За рулем, 2004. – 992 с.
2. Осепчугов В. В. Автомобиль. Анализ конструкций. Элементы расчета / В. В. Осепчугов, А. К. Фрумкин. – М. : Машиностроение, 1989. – 304 с.
3. Нарбут А. Н. Автомобили: рабочие процессы и расчет механизмов и систем : учебник / Нарбут А. Н. – М. : Академия, 2008. – 256 с.
4. Шепеленко И. Г. Основы проектирования специализированного подвижного состава / Шепеленко И. Г. – К. : УМКВО, 1989. – 162 с.
5. Кашканов А. А. Спеціалізований рухомий склад автомобільного транспорту: конструкція : навчальний посібник / А. А. Кашканов, В. М. Ребедайло. – Вінниця : ВДТУ, 2002. – 164 с.
6. Автомобили: специализированный подвижной состав : учебное пособие / [М. С. Высоцкий, А. И. Гришкевич, Л. С. Гилелес и др.]; под ред. М. С. Высоцкого, А. И. Гришкевича. – Мн. : Высшая шк., 1989. – 240 с.
7. Вахламов В. К. Автомобили: конструкция и элементы расчета : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Вахламов В. К. – М. : Издательский центр «Академия», 2006. – 480 с.
8. Автомобили-самосвалы / В. И. Белокуров, О. В. Гладков, А. А. Захаров, А. С. Мелик-Саркисянц; под общ. ред. А. С. Мелик-Саркисянца. – М. : Машиностроение, 1987. – 216 с.
9. Говорущенко Н. Я. Техническая кибернетика транспорта / Н. Я. Говорущенко, В. Н. Варфоломеев. – Харьков : РИО ХГАДТУ, 2001. – 271 с.
10. Литвинов А. С. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. – М. : Машиностроение, 1989. – 237 с.
11. Фрумкин А. К. Трансмиссия автомобиля : учебное пособие / Фрумкин А. К. – М. : МАДИ, 1978. – 116 с.
12. Основенко М. Ю. Автомобілі : навчальний посібник / М. Ю. Основенко, В. П. Сахно. – К. : НМК ВО, 1992. – 344 с.
13. Бухарин Н. А. Автомобили / Бухарин Н. А., Прозоров В. С., Щукин М. М. – Л. : Машиностроение, 1973. – 504 с.
14. Гольд Б. В. Прочность и долговечность автомобиля / Б. В. Гольд и др. – М. : Машиностроение, 1974. – 328 с.
15. Румянцев Л. А. Проектирование автоматизированных автомобильных сцеплений / Румянцев Л. А. – М. : Машиностроение, 1975. – 176 с.
16. Нарбут А. Н. Гидромеханические передачи автомобилей / Нарбут А. Н. – М. : МАДИ, 1971. – 66 с.
17. Генбом Б. Б. Вопросы динамики торможения и рабочих процессов тормозных систем автомобилей / Б. Б. Генбом и др. – Львов : Вища школа, 1974. – 234 с.
18. Булычев Д. В. Автопоезда / Д. В. Булычев, М. И. Грифф. – М. : Транспорт, 1990. – 215 с.

19. Щетина В. А. Подвижной состав автомобильного транспорта : Учебник / В. А. Щетина и др. – М. : Транспорт, 1989. – 302 с.
20. Буренніков Ю. А. Гідравліка і гідропривід : навчальний посібник / Буренніков Ю. А., Немировський І. А., Козлов Л. Г. – Вінниця : ВНТУ, 2003. – 123 с.
21. Буренніков Ю. А. Рухомий склад автомобільного транспорту: робочі процеси та елементи розрахунку : навчальний посібник / Буренніков Ю.А., Кашканов А.А., Ребедайло В. М. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 267 с.
22. Кашканов А. А. Інформаційні комп'ютерні системи автомобільного транспорту : навчальний посібник / Кашканов А. А., Кужель В. П., Грисюк О. Г. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 230 с.
23. Данов Б. А. Электронные системы управления иностранных автомобилей / Данов Б. А. – М. : Горячая линия – Телеком, 2002. – 224 с. – ISBN 5-93517-085-X.
24. Сосин Д. А. Новейшие автомобильные электронные системы / Д. А. Сосин, В. Ф. Яковлев – Москва : Солон-Пресс, 2005. – 240 с. – ISBN 5-98003-201-0.
25. Афонин С. В. Устройство и диагностика автоматических коробок передач легковых автомобилей. Переднеприводные, заднеприводные, полноприводные : практ. руководство / Афонин С. В. – Ростов-на-Дону : ПОНЧиК, 2000. – 136 с. – ISBN 5-8069-0011-8.
26. Антонов Д. А. Расчет устойчивости движения многоосных автомобилей / Антонов Д. А. – М. : Машиностроение, 1984. – 164 с.
27. Боровский Б. Е. Безопасность движения автомобильного транспорта / Боровский Б. Е. – Л. : Лениздат, 1984. – 305 с.
28. Вонг Дж. Теория наземных транспортных средств / Джон Вонг – М. : Машиностроение, 1982. – 285 с.
29. Гришкевич А. И. Автомобили. Теория / Гришкевич А. И. – Минск : Высшая школа, 1986. – 207 с.
30. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання ; Введ. 28.12.10. – К. : Держспоживстандарт України, 2011. – 32 с.
31. Мартынюк А. А. Динамика и устойчивость движения колесных транспортных машин / Мартынюк А. А., Лобас Л. Г., Никитина Н. В. – К. : Техніка, 1981. – 222 с.
32. Нефедов А. Ф. Планирование эксперимента и моделирование при исследовании эксплуатационных свойств автомобилей / А. Ф. Нефедов, Л. Н. Высочин – Львов : Вища школа, 1976. – 160 с.
33. Подригало М. А. Устойчивость колесных машин при торможении / Подригало М. А., Волков В. П., Кирчатый В. И. – Харьков : ХГАДТУ, 2000. – 180 с.
34. Туренко А. Н. Функциональный расчет тормозной системы автомобиля с барабанными тормозами / Туренко А. Н., Богомолов В. А., Клименко В. И. – К. : УМК ВО, 1990. – 134 с.

Навчальне видання

**Буренніков Юрій Анатолійович
Кашканов Андрій Альбертович
Ребедаєло Вадим Миколайович**

**АВТОМОБІЛІ:
РОБОЧІ ПРОЦЕСИ ТА ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ**

Навчальний посібник

Редактор В. Дружиніна

Оригінал-макет підготовлено А. Кашкановим

Підписано до друку 18.02.2013 р.
Формат 29,7 × 42 ¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 18,3.
Наклад 300 (1-й запуск – 100) прим. Зам. № 2013-026.

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано в Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.