



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ
ФАКУЛТЕТ ПО ТРАНСПОРТА
Катедра „Двигатели, автомобилна техника и транспорт“

маг. инж. Симона Ивова Хесапчиева

**ПРИЛОЖЕНИЕ НА МНОГОРАМЕННО ОКАЧВАНЕ
MULTILINK КАТО ПРЕДНО ОКАЧВАНЕ НА МОТОЦИКЛЕТ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.5. Транспорт, корабоплаване и авиация

Научна специалност: Автомобили, трактори и кари

Научни ръководители:

доц. д-р инж. Данаил Андреев Хлебарски
гл. ас. д-р Георги Миланов Яначков

СОФИЯ, 2024 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Двигатели, автомобилна техника и транспорт“ към Факултет по транспорта на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 27.11.2024 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 03.04.2025 г. от 13,00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-5.5 -15 / 05.12.2024 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Доц. д-р инж. Илиян Славков Дамянов– председател
2. Доц. д-р инж. Данаил Хлебарски– научен секретар
3. Проф. д-р инж. Петър Иванов Димитров
4. Проф. д-р инж. Димитър Живков Димитров
5. Доц. д-р инж. Ставри Димитри Димитров

Рецензенти:

1. Доц. д-р инж. Илиян Славков Дамянов
2. Доц. д-р инж. Ставри Димитри Димитров

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултет по транспорта на ТУ-София, блок 9, кабинет № 9312.

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Двигатели, автомобилна техника и транспорт“ на факултет по транспорта. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Симона Хесапчиева

Заглавие: Приложение на многораменно окачване Multilink като предно окачване на мотоциклет

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Мотоциклетът е едно от най-разпространените и използвани транспортни средства в света. Научните изследвания и инженерните разработки дават основа за модернизирването на мотоциклетите с цел покриване на все по-строгите изисквания за ефективност, екологичност, сигурност и безопасност на движението. Съвременните мотоциклети развиват високи скорости на движение и в повечето случаи водачът не може своевременно да реагира на смущенията от пътната повърхност и околната среда. Това налага мотоциклетите да се проектират с висока устойчивост. Повишаването на скоростта на движение от своя страна зависи в голяма степен от параметрите на окачването на ходовите колела. Окачване, което е с неправилно подбрани параметри, води не само до понижаване на скоростта на движение, но и до съществено влошаване на безопасността на движение както при праволинейно, така и при движение в завой.

Окачването с телескопична вилка е най-масово използваното предно окачване в съвременните мотоциклети. Въпреки безспорните си предимствата като простота на конструкцията, ниска цена и лесна поддръжка, предното окачване от този тип има съществени недостатъци. На основа на неговите характеристики, окачването на мотоциклета играе важна роля за подобряване на сцеплението и устойчивостта на мотоциклета както при праволинейно движение, така и при движение в завой. Многограменното окачване Multilink намира все по-широко приложение в автомобилите и е обект на задълбочени кинематични и динамични изследвания както на вече съществуващи конструкции, така и на разнообразие от кинематични схеми.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

От направения литературен анализ и изводите от него се вижда, че конструктивните параметри на лостовия механизъм на окачването на предното колело на мотоциклета влияят съществено върху параметрите на движението му.

Ролята, значимостта и мястото, което мотоциклетите заемат като вид транспорт в съвременния живот на хората непрекъснато расте. Факт е и, че характеристиките на предното окачване определят редица важни експлоатационни свойства на мотоциклета като средство за придвижване, което го прави интересен обект за изследване и извършване на подобрения. Това дава основание да се дефинира целта на настоящия дисертационен труд, а именно:

Проектиране и изработване на оригинално, функционално многозвенно окачване MULTILINK като предно окачване на мотоциклет и определяне на неговите свойства в режим на спиране.

За постигане на целта са поставени за решение следните задачи:

1. Определяне на влиянието на геометричните размери на предното окачване на мотоциклет и тяхната промяна при деформация на окачването върху устойчивостта на движение;

2. Проектиране на многораменно предно окачване MULTILINK на мотоциклет, създаване на пространствен (3D) модел и анализ;

3. Изработване на многораменно предно окачване MULTILINK на мотоциклет;

4. Провеждане на пътно изпитване на мотоциклет с многораменно предно окачване MULTILINK и анализ на резултатите.

Научна новост

В настоящата работа, съгласно поставената цел е проектиран и изработен оригинален функционален модел на предно многораменно окачване. Това дава възможност:

- Да се проведе пътен експеримент, чрез който да се определи поведението на окачването при спиране, изменението на геометричните размери на мотоциклета, свойствата на окачването против „гмуркане“. На база на тези резултати може да се даде оценка за възможностите и приложението на разработеното окачване, да се направят оптимизации с цел подобряване на конструкцията и поведението му.

В настоящия дисертационен труд е представена експериментална методика за изследване на поведението на различен тип окачване на мотоциклет при спиране, измерване на деформациите в окачването и ускорението на мотоциклета. Изменението на ъгъла на надлъжен наклон на кормилната ос, рамото на стабилизация, нормалното рамо на стабилизация, надлъжната база на мотоциклета и нормалното натоварване на ходовите колела са определени числено.

Практическа приложимост

На база на извършените в дисертационния труд теоретично и експериментално изследване, са направени следните изводи относно предимствата и недостатъците на многораменното предно окачване MULTILINK на мотоциклет:

Предимства на многораменното предно окачване MULTILINK на мотоциклет:

1. Разделяне на функциите на окачване и управление;

2. Възможност за предварително определяне на траекторията на центъра на контактното петно в зависимост от хода чрез промяна на разположението и дължината на лостовете;

3. При спиране надлъжният наклон („гмуркането“) на мотоциклета с предно многораменно окачване MULTILINK е около 50 % по-малък отколкото при стандартното окачване с телескопична вилка;

4. Деформацията на предното окачване е значително по-малка при многораменното окачване MULTILINK, отколкото при окачването с телескопична вилка;

5. Рамото на стабилизация запазва размера си при целия ход на колелото.
6. По-добро спиране. По-малко енергия от спирачките не се губи за свиване на окачването и се използва за чисто спиране.
7. По-добра стабилизация на предното ходово колело при спиране.

Недостатъци на многораменното предно окачване MULTILINK на мотоциклет:

1. Усложняване на конструкцията, наличие на много елементи, по-сложна изработка и изисквания към точността на отделните детайли;
2. Увеличаване на неподресорените маси, което може да се компенсира с използването на по-леки материали;
3. Хлабини в лагери и шарнири;
4. По-малък ход на окачването;
5. По-трудно за компановане.

Апробация

Всички части от дисертацията са докладвани на научни конференции с международно участие или са получили одобрение от рецензенти в областта на автомобилната техника преди тяхното публикуване в (индексирани в Scopus/Web of Science) научни списания. Резултатите са получили и положителна оценка от рецензенти в отчет по договор (в помощ на докторанти) № № 192ПД0001-04 към НИС на ТУ-София

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в общо пет научни статии. Едната от тях е на български език, а останалите са на английски език. Една от тях е самостоятелна, а останалите са разработени в колектив с научните ръководители по дисертацията.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 144 страници, като включва увод, 4 глави, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията, декларация за оригиналност и използвана литература. Цитирани са общо 59 литературни източници, като 41 са на латиница и 11 на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо 89 фигури и 4 таблици. Номерата на фигурите, таблиците и формулите в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1.8. Анализ на конструкцията на мотоциклетното предно окачване

Според конструкцията, мотоциклетното предно окачване може да се раздели на три основни групи – с телескопична вилка, лостово и с централна

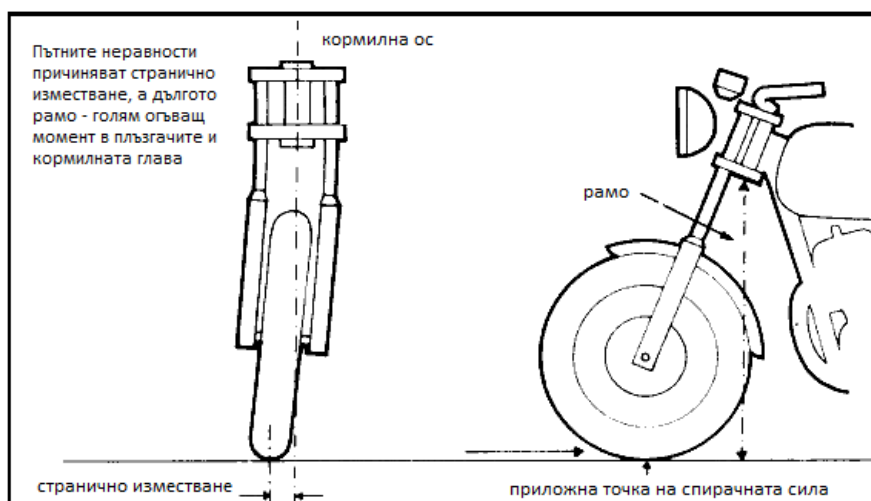
управляваща главина. Разгледани са техните предимства, недостатъци и основни конструктивни особености.

1.8.1. Окачване с телескопична вилка

Окачването с телескопична вилка е най-широко разпространеното и използвано предно окачване за мотоциклет. Разновидности на телескопичната вилка са представени в [45]. Телескопичната вилка се състои от две тръби – подвижна и неподвижна. Движението между тях се осъществява посредством направляващите втулки.

Въпреки предимствата си като простота на конструкцията, ниска цена и лесна поддръжка, предното окачване от този тип има редица недостатъци. Някои от основните инженерни проблеми, присъщи на телескопичните вилки са:

- когато вилката е напълно отпусната, има минимално припокриване на плъзгачите;
- плъзгачите могат да се движат независимо един от друг;
- в режим на спиране се получава намаляване на геометричните параметри на мотоциклета като рамото на стабилизация, ъгъла на надлъжен наклон на вилката, надлъжната база на мотоциклета. Окачването има повишена склонност към „гмуркане“;
- поради надлъжния наклон, във вилката се получават огъващи натоварвания в статичен режим, което поражда статично триене. В резултат на него се затруднява реакцията на окачването при преминаване през малки неравности [20];
- тъй като при свиване на окачването ходовото колело се измества диагонално назад, е необходимо да му се осигури достатъчно пространство, за да не влезе в контакт с двигателя.



Фиг. 1.11. Недостатъци на окачването с телескопичната вилка [20]

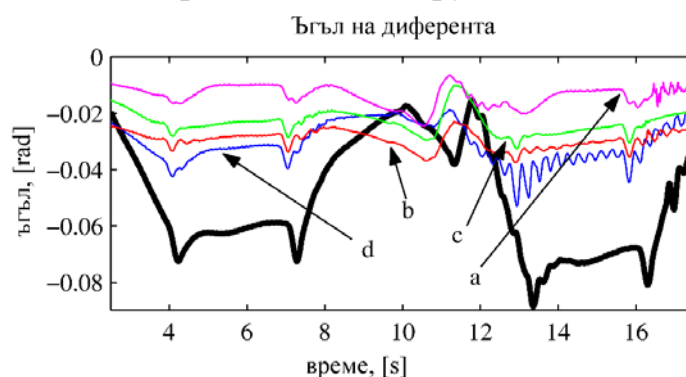
Поради странично огъване във вилката, контактното петно между гумата и пътя се измества странично спрямо кормилната ос (фиг.1.11). Това предизвиква нежелани колебания в гумата, които могат да достигнат резонансни честоти, причиняващи т.н. “шими ефект“, съпроводен от невъзможност за управление от страна на водача и често тежки последици.

Вторият опасен недостатък на окачването с телескопична вилка е силата, упражнена върху кормилната глава на мотоциклета по време на спиране. Това налага използването на по-голяма и тежка рама. Тези недостатъците се увеличават експоненциално, тъй като мотоциклетите стават по-тежки и по-бързи.

1.9. Сравнение на характеристиките на различните типове предно окачване на мотоциклет

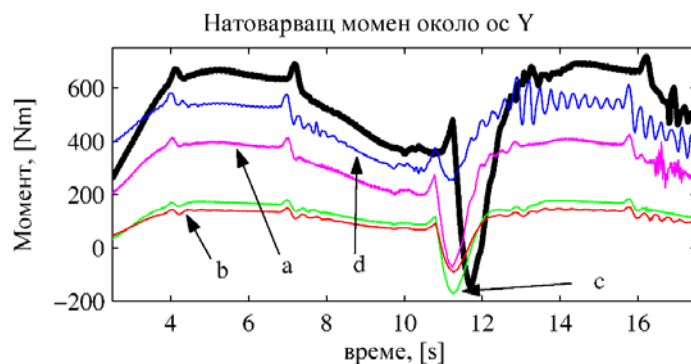
Сравнение на характеристиките на различни типове предно окачване на мотоциклет са представени в [30]. Проведени са кинематични и динамични симулации на различни типове окачвания – с централна управляваща главина и с двураменно окачване. За да се валидират резултатите, са проведени различни симулации на ситуации, близки до реалните условия на движение.

Съпротивлението на различните окачвания против „гмуркане“ е представено на фиг. 1.31. Забелязва се значителното превъзходство на алтернативните окачвания пред модела, оборудван с телескопична вилка.



Фиг. 1.31. Симулационни резултати [30]: a – окачване на Hossack; b – окачване с централна управляваща главина тип Vimota Tesi; c – окачване тип Radd, използвано в мотоциклет Yamaha GTS1000; d – окачване с централна управляваща главина с директна връзка към ръкохватките, използвано от френския състезателен екип Atomo; плътна, черна линия – с телескопична вилка.

Като цяло, окачванията показват сходни резултати. При окачването тип Hossack се постига най-малък диферент, следователно и съпротивлението против „гмуркане“ е най-добро. Пътните реакции се предават чрез окачването на рамата. Като резултат възниква огъващ момент около страничната ос на рамата на мотоциклета. При използване на алтернативна конструкция окачване този момент е със значително по-малки пикове в сравнение с окачване с телескопична вилка (фиг. 1.32).



Фиг. 1.32. Симулационни резултати [30]: a – окачване на Hossack; b – окачване с централна управляваща главина тип Vimota Tesi; c – окачване тип Radd, използвано в мотоциклет Yamaha GTS1000; d – окачване с централна управляваща главина с директна връзка към ръкохватките, използвано от френския състезателен екип Atomo; плътна, черна линия – с телескопична вилка

Всяка от разгледаните конструкции притежава предимства и недостатъци. Изборът на кинематична схема е с неизбежно свързан с редица компромиси – по отношение на стойността на неподресорените маси, сложността на конструкцията, устойчивостта на движението и управляемостта на мотоциклета.

1.10. Изводи от прегледа на теоретични и експериментални изследвания

От направения литературен преглед на теоретични и експериментални изследвания, свързани с различни конструкции предно окачване на мотоциклета, могат да се направят следните изводи:

1. Окачването с телескопична вилка все още остава най-масовият тип предно окачване за мотоциклет, въпреки своите недостатъци. Анализиранияте изследвания и разработки не са решили фундаментално всички проблеми на предното окачване с телескопична вилка.
2. При използване на многолостово предно окачване на мотоциклета траекторията, която описва предното ходово колело при хода си, е криволинейна.
3. Основните геометрични параметри на мотоциклет с многолостово предно окачване се променят при ход на ходовото колело значително по-малко в сравнение с тези на мотоциклет с окачване с телескопична вилка. По този начин се постига по-голяма устойчивост на мотоциклета.
4. При използване на многолостово предно окачване се постига по-голямо съпротивление против „гмуркане“ при спиране на мотоциклета.

ГЛАВА 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА МОТОЦИКЛЕТ С ПРЕДНО ОКАЧВАНЕ С ТЕЛЕСКОПИЧНА ВИЛКА В РЕЖИМ НА СПИРАНЕ

2.1. Методика за провеждане на експеримента

Проведени са серия от експерименти в градски условия върху хоризонтален участък със суха асфалтобетонна настилка в контролирана и

обезопасена среда. По време на експеримента се измерват преместванията в предното и задното окачване, надлъжното и вертикалното ускорения. По числен път са определени ъгълът на диферента, преразпределението на нормалното натоварване на предното и задното ходово колело и промяната на геометричните параметри на мотоциклета. Целта на изследването е да се определи деформацията в окачването при три различни режими на спиране – само с предна, само със задна и едновременно с двете спирачки. По този начин може да се оцени склонността на мотоциклета към „гмуркане“. За да се постигне целта на изследването е необходимо да се изпълнят следните задачи:

1. Плавно потегляне на мотоциклета, ускорение до избраната начална скорост, от която започва спирането и спиране на мотоциклета с използване само на предната спирачка, само на задната и двете едновременно.

2. Да се определят преместването в предното и задно окачване. Необходимо е използването на възприематели за преместване.

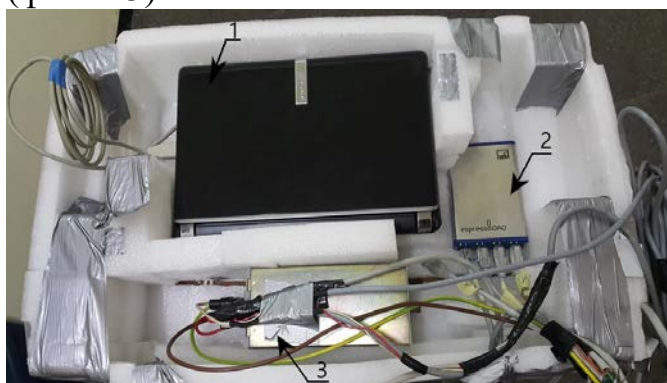
3. Определяне на хоризонталното ускорение на МЦ на мотоциклета чрез използване на акселерометър.

4. Използване на устройство за събиране и преобразуване на данни, чрез които измерванията да бъдат записани на преносим компютър.

5. Обработка на резултати и анализ.

2.2. Измервателна апаратура

За измерване на деформацията на окачването са използвани два индуктивни възприемателя за линейно преместване НВМ тип WA-L с номинален диапазон 0-300 *mm* с вграден усилвател, с които разполага катедра „ДАТТ“ към Факултета по транспорта при Технически университет-София. Възприемателите работят с входно напрежение 12 V, осигурено от външни батерии, а изходният сигнал е в диапазона 0,5-10 V. Реализираното спирачно закъснение (отрицателно ускорение) се регистрира с помощта на триосен акселерометър MEAS 4030 с обхват $\pm 2g$. Възприемателите са свързани към четириканален НВМ DAQ401 и чрез него осцилограмите се записват на преносим компютър (фиг. 2.3).



Фиг. 2.3. Измервателна система: 1 – лаптоп, 2 – DAQ устройство, 3 – батерия

2.2.1. Определяне на разположението на възприемателите

Възприемателят, отчитащ преместването на предното окачване, е монтиран успоредно на телескопичната вилка с помощта на скоби и планки (фиг. 2.1, позиция 1, фиг. 2.2 а). Той трябва да бъде монтиран по такъв начин,

че да не затруднява както на маневрирането, така и достъпа на водача до органите за управление (съединител или спирачка). Необходимо е също така да се осигури съсност между цилиндричното тяло и буталото, за да се предотврати изкривяването на последното или заклиняването. Възприемателят за отчитане на преместването на задното окачване е монтиран вертикално върху оста на задното ходово колело посредством еластични планки (фиг. 2.1, позиция 3, фиг. 2.2 в). Акселерометърът е монтиран в хоризонтално положение върху резервоара (фиг. 2.2 б). Препоръчително е при възможност да се монтира максимално близо до масовия център.

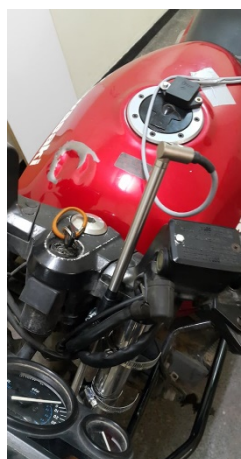
Регистриращата апаратура е поместена в кутия, фиксирана за задната част на седалката. Необходимо е да се осигурят отвори за охлаждане, за да не се допусне прегриване.



Фиг. 2.1. Мотоциклет Кавасаки, оборудван с измервателна апаратура



а



б



в

Фиг. 2.2. Монтиране на възприемателите

2.3. План за провеждане на експеримента

Измерванията се извършват на прав хоризонтален пътен участък с гладка, суха асфалтобетонна настилка в контролирана среда. За да се решат поставените задачи, са извършени серия от експерименти, включващи спиране с предна, със задна или с двете спирачки едновременно от началната скорост 11,11 m/s до пълното спиране. Пътното изпитване се провежда с мотоциклет,

който фабрично не е оборудван с ABS (антиблокираща спирачна система), затова спирачните закъснения, реализирани от водача, не са максималните възможни, поради съображението му да не достигне границата на сцепление, блокиране на ходовите колела и пътнотранспортно произшествие. Проведени са по минимум четири изпитвания за спиране със съответната спирачка в двете посоки на тестовия участък. Непосредствено преди всяко потегляне показанията на измервателната апаратура се нулират. Измерването и записът на данни започват, когато мотоциклетът е неподвижен с включена първа предавка. Мотоциклетът се ускорява до указаната скорост и веднага след това започва спиране до покой. Записът на регистриращата апаратура се спира няколко секунди след като мотоциклетът е спрял. Получените експериментални данни се записват, апаратурата се нулира и експериментът се повтаря.

Температурата на околната среда, при която са проведени експериментите, е 30 °С.

2.5. Обработка на резултатите, получени при пътното изпитване, проведено на мотоциклет, оборудван с предно окачване с телескопична вилка

При спиране, в допълнение към статичното нормално натоварване, предното окачване е подложено на две допълнителни сили: предната спирачна сила и преразпределението на теглото, генерирано от общата спирачна сила.

$$N_1 = mg \frac{b}{p} + m\ddot{x} \frac{h}{p}; N_2 = mg \frac{(p-b)}{p} - m\ddot{x} \frac{h}{p} \quad (2.1)$$

От уравненията за динамичните реакции в колелата се вижда, че преразпределението на натоварването е пропорционално на общата спирачна сила и вертикалната координата на масовия център и обратно пропорционално на надлъжната база на мотоциклетата.

Изменението на наклона на кормилната ос се определя [12]:

$$\varepsilon_0 = \text{atan} \left(\frac{p \sin \varepsilon + \Delta s}{p \cos \varepsilon} \right), \quad (2.2)$$

където Δs е свиването в предното окачване;

p – надлъжната база на мотоциклетата;

ε – ъгълът на надлъжен наклон на вилката.

Рамото и нормалното рамо на стабилизация се определят съответно по следните зависимости [12]:

$$t_0 = \left(\frac{R_1 \sin \varepsilon_0 - d}{\cos \varepsilon_0} \right) \quad (2.3)$$

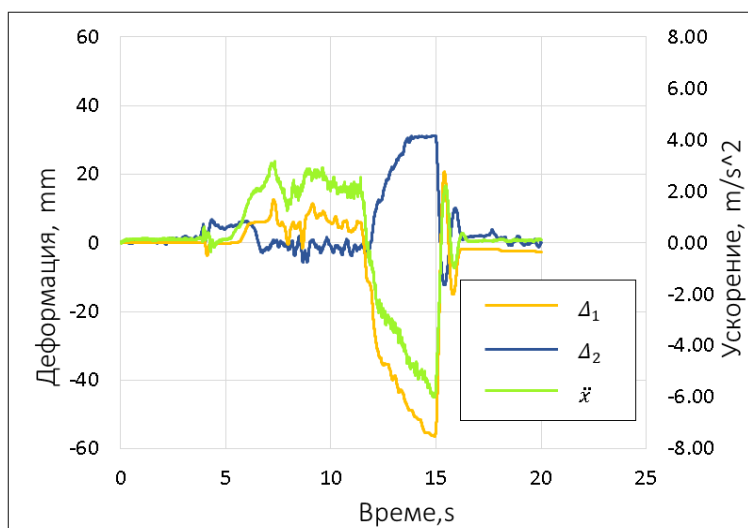
$$t_n = t_0 \cos \varepsilon_0 \quad (2.4)$$

В модела са направени следните допускания:

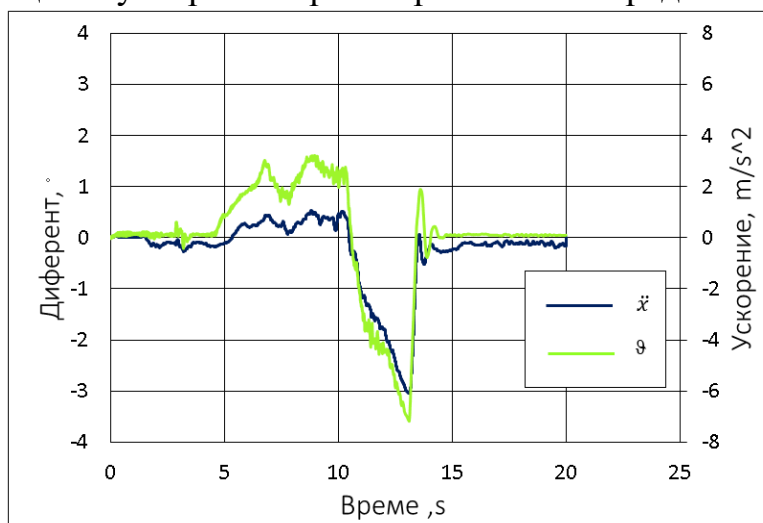
1. Силата на съпротивление при търкаляне и силата на въздушно съпротивление са пренебрегнати;
2. Местоположението на масовия център не се променя;
3. При изчисляване на изменението на наклона на кормилната ос се пренебрегва деформацията на задното окачване.

Резултатите са обработени в среда на MatLAB®.

На фиг. 2.4 и 2.5 са представени експерименталните резултати, получени от възприемателите за преместване в предното и в задното окачване при спиране само с предна спирачка. С Δ_1 и Δ_2 са означение съответно деформациите в предното и задно окачване на изпитвания мотоциклет. Спирането започва малко след 10 s, където линията на ускорението \ddot{x} пресича абсцисната ос и ускорението става отрицателно (спирачно закъснение). Забелязва се, че характерът на изменение на деформацията на предното окачване е пропорционален на ускорението – при ускоряване на мотоциклета до избраната скорост, от която започва спирането, се забелязва леко отпускане на предното окачване, а при нарастване на спирачното закъснение, поради разтоварването на задното ходово колело и донатоварването на предното ходово колело се наблюдава свиване. За задното окачване тенденцията е противоположна. Максималната стойност на свиването на предното окачване е малко над 56 mm при реализирано спирачно закъснение близо 6 m/s^2 . Максималната стойност на ъгъла на диферента е 3,01°. Характерът на изменение на диферента също е в правопрпорционална зависимост от ускорението на мотоциклета.



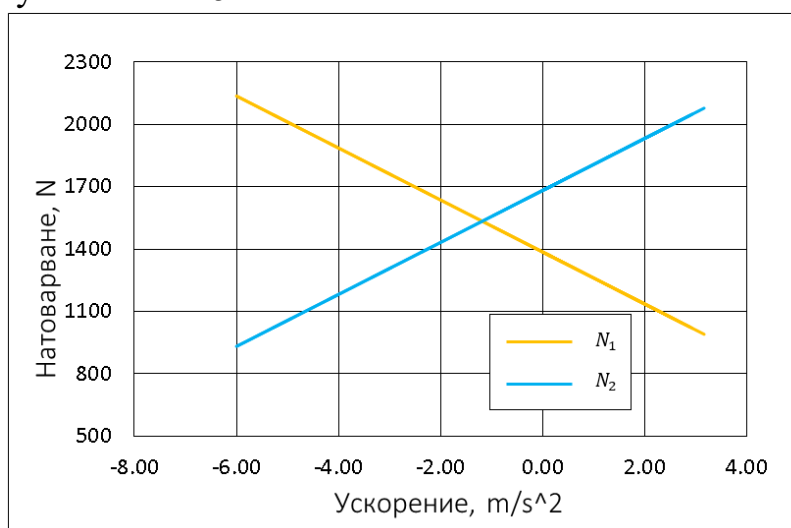
Фиг. 2.4. Деформация и ускорение при спиране само с предната спирачка



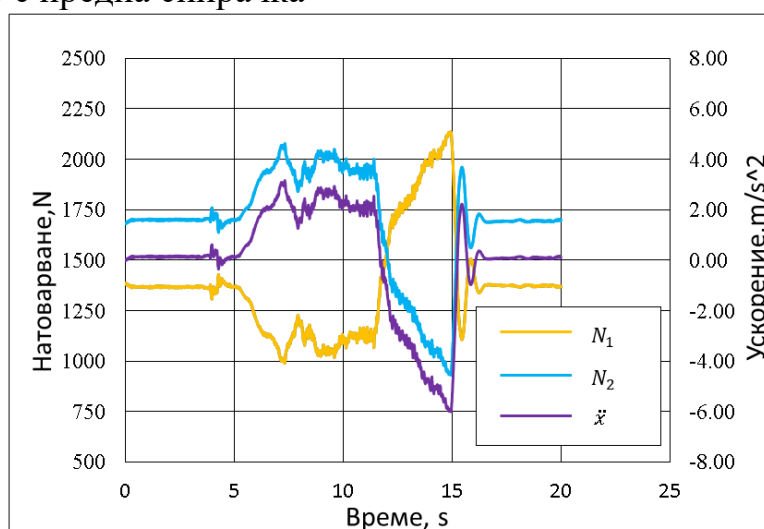
Фиг. 2.5. Ъгъл на диферента и ускорение при спиране само с предна спирачка

Тъй, като траекторията, която описва предното ходово колело при свиване на предното окачване с телескопична вилка е диагонално назад, промяната на геометричните характеристики на мотоциклета има линеен характер.

Изменението на натоварването на предното и задното ходово колело при провеждане на пътния експеримент при спиране с използване само на предната спирачка е представена на фиг. 2.6 и 2.7. С N_1 е означено нормалното натоварване върху предното ходово колело, с N_2 – нормалното натоварване на задното ходово колело, с \ddot{x} – ускорението. Преразпределението на нормалното натоварване на предното ходово колело е пропорционално на приложената спирачна сила, а естеството на изменение на нормалното натоварване на задното ходово колело е обратно пропорционално. При достигне на максималното спирачно закъснение нормалното натоварване на предното ходово колело се увеличава с 54%.



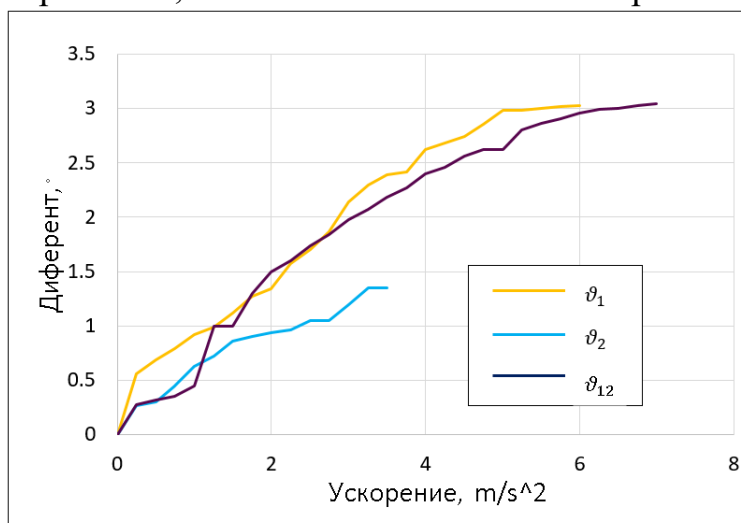
Преразпределение на нормалното натоварване във функция от ускорението при спиране само с предна спирачка



Фиг. 2.7. Преразпределение на нормалното натоварване и спирачното закъснение във функция от времето при спиране само с предна спирачка

На фиг. 2.22 е представено изменението на ъгъла на диферента за различните режими на спиране като функция от спирачното закъснение,

съответно с ϑ_1 – при спиране само с предната спирачка, ϑ_2 – само със задната, ϑ_{12} – с двете заедно. Забелязва се, че зависимостта е линейна и за трите режима и с увеличаване на спирачното закъснение ъгълът също се увеличава. При използване само на предната спирачка се получава най-голямото завъртане и най-голямото „гмуркане“. Това се дължи на донатоварването на предното ходово колело и разтоварването на задното. При използване само на задната спирачка може да се постигне значително по-малко закъснение и значително по-малко завъртане на подресорените маси. Този тип спиране може да се използва за служебно спиране при ниски скорости или за подготовка за движение в крива, но в повечето случаи е необходимо да се използват и двете спирачки едновременно. При прилагане на спирачна сила и върху двете ходови колела едновременно, се постигат най-големи спирачни закъснения.



Фиг. 2.22. Ъгъл на диферента при различните режими на спиране в зависимост от спирачното закъснение

2.6. Изводи от проведения експеримент

1. Проведено е пътно изпитване на мотоциклет, чрез което са определени ускорението и деформацията на окачването при различни режими на спиране. Изменението на ъгъла на надлъжен наклон на кормилната ос, рамото на стабилизация, нормалното рамо на стабилизация, надлъжната база на мотоциклета и нормалното натоварване на ходовите колела са определени числено.

2. При спиране с двете или само с предната спирачка се постигат приблизително еднакви спирачни закъснения, докато при спиране само със задната спирачка се достига бързо границата на сцепление на задното ходово колело и спирачното закъснение, което се реализира, е значително по-малко.

3. При спиране само със задната спирачка диферентът на мотоциклета е най-малък. Това се дължи на повишеното съпротивление против „гмуркане“, създадено от задното окачване. Само в този режим на спиране се отчита свиване и на задното окачване.

4. При спиране само с предната спирачка ъгълът на надлъжен наклон (диферентът) на мотоциклета е най-голям.

5. При едновременно спиране с двете спирачки мотоциклетът не се „гмурка“ толкова поради гореспоменатите кинематични характеристики на задното окачване.

6. В зоната с високо спирачно закъснение ъгълът на надлъжен наклон при спиране с предните спирачки и с двете спирачки са сходни, тъй като нормалното натоварване и спирачната сила в задното ходово колело намаляват, съответно съпротивлението против „гмуркане“ от задното окачване.

7. При ускоряване на мотоциклета до избраната скорост, от която започва спирането, се забелязва леко увеличение на изследваните параметри. Това се дължи на преразпределението на нормалното натоварване и еластичността на окачването.

8. При спиране само със задната спирачка изменението на геометричните параметри на мотоциклета е най-малко. Това се дължи на факта, че когато се използва само задната спирачка, максималните спирачни закъснения, които могат да бъдат достигнати, са значително по-ниски в сравнение с другите режими на спиране поради бързото достигане на границата на сцепление. В този случай преразпределението на натоварването е най-малко, тъй като то зависи от спирачната сила.

9. При едновременно спиране с двете спирачки се реализира максималното спирачно закъснение. Промяната на стойностите на ъгъла на надлъжен наклон на кормилната ос, рамото на стабилизация и надлъжната база на мотоциклета е най-голяма.

10. Въпреки, че от резултатите, получени при спиране само с предна спирачка, измереното свиване на окачването е най-голямо, преразпределението на нормалното натоварване е по-малко в сравнение с режима на спиране с двете спирачки. Промяната на геометричните параметри е почти еднаква.

11. Резултатите могат да се използват за оценка на характеристиките на окачването на мотоциклета.

12. Получените резултати могат да бъдат използвани в динамични модели, изучаващи поведението на окачването, и за изучаване на поведението на мотоциклета при различни режими на спиране.

13. Получените резултати могат да бъдат използвани за сравнение на влиянието на различни типове предно окачване върху геометричните параметри на мотоциклета при деформация на окачването, а от там и за създаване на динамични модели извън равнината за изследване на устойчивостта на движение.

ГЛАВА 3. ПРОЕКТИРАНЕ НА МНОГОРАМЕННО ПРЕДНО ОКАЧВАНЕ MULTILINK НА МОТОЦИКЛЕТ

1. Избор на тип и кинематика на окачването в зависимост от предназначението, особеностите и компоновката на мотоциклета. То трябва да бъде така подбрано и проектирано, че да се осигури достатъчен ход на

окачването без да се допускат освен при претоварване, минимално изменение на основните геометрични параметри на мотоциклета – надлъжна база, рамо на стабилизация, ъгъл на надлъжен наклон на вилката, малки неподресорени маси, бързо затихване на трептенията;

2. Определяне на местоположението на теоретичните центрове на сферичните шарнири;

3. Определяне на натоварванията в окачването и оразмеряване на елементите;

4. Избор на еластичните и демпфиращи елементи;

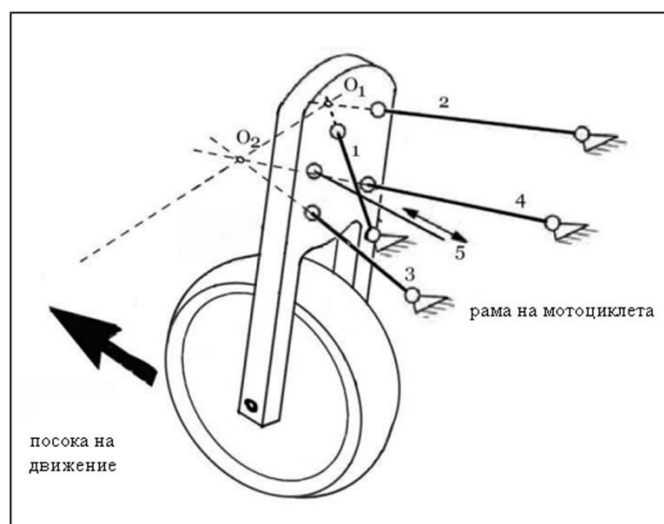
5. Кинематичен анализ на получената схема;

6. Разработване на CAD модел;

7. Изработване на физически модел на окачването.

3.1. Избор на кинематична схема на окачване

На база на предварителното проучване, за кинематичната схема е избрано многораменно окачване. Многораменното окачване е разновидност на независимо окачване с три или повече на брой надлъжни рамена. То е често срещано в автомобилостроенето, предимно за автомобили от висок клас и спортни автомобили.



Фиг. 3.1. Схема на предно многораменно окачване Multilink в най-общ вид

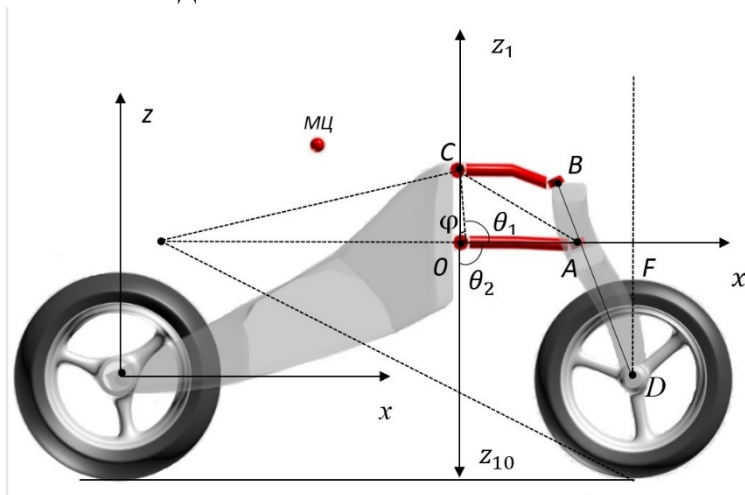
Многораменното окачване може да бъде проектирано с естествени антигмуркащи свойства [22]. Основното свойство е, че точките на монтиране са проектирани по такъв начин, че рамената носят допълнителното динамично натоварване вместо пружината. Когато динамичното натоварване е пренасочено по този начин, няма свиване в пружината, следователно при спиране не възниква гмуркане или диферент. Наличието на геометрия против гмуркане обаче не променя нарастването на динамичното натоварване в контактното петно на гумата [31]. При 100% антигмуркащи свойства, цялото преразпределение на натоварване преминава през рамената на окачването и няма да има „гмуркане“. За произволна геометрия на окачването, свойството против „гмуркане“ няма да бъде постоянно през целия диапазон на ход на окачването. Това се дължи на промяната на координатите на масовия център,

виртуалните точки на въртене на шарнирите на рамената на окачването по време на свиване и отпускане на окачването.

Чрез използването на графичния метод, описан в [26, 28] са определени точките за монтаж на рамената на окачването. По познатия от литературата метод са определени координатите на масовия център на мотоциклета в статично положение.

Теоретичните центрове на сферичните шарнири (фиг. 3.3) са подбрани така, че да не се губи обратната връзка с пътя. Препоръчително е анти гмуркащите свойства на окачването да не превишават 80 % в статично положение. Еластичният и демпфиращ елемент е разположен под ъгъл на наклон 30° спрямо вертикалната ос, като в единия си край е свързан шарнирно с рамата на мотоциклета, а в другия си край – на вертикалната стойка.

Задачата на кинематичния анализ е да се определят параметрите на рамената така, че при деформация в окачването при преодоляване на неравност и в режим на спиране базата на мотоциклета и рамото на стабилизация да се изменят минимално. Фигура 3.4 показва конструктивните параметри на четиризвенника (поглед от страни): дължините на долните и горните рамена l_1 (OA) и l_2 (BC), разстоянията между точките на монтиране на рамената h_1 (CO) от страната на рамата и h_2 (AB) от към вилката и ъгълът между долното рамо и вертикалната равнина в средно положение θ_1 , l_f – дължината на вертикалната стойка (AD) l_d -диагонал (CA). Ъгъл ACB е означен с β , OAC – с α , ACF - ε . С тези пет параметъра се определя напълно кинематиката на механизма. Промяната на който и да е от тях ще повлияе на цялостното поведение на геометричните параметри при хода на окачването. Конфигурациите на тези пет параметъра могат да бъдат изчислени за получаване на различно поведение на окачването.



Фиг.3.4 Параметри на окачването

Кинематичният анализ се извършва при условно неподвижно задно колело, при праволинейно движение (ъгълът на завъртане на кормилото е нула). Изследват се промените на геометричните параметри във функция на хода на окачването. Определя се и свойството против гмуркане. Изчислението се извършва с програмен продукт Матлаб. Въведена е подвижна координатна

система , която е свързана с шарнира на долния лост в т. Oz_1x_1 , която е свързана с шарнира на долния лост в т. O . Уравненията на геометричните ограничения се изразяват в декартовите координати на точките:

$$\begin{aligned}(B_{x1} - C_{x1})^2 - (B_{z1} - C_{z1})^2 &= l_2^2 \\ (A_{x1} - O_{x1})^2 - (A_{z1} - O_{z1})^2 &= l_1^2,\end{aligned}$$

където A, B, C, O са точките на закрепване на рамената.

От фиг.3.4 могат да се определят моментните положения на точките на окачването:

$$\begin{aligned}\cos\theta_1 &= \frac{z_{1o} - z_{1a}}{l_1}; \\ \theta_2 &= \pi - \theta_1; \\ \theta_3 &= \phi + \beta + \alpha; \\ l_d &= \sqrt{h_2^2 + l_1^2 + 2h_2l_1\cos(\theta_2 + \phi)} \\ \sin\alpha &= \frac{l_1}{l_d}\sin(\theta_2 + \phi) \\ h_2 &= \sqrt{l_2^2 + l_d^2 + 2l_2l_d\cos\beta} \\ \cos\beta &= \frac{l_2^2 + l_d^2 - h_1^2}{2l_d l_2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{x1} &= l_1\sin\theta_1; A_{z1} = -l_1\cos\theta_1; \\ C_{x1} &= -h_2\sin\phi; C_{z1} = h_2\cos\phi; \\ B_{x1} &= C_{x1} + l_1\sin\theta_3; B_{z1} = C_{z1} - l_1\cos\theta_3; \\ D_{x1} &= A_{x1} + l_f\sin\varepsilon; D_{z1} = A_{z1} - l_f\cos\varepsilon;\end{aligned}$$

В таблица 3.1 са представени избраните размери за рамената на окачването. При проектирането му са запазени стойностите на рамото на стабилизация, базата на мотоциклета и наклонът на вертикалната стойка еднакви със тези на стандартното окачване.

Таблица 3.1. Параметри на окачването

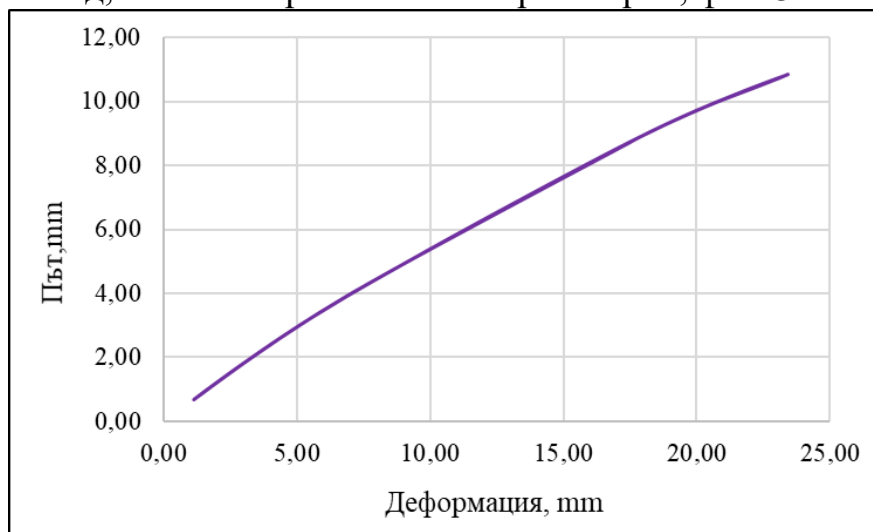
Параметър	Стойност
Дължина на долните рамена, mm	160
Дължина на горните рамена, mm	177
Разстояние между точките на закрепване на долните рамена от страната на рамата, mm	178
Разстояние между точките на закрепване на горните рамена от страната на рамата, mm	200
Разстояние между точките на закрепване на долните рамена за вилката, mm	40
Разстояние между точките на закрепване на горните рамена за вилката, mm	46
Наклон на вертикалната стойка, °	27
Рамо на стабилизация, mm	110

Завъртването на управляемото колело на мотоциклета се осъществява посредством два къси лоста, съединени помежду им шарнирно, долният от

които е шарнирно свързан с вертикалната стойка, а горният – с долния трипътник, подобно на управлението при окачването тип „Duolever“. При проектирането му са запазени стойностите на рамото на стабилизация, базата на мотоциклета и наклонът на вертикалната стойка еднакви с тези на стандартното окачване.

3.2. Разработване на CAD модел

Проведено е симулационно изследване в средата на SolidWorks® (*motion study*), за да се изследват характеристиките на окачването и движението на определени елементи. В контактното петно е приложена сила, която имитира входно смущение. Зададени са връзките между отделните компоненти на окачването. На еластичния елемент е зададена еластичната константа, която отговаря на реалната на използваната пружина. За разлика от окачването с телескопична стойка, тук центърът на ходовото колело не се движи диагонално назад, а описва криволинейна траектория, фиг. 3.11.



Фиг. 3.11. Траектория, която описва центърът на ходовото колело при деформация на окачването

3.4. Изработване на физически модел на многораменно окачване MULTILINK като предно окачване на мотоциклет

Едно от основните изисквания при изработване на окачването беше минималната му себестойност. С изключение на еластичния и демфиращ елемент, една от основните цели за изработването му бяха минимални разходи на материали за на окачването, технологичните процеси и обработки. Използвани са максимално рециклирани материали, налични в катедрата.

Поради изменението на мястото на разполагане на скобите на спирачните механизми, стандартните спирачни маркучи се оказаха с недостатъчна дължина. Този проблем бе решен чрез смяната им с нови, които бяха специално изработени за настоящото окачване (фиг. 3.23).



Фиг. 3.23. Сглобен прототип на многораменно предно окачване на мотоциклет, изглед отляво

Друг проблем, неизбежно свързан с компоновката на новото окачване, беше необходимостта от промяна в охладителната система на мотоциклета. Стандартно той е оборудван с два радиатора, въздушно-маслен охладител на маслото и втори радиатор за охладителна система, разположени един под друг. Поради разположението на рамената на окачването и комплекта амортизатор с пружина, се наложи преместването на водния радиатор надолу спрямо стандартното разположение, а масленият радиатор е преместен зад него. За захващането им бяха направени допълнителни планки. Наложиха се презапояване на проводниците, които управляват вентилатора, и използването на хидравлични маркучи с по-голяма дължина.



Фиг. 3.24. Сглобен прототип на многораменно предно окачване на мотоциклет, изглед отдясно

ГЛАВА 4. ПЪТНО ИЗПИТВАНЕ НА МОТОЦИКЛЕТ С ПРЕДНО МНОГОЗВЕННО РАМЕННО ОКАЧВАНЕ MULTILINK В РЕЖИМ НА СПИРАНЕ

За да се направи оценка на проектираното многораменно окачване, са проведени пътни изпитвания на мотоциклета с предното многораменно окачване MULTILINK в режим на спиране.

4.1. Методика за провеждане на изпитването

Проведени са серия от пътни изпитвания върху хоризонтален участък със суха асфалтобетонна настилка в контролирана и безопасна среда. По време на експеримента се измерват преместванията в предното и задното окачване, надлъжното и вертикалното ускорения. По числен метод са определени ъгълът на диферента, преразпределението на нормалното натоварване на предното и задното ходово колело и промяната на геометричните параметри на мотоциклета. Целта на изследването е да се определи деформацията в окачването при спиране. По този начин може да се оцени склонността на окачването към „гмуркане“. За да се постигне целта на изследването е необходимо да се изпълнят следните задачи:

1. Плавно потегляне на мотоциклета, ускорение до избраната начална скорост, от която започва спирането и спиране на мотоциклета до покой.
2. Да се определят деформациите в предното и задно окачване. Необходимо е използването на възприематели за преместване.
3. Определяне на хоризонталното ускорение на масовия център на мотоциклета чрез използване на акселерометър.
4. Използване на устройство за събиране и преобразуване на данни, чрез които измерванията да бъдат записани на преносим компютър.
5. Обработка на резултати и анализ.

4.2. Измервателна апаратура

За измерване на преместването в окачването са използвани същите индуктивни възприематели за линейно преместване НВМ тип WA-L с номинален диапазон 0-300 mm с вграден усилвател, с които разполага катедра „ДАТТ“. Постигнатото спиращо закъснение (отрицателно ускорение) се записва с помощта на триосен акселерометър MEAS 4030 с обхват $\pm 2g$. Възприемателите са свързани към четириканално НВМ DAQ401 устройство за събиране и преобразуване на данни и чрез него осцилограмите се записват на преносим компютър.

4.2.1. Определяне на разположението на възприемателите

Пътните изпитвания на мотоциклет с предното многозвенно раменно окачване MULTILINK в режим на спиране са проведени със същите възприематели, които са използвани за мотоциклета, оборудван с предно окачване с телескопична вилка в глава втора.

За да се регистрира деформацията, която възниква в предното окачване при спиране на мотоциклета, възприемателят за преместване трябва да бъде разположен по такъв начин, че да не възпрепятства маневрирането, а също така и достъпа на водача до органите за управление (съединител или спиращка). Необходимо е също така да се осигури съосност между цилиндричното тяло и буталото, за да не се допусне изкривяване или заклиняване на последното. Най-подходящият вариант при тази конструкция е

той да бъде поставен успоредно на вертикалната стойка с помощта на скоби и планки (фиг. 4.2, позиция 1, фиг. 4.3 а). Възприемателят за отчитане на преместването в задното окачване е поставен вертикално върху оста на колелото посредством еластични планки без изменение (фиг. 4.2, позиция 3, фиг. 4.3 б). Акселерометърът е поставен в хоризонтално положение върху резервоара, в максимална близост до масовия център (фиг. 4.1, позиция 2) без изменение в мястото и начина на монтиране..



Фиг. 4.2. Мотоциклет Кавасаки, оборудван с многолостово окачване и измервателна апаратура



a



б

Фиг. 4.3. Монтиране на възприемателите
4.3. План на провеждане на експеримента

Тъй като проектираното окачване е ново и в процес на изследване, от съображение за сигурност експериментът е проведен с използване само на предната спирачка. Също така началната скорост, от която започва спирането, е редуцирана. Това не оказва влияние върху резултатите защото, както е известно от теорията на автомобила, максималното спирачно закъснение не е функция на скоростта на движение, а зависи от реализираната спирачна сила и коефициента на сцепление. За да се определят експериментално деформациите на предното и задното окачване, а също и диферентът, са проведени серия от експерименти при спиране с използване на предна спирачка от началната скорост от около 5,71 m/s (20 km/h) до пълното спиране.

Проведени са първо 4 изпитвания без да се включва апаратурата, а след това минимум пет изпитвания за спиране само с предната спирачка. Тъй като мотоциклетът не е оборудван с ABS (антиблокираща спирачна система), поради съображението на водача да не се достигне границата на сцепление, блокиране на колелата и пътнотранспортно произшествие, спирането е работно с плавно натискане на спирачката (плавно нарастване на спирачната сила).

Експериментите са извършени на хоризонтален участък от гладка, суха асфалтова настилка и в двете посоки. Непосредствено преди всяко потегляне показанията се нулират. Измервателната апаратура се стартира когато мотоциклетът е в покой с включена първа предавка. Мотоциклетът се ускорява до указаната скорост и веднага след това започва спиране до пълен покой. Регистриращата апаратура се спира няколко секунди по-късно и експериментът се повтаря.

Средната продължителност на всеки експеримент от включване до изключване на апаратурата е около 20 s. При някои от тях спираното колело блокира.

Температурата на околната среда, при която е проведено изпитването, е 5 °C.

4.4. Обработка на резултатите, получени при пътното изпитване, проведено с мотоциклет, оборудван с многозвенно раменно предно окачване MULTILINK

Преразпределението на натоварването е изчислено по метода, използван в глава втора (формула 2.1).

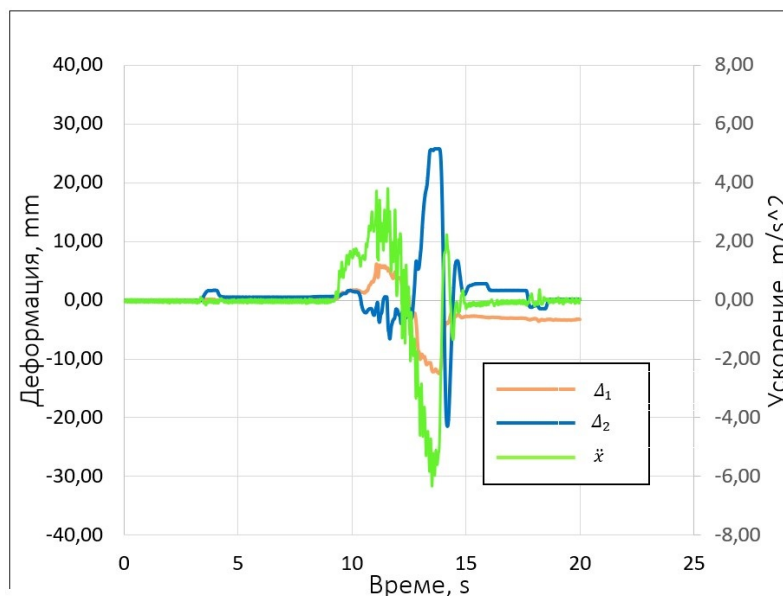
В модела са направени следните допускания:

1. Силата на съпротивление при търкаляне и силата на въздушно съпротивление са пренебрегнати;
2. Местоположението на масовия център не се променя;
3. При изчисляване на изменението на наклона на кормилната ос се пренебрегва деформацията на задното окачване.
4. Резултатите са обработени в среда на MatLAB®.

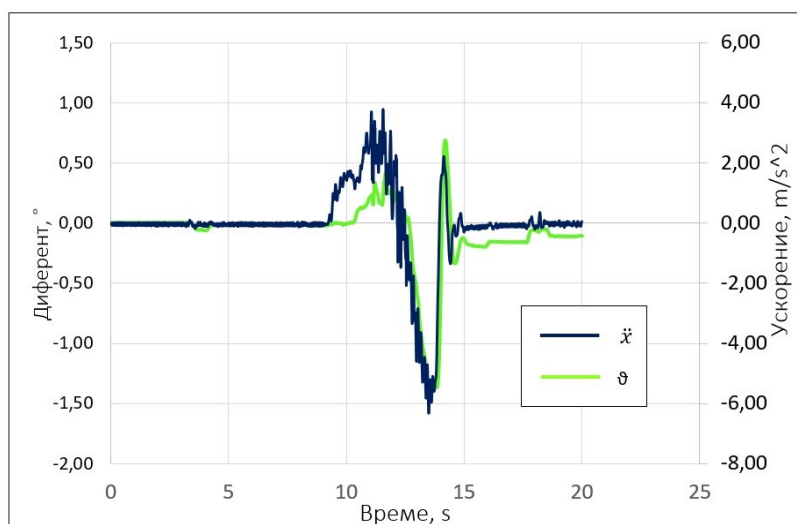
На фиг. 4.4 са представени експерименталните резултати, получени от възприемателите за преместване в предното и в задното окачване при спиране само с предна спирачка. Деформацията в предното окачване е означена с Δ_1 ,

а в задното с Δ_2 . Спирането започва малко след осмата секунда, където линията на ускорението \ddot{x} пресича абсцисната ос и ускорението става отрицателно (спирачно закъснение). Забелязва се, че изменението на деформацията на предното окачване е пропорционално на отрицателното ускорение – при ускоряване на мотоциклета до избраната скорост, от която започва спирането, се забелязва леко отпускане на предното окачване, а при нарастване на спирачното закъснение, поради разтоварването на задното ходово колело и донатоварването на предното ходово колело, се наблюдава свиване. За задното окачване тенденцията е противоположна. Максималната стойност на свиването в предното окачване е малко над 12 mm , отчетено при реализиране на спирачно закъснение \ddot{x} около 6 m/s^2 .

Имайки получените деформации на предното и задното окачване, числено е определен ъгълът, на който се завъртат подресорените маси на мотоциклета. Максималната отчетена стойност на диферента при спиране с проектираното многораменно окачване е $1,37^\circ$ (фиг. 4.5). Характерът на изменение на диферента е в правопрпорционална зависимост от ускорението на мотоциклета.

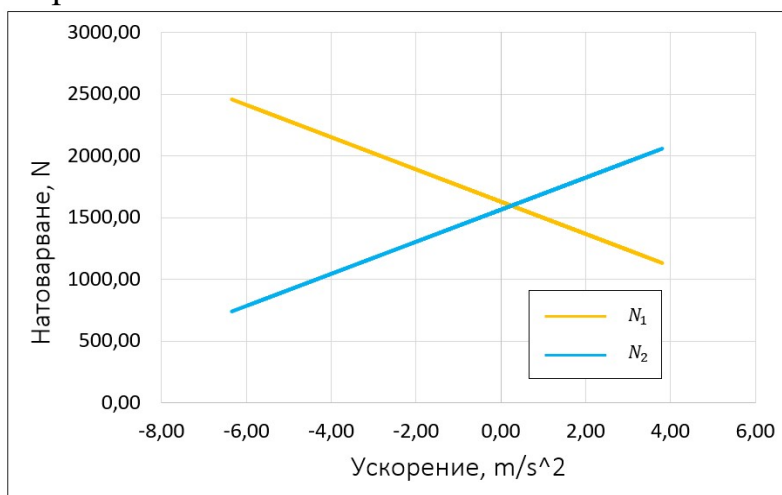


Фиг. 4.4. Деформация на окачването и ускорение при спиране само с предната спирачка

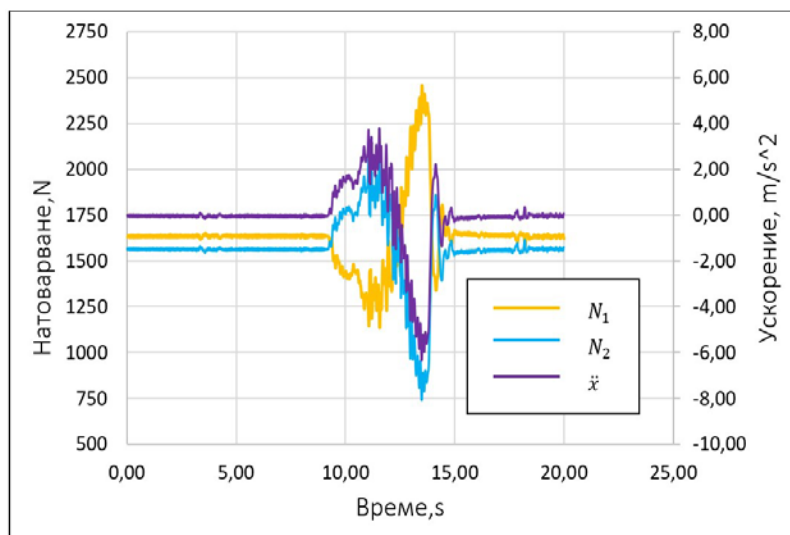


Фиг. 4.5. Диферент и ускорение на мотоциклета

Изменението на натоварването на предното и задното ходово колело при провеждане на пътното изпитване при спиране с използване само на предната спирачка е представена на фиг. 4.6 и 4.7. С N_1 е означено нормалното натоварване върху предното ходово колело, с N_2 – нормалното натоварване на задното ходово колело, с \ddot{x} – ускорението. Преразпределението на нормалното натоварване на предното ходово колело е пропорционално на приложената спирачна сила, а естеството на изменение на нормалното натоварване на задното ходово колело е обратно пропорционално. При достигне на максималното спирачно закъснение нормалното натоварване на предното ходово колело нараства с 58 %.



Фиг. 4.6. Преразпределение на нормалното натоварване във функция от ускорението при спиране само с предна спирачка



Фиг. 4.7. Преразпределение на нормалното натоварване и спирачното закъснение във функция от времето при спиране само с предна спирачка

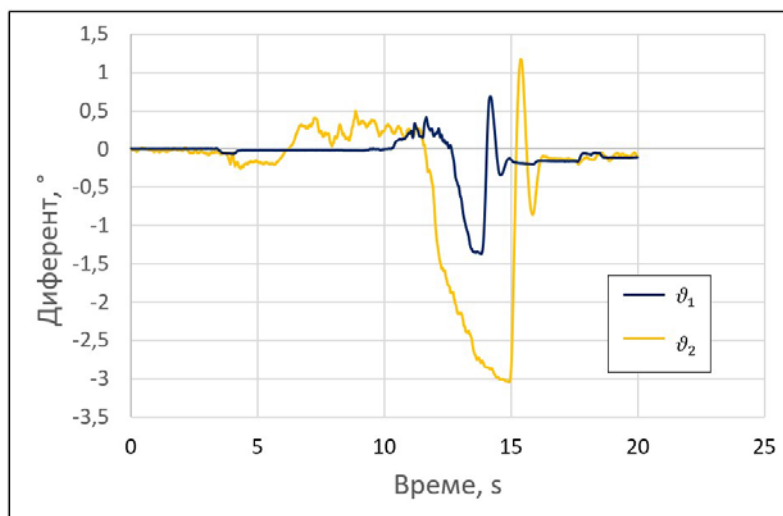
4.5. Изводи от проведеното пътно изпитване

1. Проведено е пътно изпитване на мотоциклета, оборудван с многораменно предно окачване MULTILINK, при което са измерени ускорението на мотоциклета и промените в окачването при спиране с използване само на предната спирачка. Както бе доказано в Глава 2, при този начин на спиране надлъжното завъртане на подресорените маси е най-голямо.
2. Изменението на ъгъла на надлъжен наклон на кормилната ос, рамото на стабилизация, нормалното рамо на стабилизация, надлъжната база на мотоциклета и нормалното натоварване на ходовите колела са определени числено.
3. При ускоряване на мотоциклета до избраната скорост, от която започва спирането, се забелязва леко увеличение на изследваните параметри. Това се дължи на преразпределението на натоварването и еластичността на окачването.
4. При спиране рамото на стабилизация, нормално рамо на стабилизация, ъгълът на надлъжен наклон на кормилната ос, надлъжната база на мотоциклета остават почти без изменение. Това се дължи на заложеното при проектирането на окачването съпротивление против „гмуркане“.
5. Получените резултати могат да бъдат използвани в динамични модели, изучаващи поведението на окачването, и за изучаване на поведението на мотоциклета при спиране.
6. Получените резултати могат да бъдат използвани за сравнение на влиянието на различни типове предно окачване върху геометричните параметри на мотоциклета при деформация на окачването, а от там и за създаване на динамични модели извън равнината за изследване на устойчивостта на движение.
7. На база на получените резултати може да се направи оптимизация на окачването.

4.6. Сравнение на резултатите, получени от пътните изпитвания с окачване с телескопична вилка и с многораменно предно окачване MULTILINK

За да се направи реална оценка на проектираното многораменно предно окачване MULTILINK на мотоциклета и да се определят предимствата и недостатъците му в режим на спиране в сравнение с окачването с телескопична вилка, е направена съпоставка на получените резултати от пътните експерименти.

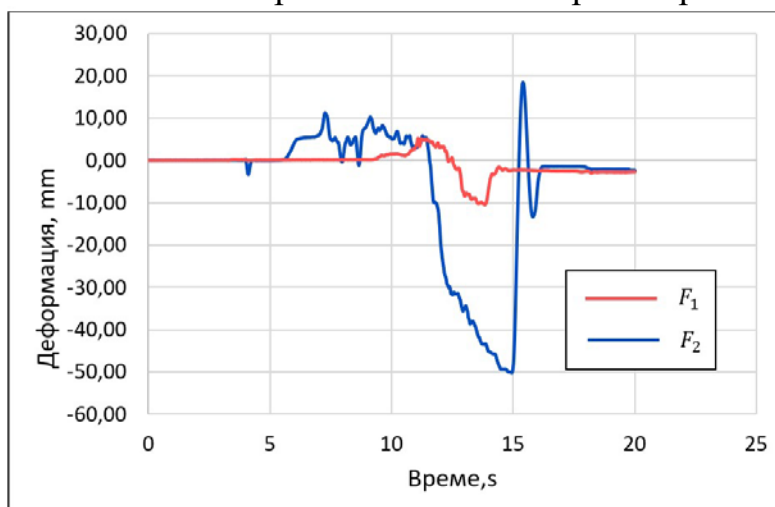
На фиг. 4.8 са съпоставени ъгълът на диферент, на който се завъртат подресорените маси на мотоциклета при спиране само с предната спирачка с многораменно предно окачване MULTILINK и с окачване с телескопична вилка. С ϑ_1 са представени резултатите, получени при мотоциклет с многораменно предно окачване MULTILINK, а с ϑ_2 – при окачване с телескопична вилка. При двата експеримента началната скорост, от която започва процесът на спиране, е различна. При окачването с телескопична вилка процесът на спиране е по-дълъг, но реализираната спирачна сила, съответно спирачно закъснение, е еднакво. Характерът на изменение на изследваната величина е един и същ. Ъгълът на диферент при използване на многораменно окачване MULTILINK е двойно по-малък. Това се дължи на съпротивлението против „гмуркане“, заложено като цел при проектирането на окачването.



Фиг. 4.8. Сравнение между ъгъла на диферента при спиране на мотоциклет с многораменно предно окачване MULTILINK ϑ_1 и с окачване с телескопична вилка ϑ_2

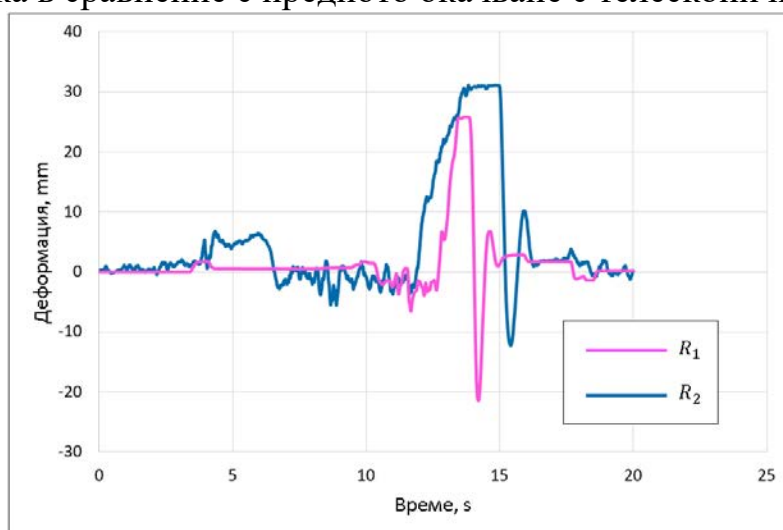
На фиг. 4.9 е направено сравнение на резултатите, получени от възприемателя, отчитащ преместването на предното окачване при спиране с двата типа окачване. С F_1 е представено преместването на многораменното предно окачване MULTILINK, а с F_2 – на окачването с телескопична вилка. При ускоряване до избраната скорост, от която да започне процесът на спиране, се забелязва отпускане и в двата случая. При достигане на максималното спирачно закъснение се получава максимално свиване на окачването. При използване на многораменно предно окачване максималното

свиване на окачването е редуцирано близо 5 пъти. Това е вследствие на двойно по-малкия ъгъл на завъртане на подресирените маси. При спиране с предно окачване с телескопична вилка в края на процеса на спиране се получава значително затихващо трептене. При многораменното окачване този процес липсва поради по-голямото съпротивление на амортисьора.



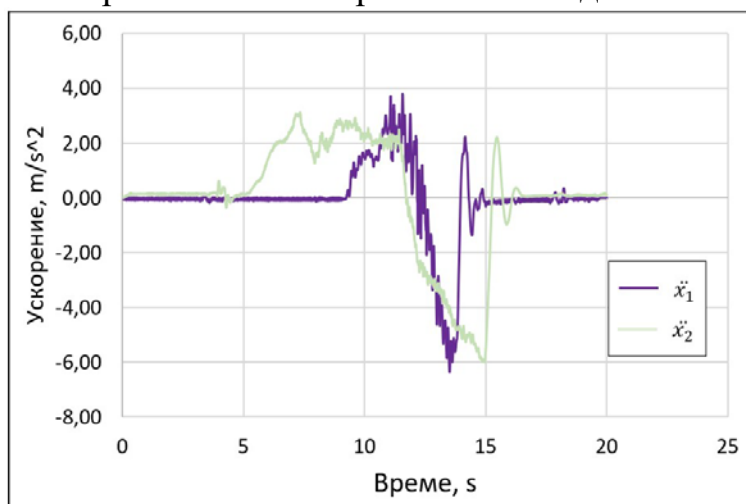
Фиг. 4.9. Сравнение на деформацията на предното окачване при спиране на мотоциклет с многораменно предно окачване MULTILINK F_1 и мотоциклет с предно окачване с телескопична вилка F_2

На фиг. 4.10 са сравнени резултатите, получени от пътните изпитвания с двата типа окачване. С R_1 е показано преместването на задното окачване на мотоциклет с проектираното многораменно предно окачване MULTILINK, а с R_2 – на задното окачване на мотоциклет с предно окачване с телескопична вилка. Измерената деформация и при двата случая е с еднакъв характер. При спиране на мотоциклета вследствие на преразпределението на нормалното натоварване задното ходово колело се разтоварва и съответно окачването се отпуска. При използване на многораменно предно окачване, деформацията е малко по-малка в сравнение с предното окачване с телескопична вилка.



Фиг. 4.10. Сравнение на деформацията на задното окачване при спиране на мотоциклет с многораменно предно окачване MULTILINK R_1 и мотоциклет с предно окачване с телескопична вилка R_2

На фиг. 4.11 са представени резултатите, получени за хоризонталното ускорение на мотоциклета при пътните експерименти с двата типа окачване. С \ddot{x}_1 е означено ускорението при използване на многозвенно раменно предно окачване MULTILINK, а с \ddot{x}_2 – при стандартното окачване тип телескопична вилка. Изменението на величините е с еднакъв характер. При използване на проектираното окачване, скоростта, до която ускорява мотоциклета е по-ниска и съответно периодът на спиране е по-кратък. Въпреки това, приложената спирачна сила и съответно резултантните спирачни закъснения в двата случая са почти еднакви. В процесът на спиране, освен нормалното натоварване, предното окачване е подложено на две допълнителни сили: предната спирачна сила и преразпределението на теглото, генерирано от общата спирачна сила. В двата експеримента приложената спирачна сила е еднаква.



Фиг. 4.11. Сравнение в хоризонталното ускорение на мотоциклет с многозвенно раменно предно окачване MULTILINK \ddot{x}_1 и мотоциклет с предно окачване с телескопична вилка \ddot{x}_2

ОСНОВНИ РЕЗУЛТАТИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Въз основа на резултатите от извършеното в дисертационния труд теоретично и експериментално изследване може да се направят следните основни изводи:

1. При спиране на мотоциклета наклонът напред („гмуркането“) на мотоциклет с многозвенно раменно предно окачване MULTILINK е около 50% по-малък, отколкото при окачването с телескопична вилка. Този процент беше заложен при проектиране на окачването.

2. Деформацията на предното многозвенно раменно окачване MULTILINK е значително по-малка, отколкото при окачването с телескопична вилка. Поради голямото съпротивление на амортизьора, не се наблюдава затихващо трептене (rebound) след процеса на активно спиране.

3. Отпускането на задното окачване на мотоциклет с предно многозвенно раменно окачване MULTILINK също е по-малко от това при окачването с телескопична вилка тъй като мотоциклетът се наклонява напред по-малко, но разликите са минимални.

4. Рамото на стабилизация се запазва постоянно в целия диапазон свиване/отпускане на окачването.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Научно-приложни приноси:

1) Съставен е двумерен модел, чрез който е изследвано поведението на проектираното многозвенно раменно предно окачване MULTILINK. Създаден е пространствен модел, позволяващ анализи с крайни елементи и различни симулации. На основа на получените резултати, получени чрез пътно изпитване на мотоциклет с различен тип предно окачване са изведени предимствата и недостатъците, а също така са направени препоръки при проектиране на алтернативен тип окачване.

Приложни приноси:

- 1) Проектирано е и е изработено оригинално многораменно предно окачване MULTILINK за мотоциклет, което дава възможност за изследване на различни фактори, влияещи на устойчивостта и маневреността на мотоциклета в различни режими на движение.
- 2) Предложена е методика за пътно изпитване на различни типове предно окачване на мотоциклет при ускоряване и спиране.
- 3) Извършен е анализ на свойствата на мотоциклет с проектираното и изработено многораменно окачване MULTILINK като предно окачване на мотоциклет.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. G Yanachkov, **Hesapchieva S.**, Using Multilink Type Suspension as a Front Suspension For a Motorcycle, FDIBA Konferenz, Sofia, Bulgarien, 30. November – 1. Dezember, 2017, pp 121-124.
2. **Хесапчиева, С. .**, Яначков, Г. М., Хлебарски, Д. А., *Кинематичен анализ на предно окачване Multilink за мотоциклет*, BulTrans-2019, 2019, България, Созопол, ТУ-София, ISSN 1313-955X, Научна конференция с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии БулТранс-2019, стр. 41-47, web: <http://www.bultrans.org/files/proceedings/bultrans-2019.pdf>
3. **Hesapchieva S.**, D. Hlebarski, G. Yanachkov, E. Dimitrov, Z. Georgiev, *Experimental study of motorcycle trim while braking*, Научна конференция с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии “BulTrans-2020”, Созопол, 2020, стр. 106-113, web: <https://bultrans.org/files/proceedings/bultrans-2020.pdf>
4. **S. Hesapchieva**, *Numerical study of the vibrational behaviour of a motorcycle at different castor angle*, Научна конференция с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии

“BulTrans-2020”, Созопол, 2020, стр. 97-106,
web: <https://bultrans.org/files/proceedings/bultrans-2020.pdf>

5. **Hesapchieva S.**, Hlebarski D., Yanachkov G., *Experimental Determination of the Impact of Load Transfer on the Basic Geometrical Parameters of the Motorcycle during Braking*, International Scientific Conference on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies “BulTrans-2021” 10–13.09.2021 Sozopol, Bulgaria, <https://doi.org/10.1063/5.0104883>

SUMMARY

APPLICATION OF MULTILINK SUSPENSION AS A MOTORCYCLE FRONT SUSPENSION

Simona Ivova Hesapchieva

Department of Combustion Engines, Automotive Engineering and Transport
Technical University of Sofia

Abstract

Telescopic fork suspension is the most widely used front suspension on modern motorcycles. Despite its undoubted advantages such as simplicity of construction, low cost and easy maintenance, the front suspension of this type has significant disadvantages. The following conclusions can be drawn from the literature review of theoretical and experimental studies related to various designs of the front suspension of the motorcycle:

Telescopic suspension still remains the most popular type of front suspension for a motorcycle, despite its shortcomings. The research and development analyzed did not fundamentally solve all the problems of the telescopic fork front suspension.

The characteristics of the front suspension determine a number of important properties of the motorcycle, the present PhW work has the following main goal: Design and manufacture of an original, functional MULTILINK multi-link suspension as a motorcycle front suspension and determination of its properties in braking mode.

To achieve the goal, the following tasks are set:

1. Determination of the influence of the geometric parameters of the front suspension of a motorcycle and their variation during deformation of the suspension on the stability of movement;
2. Design of a MULTILINK front suspension of a motorcycle, creation of a spatial (3D) model and analysis;
3. Manufacture of MULTILINK motorcycle front suspension;
4. Conducting a road experiment of a motorcycle with MULTILINK front suspension and analyzing the results.

A road experiment was conducted on a motorcycle with a telescopic front suspension, to determine the acceleration and deformation of the suspension under different braking modes. The variation of the castor angle, the trail, the normal trail, the pitch angle, the base of the motorcycle and the normal load on the running wheels are determined numerically.

A kinematic scheme of Multilink front suspension of a motorcycle was selected, based on which a spatial (3D) CAD model was created, through which a simulation of both the spatial movement of the suspension and the strength dimensioning of the elements from which it was composed was carried out. A methodology has been developed to produce a real prototype of the suspension. A

real MULTILINK multi-link suspension was made as a motorcycle front suspension for road experiment.

A road experiment was conducted on a motorcycle equipped with MULTILINK front suspension, where the motorcycle's acceleration and suspension deformation were measured when braking using only the front brake.

Based on the analysis of the motorcycle braking performance results obtained by road experiment a motorcycle with telescopic fork front suspension and alternative MULTILINK front suspension, the advantages and disadvantages of a motorcycle are determined and recommendations are made on the requirements to be met by the constructor when designing the MULTILINK suspension as a motorcycle front suspension.

An original alternative MULTILINK front suspension for a motorcycle has been designed and manufactured, which enables the study of various factors affecting the stability and maneuverability of the motorcycle in different driving modes.

A methodology for road experiment of different types of motorcycle front suspension during acceleration and braking is proposed.

An analysis of the properties of a motorcycle with the designed MULTILINK front suspension was performed.