

# Кинематичен анализ на предно окачване Multilink за мотоциклет

С И Хесапчиева<sup>1</sup>, Г М Яначков и Д А Хлебарски

Технически университет – София, бул. „Кл. Охридски“ №8, 1000 София, България

<sup>1</sup> E-mail: six@tu-sofia.bg

**Резюме.** В публикацията са разгледани възможностите за използване на окачване тип Multilink като предно окачване на мотоциклет и реализирането на основните му геометрични характеристики. Направен е кинематичен анализ на поведението на окачването при работа. Разработен е математичен модел, с който се изследва промяната в базата на мотоциклета, рамото на устойчивост, ъгъла на вилката и траекторията, която описва колелото. В модела не се разглежда поведението при описване на крива. Изследвана е ефективността на системата против гмуркане при прилагане на спирачна сила само в предното колело.

## 1. Въведение

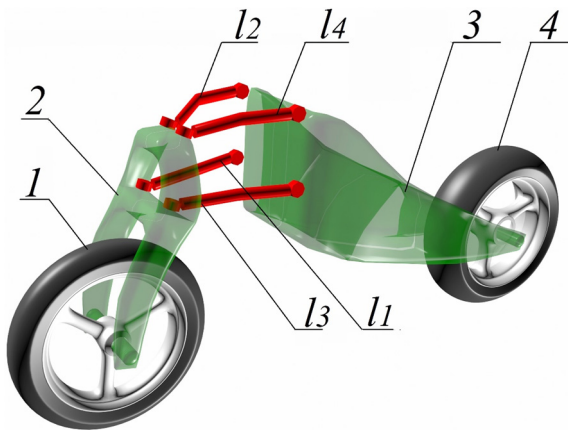
Системата на окачване на мотоциклета изпълнява две основни функции. Първата е да абсорбира неравностите на пътя, като по този начин изолира водача и пътника от протичащите колебания, осигурява плавност на движението, комфорт и безопасност. Втората е да гарантира достатъчно добра управляемост [1]. Най-често срещаният тип предно окачване на мотоциклет е телескопичната вилка. Въпреки предимствата си – простота на конструкцията, ниска цена и лесна поддръжка – предното окачване от този тип има съществени недостатъци [2]. Предното окачване трябва не само да се адаптира към увеличаването на скоростта и масата, но също така да удовлетворява изискванията за управляемост и устойчивост на движението. Окачването на мотоциклета има значение за подобряване на сцеплението и устойчивостта на движение на мотоциклета както при праволинейно движение, така и при описване на крива в завой.

За предно окачване на мотоциклетите са изпробвани разнообразни кинематични схеми. Някои доказват своята ефективност, други не, а трети са твърде скъпи и сложни. Многограменното окачване намира все по-широко приложение както в автомобилостроенето, така и при двуколесните машини, и е обект на задълбочени кинематични и динамични изследвания, както на съществуващи конструкции, така и на разнообразни кинематични схеми [1, 3-13].

Целта на публикацията е да се направи кинематичен анализ на многограменно окачване и влиянието му върху поведението на мотоциклета.

## 2. Кинематична схема на многограменното окачване

На фигура 1 е показана кинематична схема на предно окачване на мотоциклет тип Multilink. Предното колело 1 е окачено на предната вилка 2. Тя е свързана с рамата на мотоциклета 3 посредством четири носача. Рамената  $l_2$  и  $l_4$  оформят горния носач. Рамената  $l_1$  и  $l_3$  образуват долния носач.



**Фигура. 1** Кинематична схема на многораменно окачване. 1 – предно колело, 2 – вилка, 3 – рама, 4 – задно колело,  $l_1, l_2, l_3, l_4$  – дължини на лостовете.

### 3. Кинематичен анализ

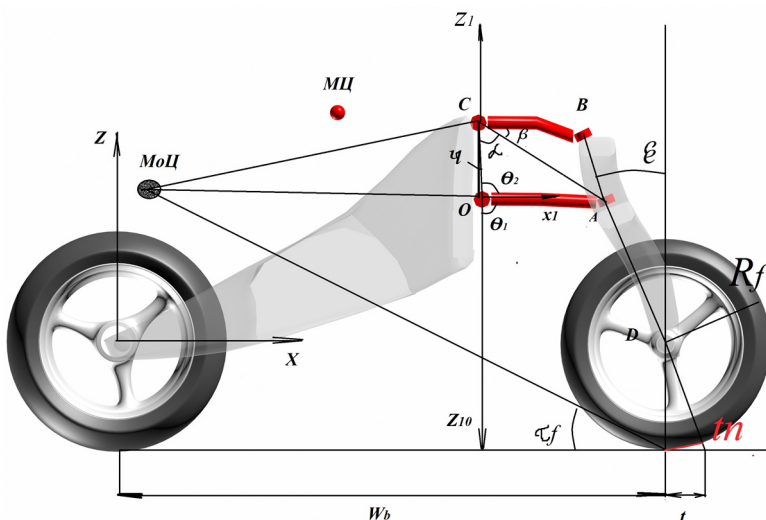
Свойствата управляемост и устойчивост на мотоциклета са силно повлияни от някои геометрични параметри, които зависят от конструкцията на предното окачване. Фигура 2 представя най-важните геометрични параметри на мотоциклета. Това са рамото на устойчивост  $t$ , проекцията на рамо на устойчивост  $t_n$ , ъгълът на надлъжен наклон на вилката  $\varepsilon$  и базата  $w_b$  [3]. Между тези параметри съществува следната зависимост [9]:

$$t = \frac{t_n}{\cos \varepsilon} = R_f \tan \varepsilon - \frac{d}{\cos \varepsilon}, \quad (1)$$

където  $R_f$  е радиусът на предното колело,  $d$  – разстоянието от центъра на предното колело до кормилната ос.

Задачата на кинематичния анализ е да се определят параметрите на лостовете, така че при деформация в окачването при преодоляване на неравност и в режим на интензивно спиране базата на мотоциклета и рамото на устойчивост да се изменят минимално.

Фигура 2 показва конструктивните параметри на четиризвенника (поглед отстрани): дължините на долните и горните рамена  $l_1$  (OA) и  $l_2$  (BC), разстоянията между точките на закрепване 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  $\theta_1$ . 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.



**Фигура 2.** Геометрични характеристики на мотоциклет и параметри на окачването.

Окачването е представено като равнинен механизъм. Броят степени на свобода се определя от формулата на Чебишев-Грюблер-Куцбах [14]

$$H = 6(n_b - 1) - 5n_r - 3n_s = 1, \quad (2)$$

където  $n_b$  е брой тела,  $n_r$  – брой цилиндрични шарнири,  $3n_s$  – брой сферични шарнири.

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 степента на гмуркане (Anti-dive). Изчислението се извършва с програмен продукт Матлаб. Въведена е подвижна координатна система  $Oz_1x_1$ , която е свързана с шарнира на долния лост в т.  $O$ .

Уравненията на геометричните ограничения се изразяват в декартовите координати на точките, както следва [8]:

$$(B_{x1} - C_{x1})^2 + (B_{z1} - C_{z1})^2 = l_2^2; \quad (3)$$

$$(A_{x1} - O_{x1})^2 + (A_{z1} - O_{z1})^2 = l_1^2, \quad (4)$$

където  $A, B, C, O$  са точките на закрепване на лостовете.

От фигура 2 могат да се определят моментните положения на точките от окачването [5]

$$\cos\theta_1 = \frac{z_{1o} - z_{1a}}{l_1}; \quad (5)$$

$$\theta_2 = \pi - \theta_1; \quad (6)$$

$$\theta_3 = \varphi + \beta + \alpha; \quad (7)$$

$$l_d^2 = h_2^2 + l_1^2 - 2h_2l_1 \cos(\theta_2 + \varphi); \quad (8)$$

$$l_d = \sqrt{h_2^2 + l_1^2 - 2h_2l_1 \cos(\theta_2 + \varphi)}; \quad (9)$$

$$\sin\alpha = \frac{l_1}{l_d} \sin(\theta_2 + \varphi); \quad (10)$$

$$h_1^2 = l_2^2 + l_d^2 - 2l_2l_d \cos\beta; \quad (11)$$

$$\cos\beta = \frac{l_2^2 + l_d^2 - h_1^2}{2l_2l_d}. \quad (12)$$

$$A_{x1} = l_1 \sin\theta_1; \quad (13)$$

$$A_{z1} = -l_1 \cos\theta_1; \quad (14)$$

$$C_{x1} = -h_2 \sin\varphi; \quad (15)$$

$$C_{z1} = h_2 \cos\varphi; \quad (16)$$

$$B_{x1} = C_{x1} + l_1 \sin\theta_3; \quad (17)$$

$$B_{z1} = C_{z1} - l_1 \cos\theta_3; \quad (18)$$

$$D_{x1} = A_{x1} + l_f \tan\varepsilon; \quad (19)$$

$$D_{z1} = A_{z1} + l_f \tan\varepsilon; \quad (20)$$

$$\tan\varepsilon = \frac{A_{x1} - B_{x1}}{B_{z1} - A_{z1}}. \quad (21)$$

Числените стойности и означенията на параметрите, използвани за модела са представени в таблици 1 и 2. За прототип е използван мотоциклет БМВ К1200R [15].

**Таблица 1.** Числените стойности и означенията на параметрите на мотоциклета.

Параметър	Означение	Стойност	Мерна единица
База	$w_b$	1571	mm
Наклон на вилката	$\varepsilon$	24	°
Рамо на устойчивост	$t$	112	mm
Offset	$d$	46	mm
Радиус на предното колело	$R_f$	300	mm
Височина на масов център	$h_g$	675	mm
Ход на окачването	$z$	70	mm

**Таблица 2.** Линейни и ъглови размери на елементи от окачването.

Дължина на долните лостове $l_1, l_3$ , mm	230	235	240
Дължина на горните лостове $l_2, l_4$ , mm	195	195	195
Разстояния между точките на закрепване на носачите от страната на рамата $h_1, h_3$ , mm	190	190	190
Разстояния между точките на закрепване на носачите за вилката $h_2, h_4$ , mm	160	160	160
Ъгъл между точките на закрепване $\varphi$ , °	15	15	15
Ъгъл между долното рамо и вертикалната равнина в средно положение $\Theta_1$ , °	97.5	87.5	87.5
Разстояние от пътя до шарнира на лоста $z_{10}$ mm	635	635	635

#### 4. Свойства на окачването при гмуркане

За произволна геометрия, ефективността на окачването против гмуркане не е постоянна в целия диапазон на хода на окачването. Това е така, защото положението на моментния център на въртене на лостовите (т. МоЦ, фигура 2) се променя при свиване на окачването, а с него и ъгълът  $\tau_f$ , по който се преразпределят силите при спиране (фигура 2). Ъгъл  $\tau_f$  се намира от следната зависимост [9]:

$$\tau_f = \text{atan} \frac{N_{tr}}{F_f}, \quad (22)$$

където  $F_f$  е спиращата сила в предното колело,  $N_{tr}$  –компонента на спиращата сила, породена от преразпределението на теглото.

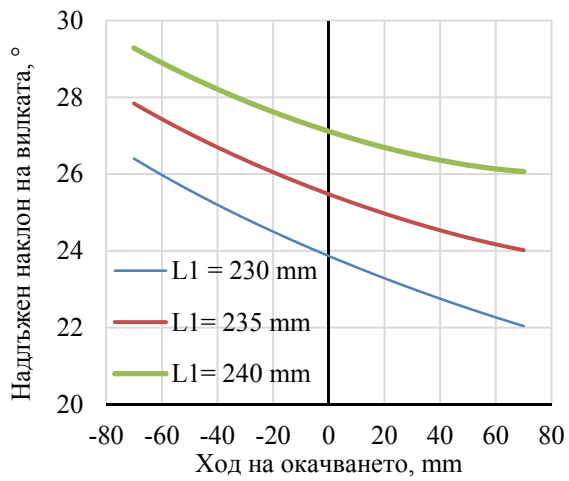
Ефектът против гмуркане AD се определя по формулата [9]:

$$AD = F_f \tan \tau_f \frac{w_b}{h_g}. \quad (23)$$

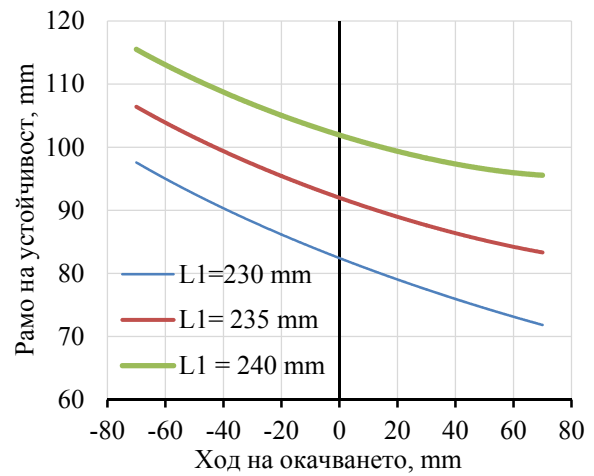
#### 5. Резултати

На фигури 3-7 са представени резултатите от изследването за целия диапазон на окачването. Показани са изменението на рамото на устойчивост, ъгълът на наклона на вилката, траекторията, която описва колелото и промяната на базата на мотоциклета.

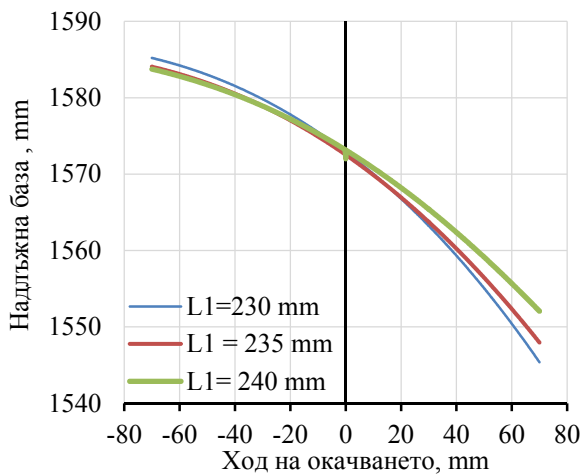
От резултатите се вижда, че при промяна на дължината на долния лост, кривите остават със сходен характер. С увеличаване на дължината му без промяна в останалите размери се увеличава надлъжния наклон на вилката, а от там и рамото на устойчивост, но склонността към гмуркане нараства. Редуцирането на ъгъла и рамото на устойчивост водят до намаляване на устойчивостта, но се явява като благоприятен ефект в състезателните мотоциклети при описване на крива [8]. Най-важният критерий по отношение на степента на гмуркането е предпочитанието на водача и предназначението на мотоциклета. Твърде високата степен на т.нар. анти-дайв корекция понякога води до липса на усещане у водача за реакция на мотоциклета.



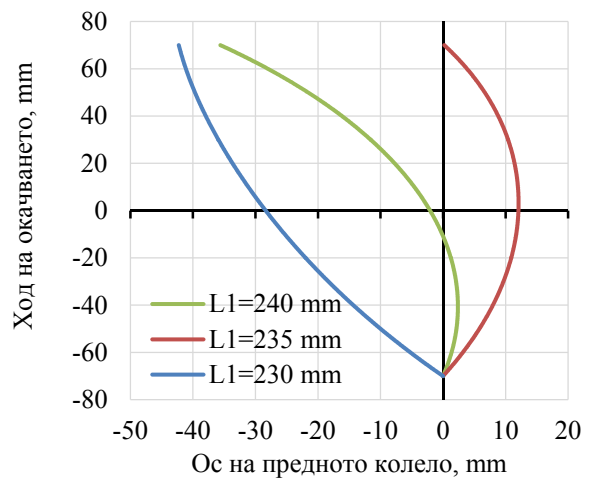
**Фигура 3.** Изменение на надлъжния наклон на вилката  $\epsilon$  във функция на хода на окачването.



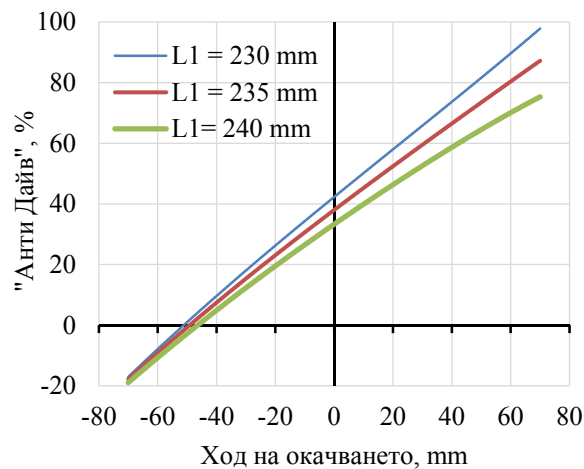
**Фигура 4.** Изменение на рамото на устойчивост във функция на хода на окачването.



**Фигура 5.** Надлъжна база на мотоциклета във функция на хода на окачването.



**Фигура 6.** Траектория на оста на предното колело във функция на хода на окачването.



**Фигура 7.** Изменението на процентното отношение на съпротивлението при гмуркане.

## 6. Изводи

Многораменното окачване дава възможност за промяна на дължините и разположението на лостовете, с цел да се постигне желаното поведение мотоциклета.

При системата Multilink управлението и окачването са разделени. Системата може да осигури различна степен на „Anti-dive“ ефект, в зависимост от разположението и дължината на рамената. В сравнение с телескопичната вилка, при която законът на движението на центъра на колелото е линеен, при този тип окачване описаната траекторията е нелинейна крива.

В режим на спиране мотоциклетът, оборудван с многораменно окачване е по-устойчив. Рамото на устойчивост остава почти постоянно в целия диапазон на работа на окачването.

Базата на мотоциклета остава почти постоянна в целия диапазон на окачването. При оптимизиране на кинематиката на окачването може да се постигне дори повишаване на линейните размери на базата при свиване окачването [4].

Кинематичният анализ може да бъде използван за оптимизиране на окачването, якостен и динамичен анализ, които ще бъдат изследвани в следващи публикации.

## Благодарности

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани по договор № 192ПД0001-04 от Вътрешния конкурс на ТУ-София, 2019 г.

## Литература

- [1] Liu C 2017 *A Multibody Dynamics Model of a Motorcycle with a Multi-link Front Suspension* (Electronic Theses and Dissertations)
- [2] Yanachkov G and Hesapchieva S 2017 Using Multilink type suspension as a front suspension for a motorcycle *FDIBA Conference*
- [3] Ramírez C M, Tomás-Rodríguez M and Evangelou S A 2018 Dynamic analysis of double wishbone front suspension systems on sport motorcycles *Nonlinear Dynamics* **91(4)** 2347–68
- [4] Ramírez C M, Tomas-Rodriguez M and Evangelou S A 2012 Dynamical analysis of a duolever suspension system *Proc. 2012 UKACC Int. Conf. on Control* 1106–1111
- [5] Lange J 2015 Development of front suspension for an electric two-wheeled amphibious vehicle *Master of Science Thesis, Industrial Engineering and Management, Stockholm*
- [6] Kanade A, Gadakh S, Jadhav P, Kadam V and Sudke D, 2019 Duolever suspension system in motorcycle, *Int. Res. J. Engineering and Technology (IRJET)* **06(4)**
- [7] Mavroudakakis B and Eberhard P 2006 Analysis of alternative front suspension systems for motorcycles *Vehicle system dynamics* **44(1)** 679–689
- [8] Foale T 2006 Motorcycle handling and chassis design: the art and science *Tony Foale*
- [9] Cossalter V 2006 *Motorcycle Dynamics* (Lulu.com)
- [10] Watanabe Y and Sayers M W 2011 The effect of nonlinear suspension kinematics on the simulated pitching and cornering behavior of motorcycles *SAE Technical Paper 2011-01-0960*
- [11] Minaker B P and Durfy B 2016 A multibody dynamic analysis of a motorcycle with a Multilink front suspension *Proc. Bicycle and Motorcycle Dynamics, Milwaukee, Wisconsin, USA*
- [12] Gadola M, Chindamo D, Vitale F and Bonera E 2019 The design of a motorcycle featuring fully independent adjustability for front suspension and steering geometry *IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering* **538(1)** 012064
- [13] *Proc. Bicycle and Motorcycle Dynamics, Milwaukee, Wisconsin, USA, 2016.*
- [14] George R and Sidhant R 2018 Development of Kinematic Analysis Methods for Spatial Multi-link Road Vehicle Suspensions (*Master's thesis*).
- [15] 2006 BMW K 1200 R (USA) Owner's Manual

# **Kinematic analysis of the Multilink front suspension for a motorcycle**

**S I Hesapchieva<sup>1</sup>, G M Yanachkov, D A Hlebarski**

Technical University – Sofia, 8 Kliment Ohridski Blvd., 1000 Sofia, Bulgaria

<sup>1</sup>E-mail: six@tu-sofia.bg

**Abstract.** The paper discusses the possibilities of using a Multilink suspension as a front suspension of a motorcycle and realizing its basic geometric characteristics. A kinematic analysis of the deformation behavior of the suspension was made. A mathematical model has been developed to investigate the change in the motorcycle base, the trail, the caster angle and the trajectory that describes the contact spot of the wheel. The model does not consider the behavior when driving in a curve. The result of the anti-dive effect when applying braking force only to the front wheel was investigated.