

АНАЛИЗА УТИЦАЈА ВРЕДНОСТИ ЕКСЦЕНТРИЦИТЕТА ПОЛОЖАЈА КЛИЗАЧА НА ДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ КРИВАЈНО КЛИПНОГ МЕХАНИЗМА

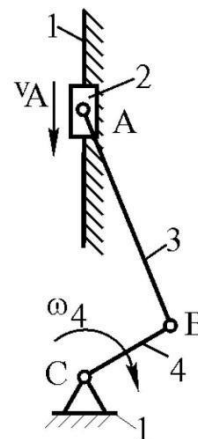
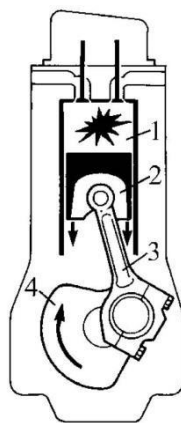
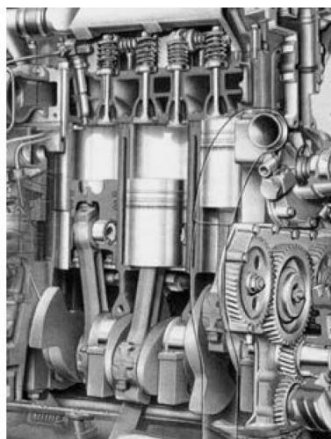
Бранислав Миленковић¹

Резиме: У раду се разматра динамичка анализа кривајно клипног механизма. Истражен је утицај динамичког уравнотежења механизма на интензитет реакције везе у зглобу који спаја кривају и спојну полуку. Овај проблем није до сада разматран у доступној литератури. Формирани су у симболичком облику изрази за реакције веза у зглобима и погонски момент који делује на кривају разматраног типа механизма. Добијени изрази омогућавају да се за разне вредности параметара који у њима фигуришу изврше разне врсте динамичких анализа. Разматран је најопштији случај када је хоризонтална вођица клизача ексцентрично постављена у односу на хоризонталу осу која пролази кроз цилиндрични зглоб криваје. За разне вредности ове врсте ексцентрицитета формирани су одговарајући дијаграми промене компоненти реакција веза у зглобовима механизма као и дијаграми промене интензитета погонског момента који делује на кривају у функцији времена. Извршена је квантитативна анализа добијених дијаграма коришћењем израза у облику квадратног корена збира квадрата вредности одговарајуће величине у одређеном броју тачака на одговарајућем временском интервалу (енглески – The root mean square values, скраћено RMS) и формулисани су одговарајући закључци и препоруке за даља истраживања на овом пољу.

Кључне речи: кривајно клипни механизам, кинематичка анализа, динамичка анализа, реакције веза, уравнотежење механизма

1. УВОД

Клипни механизам има задатак да врши претварање праволинијског кретања у кружно (на пример код мотора са унутрашњим сагоревањем). Нешто ређе се користи за претварање кружног кретања у праволинијско (на пример код клипног компресора). Веома је једноставне конструкције, међутим његови чланови имају веома велике промене брзина и убрзања услед чега долази до појава великих инерцијалних сила. Појаву великих инерцијалних сила решавамо уравнотежењем механизма различитим методама.



Слика 1.. Приказ, скица и кинематичка шема клипног механизма СУС мотора

- 1) непокретни члан, 2) погонски члан (клип), 3) клипњача, 4) коленасто вратило

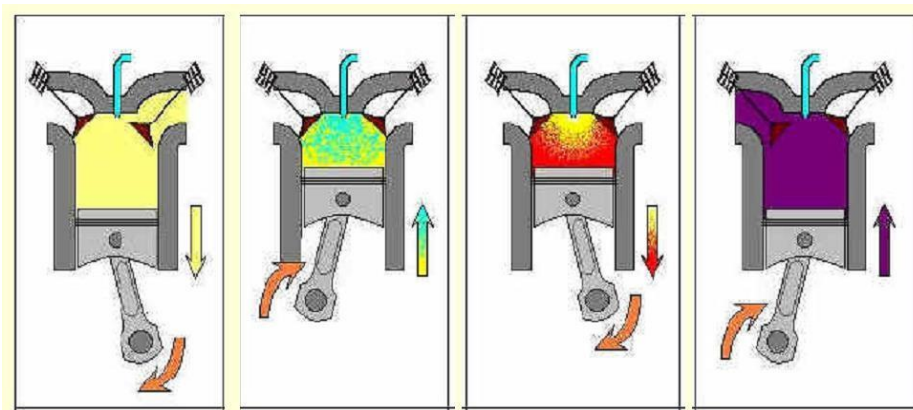
¹ Мастер инжењер машинства, Факултет примењених наука Ниш, Душана Поповића 22а, e-mail:bmilenkovic92@gmail.com

КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференције напредне технологије у функцији развоја привреде, Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године

У групу мотора са унутрашњим сагоревањем спадају бензински мотори, дизел мотори, турбине и млазни мотори. Мотори са унутрашњим сагоревањем добијају са стране смешу горива и ваздуха која сагорева у радном простору, услед чега долази до пораста температуре и притиска. Оно што је заједничко за све моторе са унутрашњим сагоревањем је да се њихов радни циклус састоји из четири такта: усисавање, сабијање, експанзија и ширење. Код бензинских мотора у цилиндар се уноси припремљена смеша бензина и ваздуха која се у одговарајућем тренутку пали електричном варницом. Код дизел мотора у цилиндар се уноси чист ваздух, који се сабија и услед тога загрева. У тако загрејан ваздух у погодном тренутку се убризгава дизел – гориво, које се услед загрејаности пали.

На следећој слици 2 је приказан принцип рада четворотактног дизел мотора где се радни циклус обавља у четири такта, а зато је потребно два обраћа коленастог вратила.

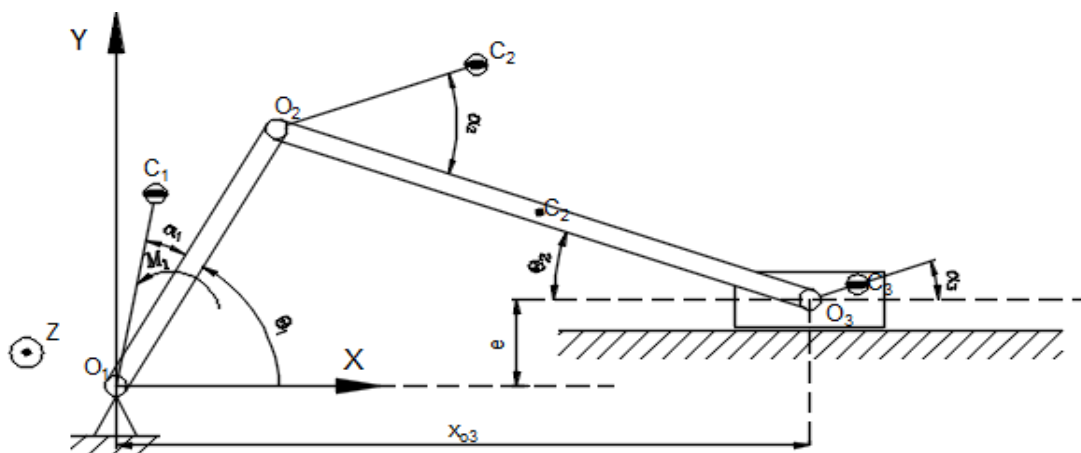


Слика 2. Принцип рада четворотактног дизел мотора

Клип се креће у цилиндру осцилаторно праволинијски између крајњих тачака, које се називају спољна мртва тачка (СМТ) и унутрашња мртва тачка (УМТ). Пут који пређе клип од једне до друге мртве тачке назива се ход клипа. Клип је повезан преко клипаче са коленастим вратилом који изводи механички рад. Главни делови клипа мотора су: осигурач, осовинице, клипних прстенова и самог тела клипа. Клип се израђује од сивог лива, челичног лива, челика или лаких легура. Код гасовитих радних флуида клип се јако загрева, тако да је механички и термички веома напрегнут.

2. ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА

На слици 3 приказан је кривајно клипни механизам са ексцентрично постављеним клизачем.



Слика 3. Кривајно клипни механизам

Дужине криваје O_1O_2 (у ознаци V_1) и спојне полуге O_2O_3 (у ознаци V_2) су L_1 и L_2 , а клизач O_3 (у ознаци V_3) се креће дуж хоризонталне подлоге која је паралелно померена у односу на хоризонталну подлогу за коју је зглобно везана криваја за дужину e за коју ћемо у наредним разматрањима користити термин ексцентрицитет клизача. Средишта маса криваје, спојне полуге и клизача су означена са C_1 , C_2 и C_3 . Положаји ових средишта маса у односу на одговарајућа тела механизма су дефинисани угловима α_1 , α_2 и α_3 као и дужинама $d_1 = \overline{O_1C_1}$, $d_2 = \overline{O_2C_2}$ и $d_3 = \overline{O_3C_3}$. Раван кретања механизма је вертикална координатна раван Oxy при чему утицај силе Земљине теже неће бити узиман у обзир из разлога што су предмет разматрања у овом раду динамичке реакције механизма (компоненте реакције веза које се јављају услед кретања кривајно клипног механизма). Са M_1 је означен погонски момент спрега сила који делује на кривају механизма. Претпоставља се да је задат закон промене угла обртања θ_1 криваје док се угао обртања θ_2 спојне полуге и транслаторно померање x_{O_3} клизача могу изразити у функцији угла обртања криваје на основу следеће две холономне везе које се једноставно добијају на основу анализе геометрије механизма, односно:

$$L_1 \sin \theta_1 - e - L_2 \sin \theta_2 = 0, \quad (1)$$

$$L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos \theta_2 - x_{O_3} = 0. \quad (2)$$

Решавањем једначина (2.1) и (2.2) по непознатим θ_2 и x_{O_3} добија се:

$$\sin \theta_2 = \frac{L_1 \sin \theta_1 - e}{L_2}, \quad (3)$$

односно,

$$\theta_2 = \arcsin \left(\frac{L_1 \sin \theta_1 - e}{L_2} \right) \quad (4)$$

као и

$$x_{O_3} = L_1 \cos \theta_1 + L_2 \sqrt{1 - \sin^2 \theta_2} = L_1 \cos \theta_1 + \sqrt{L_2^2 - (L_1 \sin \theta_1 - e)^2}. \quad (5)$$

3. АНАЛИЗА РЕАКЦИЈЕ У ЗГЛОБУ КОЈИ СПАЈА КРИВАЈУ СА СПОЈНОМ ПОЛУГОМ КРИВАЈНО КЛИПНОГ МЕХАНИЗМА

Уравнотежења кривајно клипног механизма има за циљ смањење интензитета сила које се преносе на подлогу посредством зглоба O_1 и клизача од стране механизма. При томе остаје нејасно шта се дешава са реакцијом у зглобу O_2 , односно, да ли се њен интензитет повећава или смањује или уравнотежење механизма нема утицаја на интензитет ове реакције. Из тог разлога ово поглавље има за циљ да истражи утицај уравнотежења на интензитет реакције у зглобу O_2 .

На сликама 4 и 5 приказани су дијаграми промене компоненти X_{O_2} и Y_{O_2} реакције у зглобу O_2 за неуравнотежени и уравнотежени кривајно клипни механизам. При томе су коришћене следеће нумеричке вредности параметара неуравнотеженог механизма (преузети из [6]):

$$m_1 = 2[\text{kg}], \quad m_2 = 3[\text{kg}], \quad m_3 = 4[\text{kg}], \quad L_1 = 0.292[\text{m}], \quad L_2 = 0.427[\text{m}],$$

КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференције напредне технологије у функцији развоја привреде,
Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године

$$I_{C_{\bar{z}}} = 0.03[kgm^2], \quad I_{C_{\bar{z}}} = 0.14[kgm^2], \quad d_1 = 0.146[m], \quad d_2 = 0.214[m],$$

$$d_3 = 0, \quad a_1 = a_2 = a_3 = 0, \quad w_1 = 2p[rad/s], \quad e_1 = 0, \quad e = 0,$$

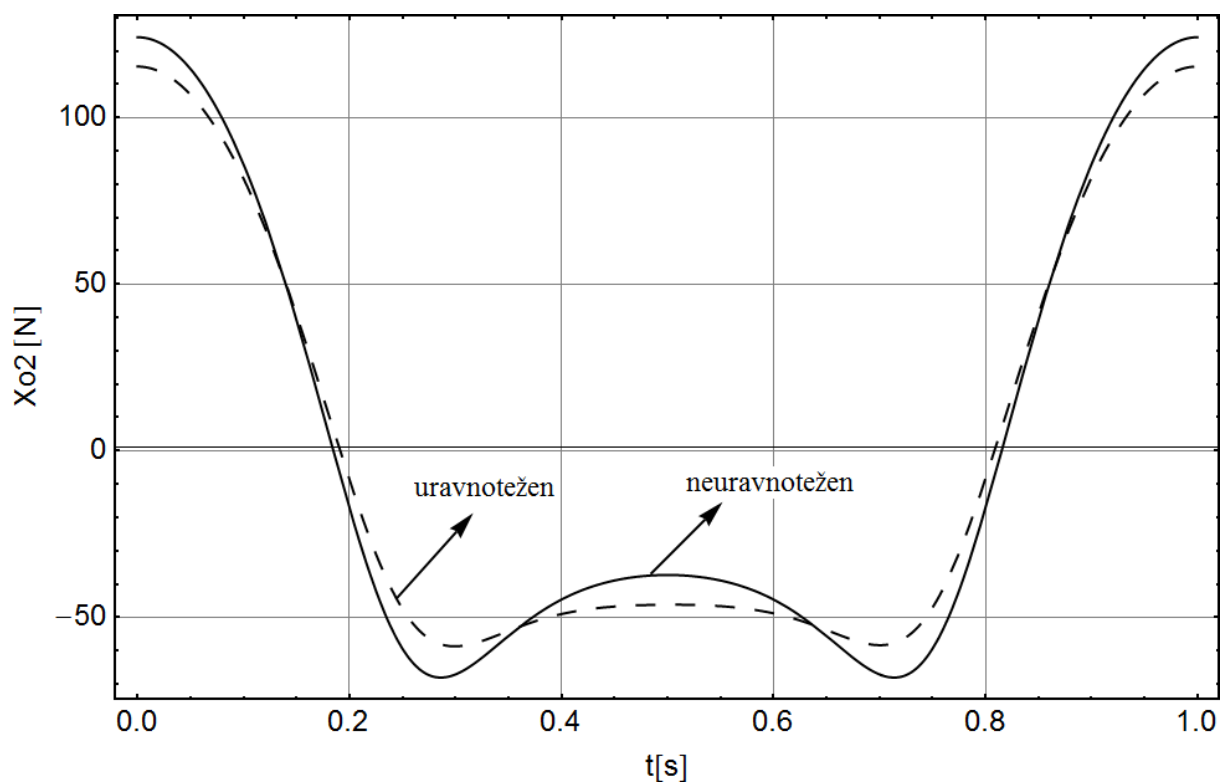
док нумеричке вредности параметара уравнотеженог механизма добијених у референци [6] применом методе оптималног распореда масе гласе:

$$m_1 = 3.0453[kg], \quad m_2 = 3.0030[kg], \quad m_3 = 4.0022[kg], \quad L_1 = 0.292[m], \quad L_2 = 0.427[m],$$

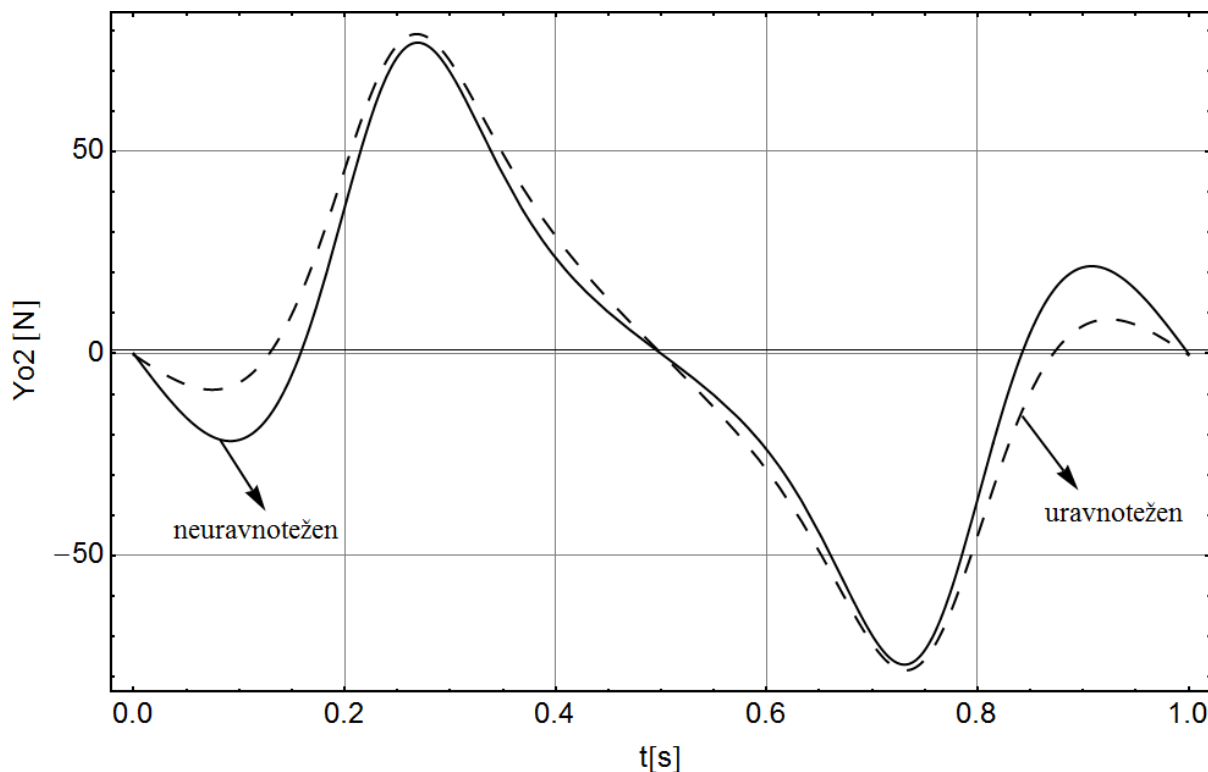
$$I_{C_{\bar{z}}} = 0.4298[kgm^2], \quad I_{C_{\bar{z}}} = 0.0720[kgm^2], \quad d_1 = 0.4722[m], \quad d_2 = 0.0538[m],$$

$$d_3 = 0.1095[m], \quad a_1 = 171.94^\circ, \quad a_2 = 357.65^\circ, \quad a_3 = 269.12^\circ,$$

$$w_1 = 2p[rad/s], \quad e_1 = 0, \quad e = 0.$$



Слика 4. Дијаграм промене реакције X_{o_2} током времена код уравнотеженог и неурavnотеженог кривајно клипног механизма



Слика 5. Дијаграм промене реакције Y_{O_2} током времена код уравнотеженог и неуравнотеженог кривајно клипног механизма

Добијени дијаграми (видети слике 3.1 и 3.2) омогућавају квалитативну анализу утицаја уравнотежења кривајно клипног механизма на компоненте реакције везе зглоба O_2 . За квантитативну анализу ових дијаграма користићемо следеће изразе:

$$FX_{O_2} = \frac{1}{d} \sqrt{\overset{d}{\mathbf{a}} X_{O_2}^2(t)}, \quad FY_{O_2} = \frac{1}{d} \sqrt{\overset{d}{\mathbf{a}} Y_{O_2}^2(t)}, \quad (6)$$

$$FX_{O_2}^* = \frac{1}{d} \sqrt{\overset{d}{\mathbf{a}} X_{O_2}^{*2}(t)}, \quad FY_{O_2}^* = \frac{1}{d} \sqrt{\overset{d}{\mathbf{a}} Y_{O_2}^{*2}(t)}, \quad (7)$$

где звездица као горњи индекс у претходним изразима означава величине које се односе на уравнотежени кривајно клипни механизам, а d означава број дискретних тачака на временском интервалу $[0, 1]$. У даљим разматрањима користиће се 200 дискретних тачака, односно $d = 200$.

Изрази (3.1) и (3.2) су познати у литератури као **The root mean square values**, скраћено **RMS** (за више детаља видети на пример референцу [7]). Сада се процентуално смањење или повећање интензитета компоненти реакције везе у зглобу O_2 одређује на следећи начин:

$$\frac{FX_{O_2} - FX_{O_2}^*}{FX_{O_2}} \cdot 100\% = 5.29\%,$$

$$\frac{FY_{O_2} - FY_{O_2}^*}{FY_{O_2}} \cdot 100\% = -5.7\%.$$

КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференције напредне технологије у функцији развоја привреде, Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године

Из добијених резултата се може закључити да након уравнотежења кривајно клипног механизма долази до незнатног смањења интензитета хоризонталне и незнатног повећања интензитета вертикалне компоненте реакције зглоба O_2 . Што се тиче интензитета укупне реакције R_{O_2} зглоба O_2 имамо да се он смањује за:

$$\frac{FR_{O_2} - FR_{O_2}^*}{FR_{O_2}} \cdot 100\% = 2.5\%$$

где је:

$$FR_{O_2} = \frac{1}{d} \sqrt{\int_{i=0}^{d} (X_{O_2 i}^2(t) + Y_{O_2 i}^2(t)) dt}, \quad (8)$$

$$FR_{O_2}^* = \frac{1}{d} \sqrt{\int_{i=0}^{d} (X_{O_2 i}^{*2}(t) + Y_{O_2 i}^{*2}(t)) dt}. \quad (9)$$

4. ЗАКЉУЧАК

Квантитативна анализа дијаграма приказаних на сликама 4 и 5 показује да се уравнотежењем кривајно клипног механизма не постиже знатно смањење интензитета реакције везе зглоба који спаја кривају и спојну полуку механизма. Наиме, имамо смањење интензитета компоненте X_{O_2} за 5.29% , повећање интензитета компоненте Y_{O_2} за 5.7% и смањење интензитета укупне реакције R_{O_2} за 2.5%. На основу овога може се закључити да се приликом уравнотежења кривајно клипног механизма реакција у зглобу O_2 мора укључити у одговарајућу функцију циља одговарајућег оптимизационог задатка да би се постигло значајније смањење интензитета реакције овог зглоба. Ово је важно из разлога смањења контактних напона у зглобу и самим тим продужења радног века механизма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глигорић Р.: „Механизми пољопривредних машина“, Пољопривредни факултет Универзитета у Новом Саду, Нови Сад, 2015.
2. Злоколица М., Чавић М., Костић М.: „Механика машина“, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2005.
3. „Теорија машина и механизма“, Машински факултет Универзитета у Нишу, Ниш, (ауторизована предавања)
4. Павишић М., Голубовић З., Митровић З.: „Механика-Динамика система“, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд, 2011.
5. Младеновић Н., Тришовић Н.: „Динамика“, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд, 2015.
6. Chaudhary K., Chaudhary H.: „Optimum balancing of slider-crank mechanism using equimoment system of point-masses“, Procedia Technology 14, pp.35-42, 2014.
7. Chaudhary H., Saha S.K.: „Dynamics and balancing of multibody systems“, Springer, 2009.