

# TRACKER VIDEO ANALYSIS DASTURI YORDAMIDA MAKSVELL MAYATNIGINING SO‘NISH KOEFFITSIYENTINI EKSPERIMENTAL ANIQLASH

*Salimov Sardor Samadovich<sup>1</sup>*

*Narzulloyev Ulug‘bek Amrillo o‘g‘li<sup>1</sup>*

*Xamroyeva Durdona Xakimovna<sup>2</sup>*

*Hamroyeva Sabina Otabekovna<sup>3</sup>*

*BuxDPI. Fizika kafedrasi o‘qituvchisi<sup>1</sup>*

*BuxDPI. 4-bosqich talabasi<sup>2</sup>*

*O‘zMPU. 4-bosqich talabasi<sup>3</sup>*

**Annotatsiya:** Mazkur maqolada Maksvell mayatnigining harakat jarayonida yuzaga keluvchi qarshilik kuchlari va ularning harakat dinamikasiga ta’siri tadqiq qilindi. Tajribalarni amalga oshirishda Tracker Video Analysis dasturidan foydalanilib, mayatnik harakatining videoanalizi bajarildi hamda koordinata, tezlik va tezlanishning vaqtga bog‘liqlik grafigi olindi. Olingan eksperimental ma’lumotlar asosida tizimdagi energiya yo‘qotilishi va amplitudaning so‘nishi tahlil qilinib, qarshilik koeffitsiyenti hisoblab chiqildi. Tadqiqot natijalari videoanaliz texnologiyalarining mexanika bo‘limidagi laboratoriya mashg‘ulotlari samaradorligini oshirishdagi ahamiyatini ko‘rsatadi. Shuningdek, ushbu metod an’anaviy o‘lchash vositalariga nisbatan yuqori aniqlik va qulaylikka ega ekanligi bilan tavsiflanadi.

**Kalit so‘zlar:** Maksvell mayatnigi, qarshilik koeffitsiyenti, videoanaliz, Tracker dasturi, mexanik harakat, amplituda so‘nishi, energiya yo‘qotilishi, laboratoriya tajribasi.

**Abstract:** This article studies the resistance forces that arise during the motion of a Maxwell pendulum and their effect on the dynamics of its motion. In the experiments, the Tracker Video Analysis program was used to perform video analysis of the pendulum motion and obtain a graph of the coordinate, velocity, and acceleration versus time. Based on the experimental data obtained, the energy loss and amplitude decay in the system were analyzed, and the resistance coefficient was calculated. The results of the study demonstrate the importance of video analysis

technologies in increasing the efficiency of laboratory exercises in the mechanics department. This method is also characterized by its high accuracy and convenience compared to traditional measuring instruments.

**Keywords:** Maxwell pendulum, resistance coefficient, video analysis, Tracker program, mechanical motion, amplitude decay, energy loss, laboratory experiment.

**Аннотация:** В данной статье исследуются силы сопротивления, возникающие при движении маятника Максвелла, и их влияние на динамику его движения. В экспериментах для видеоанализа движения маятника и построения графика зависимости координат, скорости и ускорения от времени использовалась программа видеоанализа Tracker. На основе полученных экспериментальных данных был проведен анализ потерь энергии и затухания амплитуды в системе, а также рассчитан коэффициент сопротивления. Результаты исследования демонстрируют важность технологий видеоанализа для повышения эффективности лабораторных работ на кафедре механики. Этот метод также отличается высокой точностью и удобством по сравнению с традиционными измерительными приборами.

**Ключевые слова:** маятник Максвелла, коэффициент сопротивления, видеоанализ, программа Tracker, механическое движение, затухание амплитуды, потери энергии, лабораторный эксперимент.

### **Kirish**

Maksvell mayatnigi mexanikadagi murakkab aylanma va ilgarilanma harakatlarni o'rganishda muhim tajriba tizimlardan biri hisoblanadi. Uning harakati davomida energiyaning aylanish va potensial energiyalar orasida almashinuvi kuzatiladi. Real sharoitda esa havo qarshiligi, ipning ichki ishqalanishlari hamda tayanch qismlaridagi yo'qotishlar sababli tizim energiyasi asta-sekin kamayib boradi. Natijada mayatnik harakati so'nuvchi xarakterga ega bo'lib, amplituda vaqt o'tishi bilan kamayadi. Shu sababli Maksvell mayatnigi harakatida qarshilik koeffitsiyentini aniqlash mexanik tizimlarning dinamik xususiyatlarini chuqur tahlil qilishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Hozirgi kunda fizika laboratoriyalarida raqamli texnologiyalar va videoanaliz usullaridan foydalanish tajribalar aniqligini oshirish hamda o'lchash jarayonlarini soddalashtirish imkonini bermoqda. Ayniqsa Tracker Video Analysis dasturi mexanik harakatlarni kadrma-kadr tahlil qilish, koordinata va tezlikning vaqtga bog'liqligini aniqlash, shuningdek eksperimental natijalarni grafik ko'rinishda olish imkoniyatiga ega zamonaviy dasturlardan biri hisoblanadi. Ushbu dastur yordamida murakkab mexanik jarayonlarni an'anaviy usullarga nisbatan yuqori aniqlikda o'rganish mumkin.

### **Mavzuga oid adabiyotlarning tahlili**

Maksvell mayatnigi harakatini o'rganish mexanikaning aylanma va ilgarilanma harakat qonunlarini tadqiq etishda muhim yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Ilmiy adabiyotlarda Maksvell mayatnigining harakati asosan energiyaning saqlanish qonuni, inersiya momenti hamda so'nuvchi tebranma harakatlar nuqtayi nazaridan tahlil qilingan. Klassik mexanika bo'yicha yaratilgan darslik va o'quv qo'llanmalarda ushbu tizimning harakati nazariy jihatdan yoritilib, harakat tenglamalari hamda energiya almashinuvi jarayonlari batafsil keltirilgan. Mexanik tizimlarda qarshilik koeffitsiyentini aniqlashga oid ilmiy ishlarda asosan amplitudaning so'nishi, energiya yo'qotilishi va logarifmik decrement usullaridan foydalanilgan. Tadqiqotchilar tomonidan tebranma va aylanma harakatlarda havo qarshiligi hamda ishqalanish kuchlarining tizim dinamikasiga ta'siri o'rganilgan. Ayrim ishlarda qarshilik kuchi tezlikka proporsional deb olinib, eksperimental ma'lumotlar asosida qarshilik koeffitsiyenti hisoblangan. Shu bilan birga, an'anaviy laboratoriya usullarida o'lchash aniqligi cheklanganligi sababli natijalarda ma'lum xatoliklar kuzatilishi qayd etilgan.

Maksvell mayatnigining harakati tahlili ko'pincha mexanik energiyaning turli ko'rinishlarda, jumladan aylanma harakat kinetik energiyaga aylanishi, aylanma harakatda inersiya tushunchasi va ishqalanish ta'siri kabi asosiy tushunchalarni o'rganish usuli sifatida beriladi. 1998-yil Pecori va Torzolar Maksvell mayatnigining dinamikasini juda batafsil tahlil qilgan. Ularning o'rganishida, tebranma harakatini kuzatish uchun ultratovush sensori vositalari kompyuterga ulangan va olingan natijalar tahlil qilingan.

2024-yilda Concetto Gianino, Laura Distefano, Luca Finocchiaro, Simona Gava, Nadia Gurriyeri, hamda Katia Santisi tomonidan chop etilgan \**“Analysis of the Motion of Maxwell’s Wheel Using Tracker Video Analysis and Measurement of the Moment of Inertia”*\* nomli ilmiy maqolada Maksvell mayatnigi harakati Tracker Video Analysis dasturi yordamida eksperimental jihatdan tahlil qilingan. Tadqiqotda videoanaliz texnologiyasi asosida mayatnikning koordinata, tezlik va tezlanish parametrlarining vaqtga bog‘liqligi o‘rganilib, harakatning dinamik xususiyatlari aniqlangan. Shuningdek, eksperimental ma’lumotlar asosida tizimning inersiya momenti hisoblangan hamda videoanaliz usulining mexanika laboratoriya mashg‘ulotlarida yuqori aniqlik va samaradorlikka ega ekanligi ko‘rsatib berilgan.

### **Tadqiqot metodologiyasi**

Maksvell mayatnigi massa markazidan o‘tuvchi o‘q bo‘ylab bir yo‘nalishda o‘ralgan ikkita ip yordamida osilgan g‘ildirakdan tashkil topgan mexanik tizimdir (1-rasmga qarang). G‘ildirakni eng yuqori nuqtadan qo‘yib yuborilganda, u aylanma harakatini boshlaydi hamda bir vaqtning o‘zida ilgariylanma va aylanma harakat kinetik energiyaga ega bo‘ladi.

Eng past nuqtaga yetganda, aylanma harakat kinetik energiyasi ta’sirida iplar yana o‘raladi va g‘ildirakni yana eng yuqori nuqtaga olib chiqadi. Shu tarzda, potensial energiyasi doimiy ravishda aylanma harakat kinetik energiyaga va aksincha aylantiriladi.



## 1-rasm. Maksvell mayatnigining ko‘rinishi.

Mazkur tadqiqotda Maksvell mayatnigi harakatidagi qarshilik koeffitsiyentini aniqlash uchun eksperimental va raqamli videoanaliz metodlaridan foydalanildi. Tadqiqotning asosiy maqsadi mayatnik harakati davomida yuzaga keladigan energiya yo‘qotilishi va amplitudaning so‘nishini tahlil qilish orqali qarshilik koeffitsiyentini aniqlashdan iborat bo‘ldi. Tajriba jarayonida olingan video ma’lumotlar Tracker Video Analysis dasturi yordamida qayta ishlanib, harakatning kinematik parametrlari hisoblandi.

Tadqiqot quyidagi laboratoriya jihozlari yordamida amalga oshirildi: Maksvell mayatnigi qurilmasi, smartfon yoki raqamli videokamera, o‘lchov chizg‘ichi, kompyuter, Tracker Video Analysis dasturi.

Tajriba davomida mayatnik ma’lum balandlikdan qo‘yib yuborildi va uning harakati videoga olindi. Eksperimental natijalarning aniqligini oshirish maqsadida videotasvir olish jarayoniga alohida e’tibor qaratildi. Kamera mayatnik harakat tekisligiga perpendikulyar holatda o‘rnatildi. Tasvir olish vaqtida kamera silkinishining oldini olish uchun shtativdan foydalanildi. Video kamida 60 FPS chastotada yozib olindi, bu esa harakatning har bir bosqichini aniq qayd qilish imkonini berdi. Tasvirda masshtabni aniqlash uchun mayatnik yoniga o‘lchov lineykasi joylashtirildi. Bu Tracker dasturida real koordinatalarni aniqlash uchun kalibrlash vazifasini bajardi.

Olingan video fayl Tracker dasturiga yuklandi. Dasturda avvalo koordinatalar tizimi o‘rnatildi va masshtab kalibrovkasi amalga oshirildi. Kalibrovka uchun namuna sifatida mayatnik ustunlaridan biri tanlandi. Shundan so‘ng mayatnik markazining har bir kadrda koordinatalari avtomatik yoki yarim avtomatik tarzda belgilandi. Eksperimental ma’lumotlar grafik ko‘rinishda tahlil qilinib, harakatning so‘nunchi xarakteri aniqlandi.

Maksvell mayatnigi harakati real sharoitda qarshilik kuchlari ta’sirida amalga oshadi. Qarshilik kuchi tezlikka proporsional deb qabul qilindi:

$$F = -bv, \quad (1)$$

bu yerda  $b$  – qarshilik koefitsiyenti,  $v$  – jism tezligi.

Mayatnik amplitudasining vaqt bo'yicha kamayishi eksponensial qonun asosida ifodalanadi:

$$A = A_0 e^{-\beta t}, \quad (2)$$

bu yerda  $A_0$  – boshlang'ich amplituda,  $A$  –  $t$  vaqt momentidagi amplituda,  $\beta$  – so'nish koeffitsiyenti.

(2) ifodadan so'nish koeffitsiyentini topadigan bo'lsak:

$$\beta = -\frac{1}{t} \ln \frac{A_0}{A} \quad (3)$$

Qarshilik koeffitsiyentini so'nish koeffitsiyenti orqali bog'lanishda tizimning inertsia momenti orqali ifodalash quyidagicha:

$$b = 2I\beta. \quad (4)$$

Maksvell mayatnigining inersiya momentini tushish vaqti, massasi, balandligi, o'q radiusi orqali hisoblab topish ifodasi:

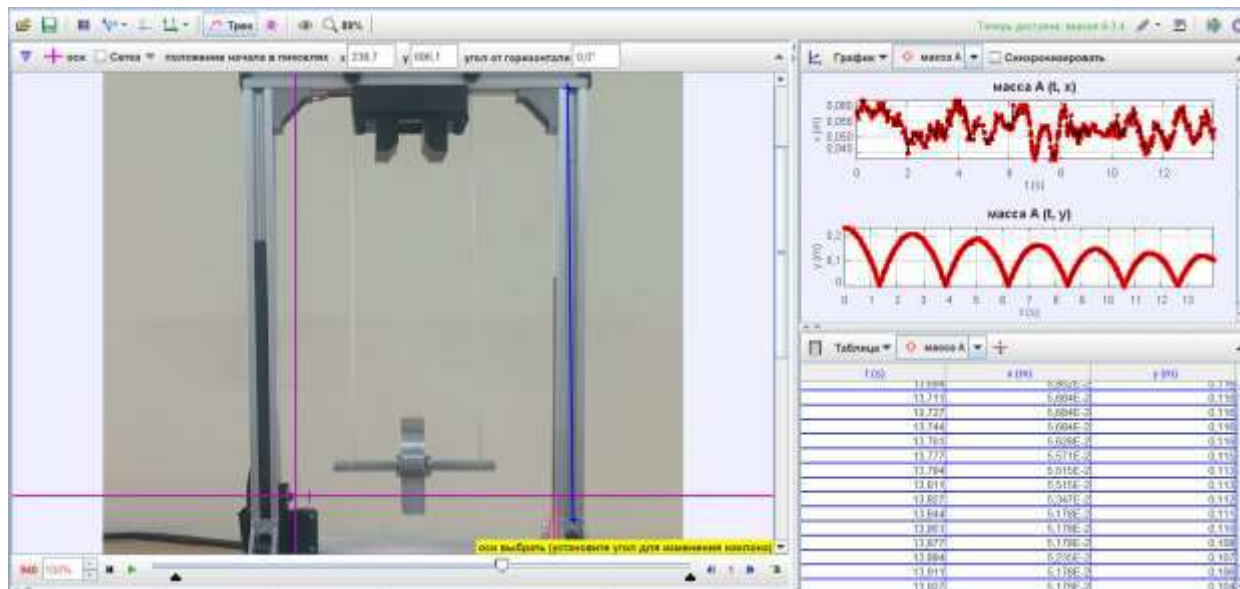
$$I = mr^2 \left( \frac{gt^2}{2h} - 1 \right), \quad (4)$$

bu yerda  $m$  – Maksvell mayatnikning maxovik va uning o'qi bilan birgalikdagi massasi,  $r$  – o'qning radiusi, qarshilik koeffitsiyenti qarshilik koeffitsiyenti

Tracker dasturidan olingan koordinata va vaqt qiymatlari Microsoft Excel hamda matematik tahlil usullari yordamida qayta ishlanib, amplitudaning kamayish grafigi qurildi. Grafik ma'lumotlarga eksponensial approksimatsiya qo'llanildi va undan so'nish koeffitsiyenti qiymati aniqlandi.

### **Tahlil va natijalar**

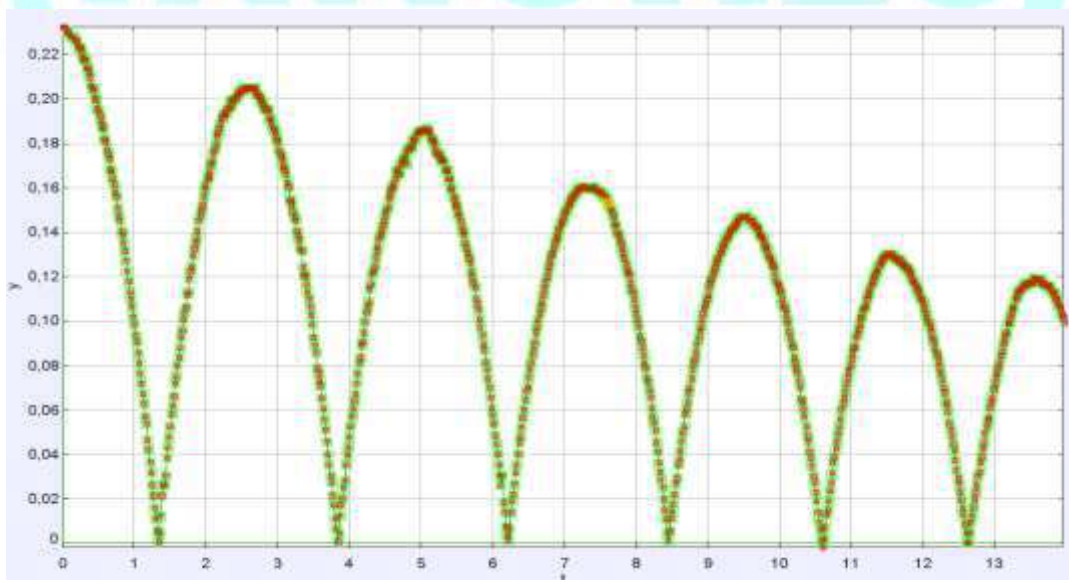
Mazkur tadqiqotda Maksvell mayatnigining harakati Tracker Video Analysis dasturi yordamida videoanaliz qilinib, mayatnikning koordinatasi, tezligi va amplitudasining vaqt bo'yicha o'zgarishi o'rganildi(2-rasm). Olingan eksperimental ma'lumotlar asosida tizimdagi energiya yo'qotilishi hamda qarshilik kuchining ta'siri tahlil qilindi.



2-rasm. Video tahlil jarayoni

Videoanaliz natijalari mayatnik harakatining ideal emasligini ko‘rsatdi. Nazariy jihatdan energiya saqlanishi kerak bo‘lsa-da, tajribada amplitudaning har bir siklda kamayib borishi kuzatildi. Bu esa tizimga havo qarshiligi, ipdagi ichki ishqalanish va tayanch qismlaridagi mexanik yo‘qotishlar ta’sir qilayotganligini tasdiqlaydi.

Tracker dasturida olingan koordinata–vaqt grafigi asosida mayatnikning tebranma harakati davriy xarakterga ega ekanligi va amplituda qiymatlarining vaqt o‘tishi bilan eksponensial kamayishi 3-rasmda ko‘rishingiz mumkin.



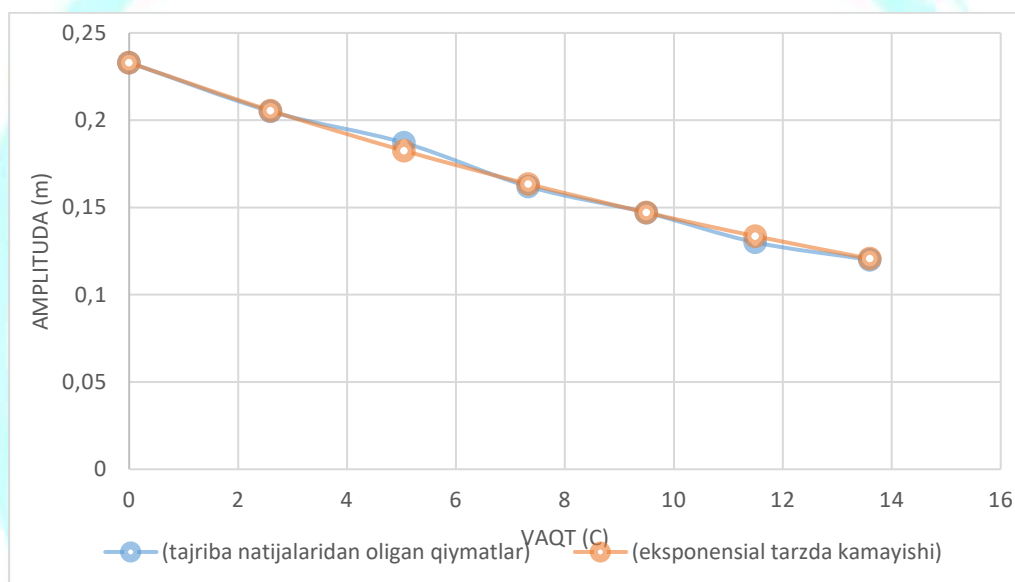
3-rasm. Mayatnik ko‘tarilish balandligining vaqtga bog‘liqlik grafigi

Mayatnikning boshlang‘ich nuqtasi va har gal eng yuqori ko‘tarilgan koordinalarini qayd qilsak quyidagi qiymatga ega bo‘lamiz.

A(m)	0.233	0.205	0.187	0.16	0.147	0.13	0.12
t(c)	0	2.6	5.05	7.33	9.5	11.5	13.6

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, amplituda qiymatlari vaqt ortishi bilan eksponensial qonun bo‘yicha kamaymoqda. Shu sababli amplitudaning vaqtga bog‘liqligi (3) tenglama orqali so‘nish ko‘effitsiyentlarni aniqlandi va o‘rtacha  $\beta = 0.0484 \text{ c}^{-1}$  qiymatga teng ekanligi namoyon bo‘ldi.

Quyidagi 4-rasmda eksperimental va matematik model asosida aniqlangan amplitudaning vaqtga nisbatan bog‘liqligi keltirilgan.



4-rasm. Amplitudaning kamayib borishining vaqtga bog‘liqligi

Olingan natija Maksvell mayatnigi harakatida amplitudaning eksponensial tarzda kamayishini va tizimda energiya yo‘qotilishi mavjudligini ko‘r. So‘nish ko‘effitsiyentining kichik qiymati qarshilik kuchlari nisbatan kichik ekanligini, biroq ular harakat dinamikasiga sezilarli ta‘sir qilishini ko‘rishimiz mumkin.

Maksvell mayatnigi harakatidagi qarshilik ko‘effitsiyentini aniqlashda avvalo amplitudaning vaqt bo‘yicha kamayishi tahlil qilindi. Tajriba natijalari asosida amplituda qiymatlarining vaqt o‘tishi bilan eksponensial tarzda kamayishi kuzatildi. Bu holat tizimda havo qarshiligi hamda ishqalanish kuchlari mavjudligini ko‘rsatadi.

Endi tizimning qarshilik ko‘effitsiyenti aniqlash uchun mayatnikning inersiya momentidan foydalanamiz. Maksvell mayatnigining inertsiya momentini topish

maqsadida (5) ifodadan foydalanamiz. Maksvell mayatnigining massasini tarozida o'lchab, uning massasini 0,362 kg ga teng deb qabul qilamiz. Mayatnik o'qining radiusi esa  $r = 0.004 \text{ m}$  ta teng ekanligini shtangensirkul yordamida aniqlab oldik.

Tajribada Maksvell mayatnigining tushish balandligi  $h=0.23 \text{ m}$  va tushish vaqti  $t=1.3 \text{ c}$  ekanligi qayt etildi. Ushbu qiymatlar inersiya momentini hisoblash uchun (4) formulasiga qo'yildi. Hisoblash natijasida mayatnikning inersiya momenti  $I = 2.03 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2$  ga teng ekanligi aniqlandi.

Maksvell mayatnigining so'nuvchi tebranma harakatini tavsiflovchi muhim kattaliklardan biri qarshilik koeffitsiyenti hisoblanadi. Ushbu kattalik tizimda mavjud bo'lgan ishqalanish va qarshilik kuchlarining tebranma harakatga ta'sirini miqdoriy jihatdan baholash imkonini beradi. Qarshilik koeffitsiyenti inersiya momenti va so'nish koeffitsiyenti orqali quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$b = 2I\beta. \quad (5)$$

Qarshilik koeffitsiyentini qiymatini hisoblasak:

$$b = 2 \cdot 2.03 \cdot 10^{-4} \cdot 0.0484 = 1.965 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^2/\text{c}$$

ga teng ekanligini ko'rishimiz mumkin.

### **Xulosa va takliflar**

Olingan natija mayatnikning tebranma harakati davomida energiyaning ishqalanish va boshqa dissipativ omillar ta'sirida yo'qolishini tavsiflaydi. Qarshilik koeffitsiyentining nisbatan kichik qiymatga ega bo'lishi tizimda energiya yo'qotishlari katta emasligini va tebranishlar amplitudasining vaqt o'tishi bilan asta-sekin kamayishini ko'rsatadi. Shu sababli mazkur koeffitsiyent Maksvell mayatnigining so'nuvchi tebranma harakatini tavsiflovchi asosiy parametrlar qatoriga kiradi.

Nazariy tahlillarga ko'ra qarshilik koeffitsiyenti so'nish koeffitsiyenti hamda inersiya momentiga to'g'ri proporsional bo'ladi. Hisoblash natijalariga ko'ra qarshilik koeffitsiyenti juda kichik qiymatga ega ekanligi aniqlandi. Bu esa tajriba davomida energiya yo'qotilishi sekin sodir bo'lishini va tizimdagi qarshilik kuchlari nisbatan kichik ekanligini ko'rsatadi.

Olingan natijalar Maksvell mayatnigi harakati ideal emasligini, real sharoitda esa havo qarshiligi va ishqalanish kuchlari sababli mexanik energiya asta-sekin kamayib borishini tasdiqlaydi. Shuningdek, Tracker Video Analysis dasturi yordamida amalga oshirilgan videoanaliz usuli qarshilik koeffitsiyentini yuqori aniqlikda aniqlash imkonini berishi ko‘rsatdi.

#### **Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati.**

1. Antonio Amoroso, M. R. (2018). Study of oscillatory motion using smartphones and tracker software. *Journal of Physics*, 1076.
2. Barbara Pecori, G. T. (1998). The Maxwell Wheel Investigated with MBL. *THE PHYSICS TEACHER*, 362-366.
3. Concetto Gianino, L. D. (2024). Analysis of the Motion of Maxwell’s wheel Using. *Lajpe*, 1-5.
4. Douglas Brown, A. J. (2009). Innovative uses of video analysis. *The Physics Teacher*, 47(328), 145-150.
5. Loo Kang WEE, C. C. (2012). Using Tracker as a pedagogical. *PHYSICS EDUCATION*, 47(4), 448.
6. S. TROCARU, C. B. (2020). Using tracker as video analysis and augmented reality tool for investigation of the oscillations for coupled pendula. *Romanian Reports in Physics*, 72(902), 1-16.