

UDC 629.331:621.317

DOI <https://doi.org/10.52171/herald.396>

## **Diagnostic Testing of Electric Vehicles and Hybrid Power Units using Mobile Drum Test Stands**

**M.M. Hamidov, Z.Kh. Karimov**

*Azerbaijan Technical University (Baku, Azerbaijan)*

### **For correspondence:**

Mirhəmid Həmidov / e-mail: [mirhemid.hemidov@aztu.edu.az](mailto:mirhemid.hemidov@aztu.edu.az)

### **Abstract**

The paper presents a detailed description and analysis of the main configurations of electric vehicles and combined power units, explains their operating principles, and identifies the key diagnostic parameters. In addition, the functionality of hybrid power units (HPUs) of wheeled vehicles under various operating modes is analyzed, and diagnostic methods on power and inertia test benches with moving drums are considered. The main objective of the study is to investigate diagnostic methods for wheeled vehicles equipped with power units on power and inertia test benches using operating drums. To achieve this objective, statistical analysis methods were employed. The conducted studies demonstrate that the use of hybrid test benches is essential to ensure highly informative and stable test modes during the diagnostics of wheeled vehicles equipped with power units. The obtained results are recommended for application in the diagnostics of wheeled vehicles equipped with power units on test benches with moving drums.

**Keywords:** automobile, electric vehicle, hybrid power unit, electric motor, series–parallel configuration, inertia test bench

*Submitted* 27 November 2025

*Published* 16 March 2026

### **For citation:**

M.M. Hamidov, Z.Z. Karimov

[Diagnostic Testing of Electric Vehicles and Hybrid Power Units using Mobile Drum Test Stands]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2026, vol. 18 (1), pp. 53-60

ISSN (p): 2076-0515, ISSN (e): 2789-8245

CC BY-NC 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

## **Elektromobillərin və Kombinə olunmuş güc qurğularının hərəkətli barabanlı stendlərdə diaqnostikası**

**M.M. Həmidov, Z.X. Kərimov**

*Azərbaycan Texniki Universiteti (Bakı, Azərbaycan)*

### **Xülasə**

Məqalədə elektromobillərin və kombinə olunmuş güc qurğularının əsas konfigurasiyalarının ətraflı təsviri və təhlili təqdim olunur, onların iş prinsipləri izah edilir və əsas diaqnostik parametrlər müəyyən edilir. Həmçinin, təkərli nəqliyyat vasitələrinin müxtəlif iş rejimlərində hibrid güc qurğularının (HGQ) funksionallığı təhlil edilir, hərəkətli barabanlı güc və inersiya sınaq stendlərində diaqnostika üsulları nəzərdən keçirilir. Tədqiqatın əsas məqsədi GSU-lu KTS-lərin (güc qurğularına malik təkərli nəqliyyat vasitələrinin) güc və inersiya sınaq stendlərində işlək barabanlar vasitəsilə diaqnostika üsullarının araşdırılmasıdır. Bu məqsədə nail olmaq üçün statistik analiz metodlarından istifadə olunmuşdur. Aparılmış tədqiqatlar GSU-lu KTS-lərin diaqnostikası zamanı yüksək informativlik və stabillik təmin edən sınaq rejimlərinin əldə edilməsi üçün hibrid sınaq stendlərindən istifadənin zəruri olduğunu göstərir. Əldə olunan nəticələrin hərəkətli barabanlara malik sınaq stendlərində GSU-lu KTS-lərin diaqnostikasında tətbiqi tövsiyə olunur.

**Açar sözlər:** avtomobil, elektromobil, hibrid güc qurğusu, elektrik mühərriki, ardıcıl-paralel sxem, inersiya sınaq stendi

---

## **Диагностика электромобилей и комбинированных силовых установок на стендах с подвижными барабанами**

**M.M. Гамидов, З.Х. Каримов**

*Азербайджанский технический университет (Баку, Азербайджан)*

### **Аннотация**

В статье представлен подробный анализ и описание основных конфигураций электромобилей и комбинированных силовых установок, разъясняются принципы их работы и определяются основные диагностические параметры. Также проведён анализ функциональных возможностей гибридных силовых установок (ГСУ) колесных транспортных средств в различных режимах работы, рассмотрены методы диагностики на мощностных и инерционных испытательных стендах с подвижными барабанами. Основной целью исследования является изучение методов диагностики колесных транспортных средств с силовой установкой на мощностных и инерционных испытательных стендах с рабочими барабанами. Для достижения поставленной цели использованы методы статистического анализа. Проведённые исследования показывают, что при диагностике колесных транспортных средств с силовой установкой применение гибридных испытательных стендов является необходимым условием для обеспечения высокоинформативных и устойчивых режимов испытаний. Полученные результаты рекомендуется применять при диагностике колесных транспортных средств с силовой установкой на испытательных стендах с подвижными барабанами.

**Ключевые слова:** автомобиль, электромобиль, гибридная силовая установка, электродвигатель, последовательно-параллельная схема, инерционный испытательный стенд.

## Giriş

Müasir nəqliyyat vasitələrinin (NV) diaqnostikasında kompüter texnologiyalarının tətbiqi sürətlə genişlənir. Hər bir avtomobil modeli üçün xüsusi diaqnostika proqramları işlənib hazırlanır və bu proqramlarda diaqnostika əməliyyatlarının nomenklaturası, rejimləri, parametrlərin hesablama düsturları, buraxıla bilən hədlər və məntiqi təhlil alqoritmləri öz əksini tapır. Proqram təminatı, tələb olunan yoxlama rejimi təmin olunmadıqda, diaqnostik əməliyyatların icrasını avtomatik olaraq məhdudlaşdırır.

Son illərdə ekoloji tələblərin sərtləşməsi və yamacaq səmərəliliyinin artırılması məqsədilə hibrid və elektrik nəqliyyat vasitələrinin istehsalı və istismarı genişlənməmişdir. 2025-ci ilin ilk yarısında Azərbaycanda təxminən 105 minə yaxın hibrid və elektrik nəqliyyat vasitəsi qeydiyyatla alınmışdır və bu göstəricinin 2050-ci ilə qədər 450 minə çatacağı proqnozlaşdırılır. Bu artım istismar şəraitində effektiv diaqnostika üsullarına olan tələbatı daha da aktualaşdırır.

## İşin məqsədi

Tədqiqatın əsas məqsədi elektromobillərin və kombinə olunmuş güc qurğularına malik təkərli nəqliyyat vasitələrinin (GSU-lu KTS) istismar şəraitində texniki vəziyyətinin qiymətləndirilməsi üçün hərəkətli barabanlı güc və inersiya sınaq stendlərində tətbiq edilən diaqnostika üsullarının təhlili və təkmilləşdirilməsidir [1].

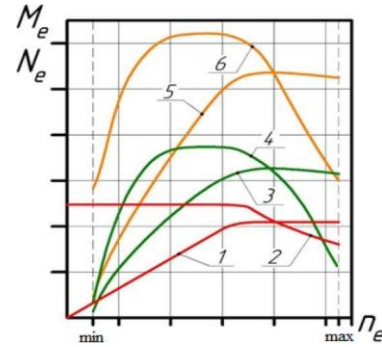
## Məsələnin qoyuluşu

Müasir hibrid və elektrik nəqliyyat vasitələrinin konstruktiv mürəkkəbliyi istismar zamanı nasazlıqların aşkar edilməsini çətinləşdirir [2-3]. Ənənəvi güc sınaq stendləri yalnız sabit rejimləri, inersiya sınaq stendləri isə əsasən keçid rejimlərini (sürətlənmə, ləngimə) simulyasiya edə bilər. Lakin GSU-lu KTS-lərin real istismar şəraitində effektiv diaqnostikası üçün həm güc, həm də dinamik rejimlərin eyni vaxtda təmin edilməsi tələb olunur. Bu isə mövcud stend konstruksiyalarının funksional imkanlarını məhdudlaşdırır [4-9].

## Məsələnin həlli

Elektrik sürücü qurğularının bir çox konfigurasiyası mövcuddur və ardıcıl, paralel və ardıcıl-paralel sxemli hibrid güc qurğuları kimi təsnif olunur. Onların iş prinsipləri və funksional xüsusiyyətlərinin təhlilinə baxaq.

Elektrik mühərrik-generatoru daxili yanma mühərriki (DYM) ilə birlikdə işləyə bilər. Bu, xüsusilə yamacda sürətlənmə zamanı, DYM gücünün kifayət etmədiyi hallarda və ya nəqliyyat vasitəsinin intensiv sürətlənməsi tələb olunduqda tətbiq edilir. DYM və elektrik mühərrik-generatorunun birgə işi hibrid ötürmənin xarici sürət xarakteristikalarında göstərilmişdir (Şəkil 1).



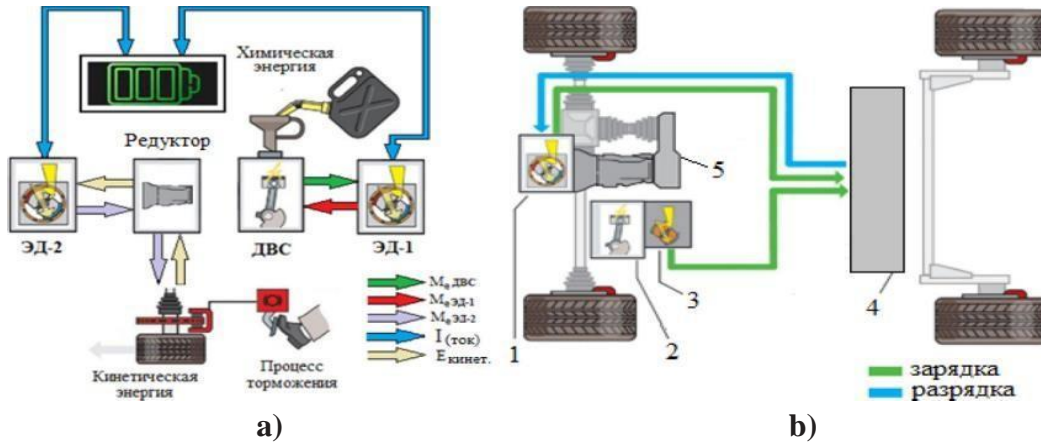
**Şəkil 1** – Hibrid ötürmənin xarici sürət xarakteristikaları: 1 – elektrik mühərrikinin gücü  $N_{eED}$ ; 2 – elektrik mühərrikinin fırlanma momenti  $M_{eED}$ ; 3 – DYM gücü  $N_{eICE}$ ; 4 – DYM fırlanma momenti  $M_{eICE}$ ; 5 – güc qurğusunun ümumi gücü  $N_e$ ; 6 – GSU-nun ümumi fırlanma momenti  $M_e$ ,  $min$  – DYM-nin minimum krank mili fırlanma sürəti;  $max$  – DYM-nin maksimum krank mili fırlanma sürəti.

**Figure 1** – External speed characteristics of the hybrid transmission: 1 – power of the electric motor  $N_{eED}$ ; 2 – torque of the electric motor  $M_{eED}$ ; 3 – power of the internal combustion engine (ICE)  $N_{eICE}$ ; 4 – torque of the ICE  $M_{eICE}$ ; 5 – total power of the power unit  $N_e$ ; 6 – total torque of the powertrain  $M_e$ ,  $min$  – minimum crankshaft rotational speed of the ICE;  $max$  – maximum crankshaft rotational speed of the ICE.

Ardıcıl sxemdə daxili yanma mühərriki işə salındıqda elektrik mühərriki MG-1 starter rejimində işləyir, daha sonra generator rejiminə keçir və traksiya akkumulyatorunu doldurur.

MG-2 isə dartma elektrik mühərriki kimi çıxış edərək hərəkət təkərlərinə fırlanma momenti

ötürür və rekuperasiya rejimində akkumulyatoru doldurur (Şəkil 2)

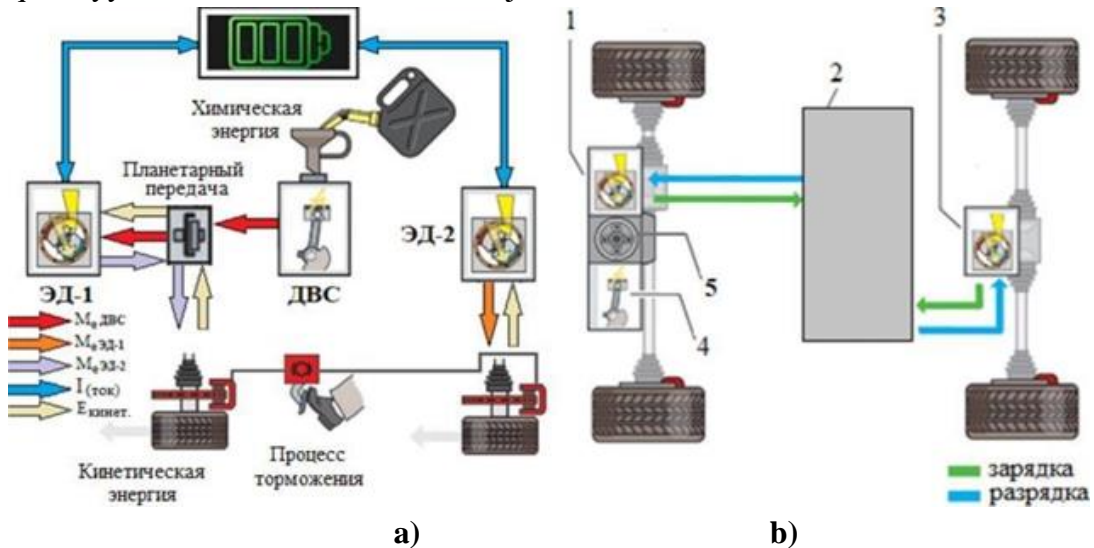


Şəkil 2 – Ardıcıl hibrid sisteminin sxem diaqramları: a – GSU prinsip sxemi; b – nəqliyyat vasitəsində yerləşmə sxemi. 1 – MG-2; 2 – daxili yanma mühərriki; 3 – MG-1; 4 – traksiyon akkumulyator; 5 – KTS transmissiyası.

Figure 2 – The schematic diagrams of the series hybrid system: a – principle scheme of the GSU; b – layout in the vehicle. 1 – MG-2; 2 – internal combustion engine; 3 – MG-1; 4 – traction battery; 5 – KTS transmission.

Bu sistemin əsas üstünlüyü daxili yanma mühərrikinin optimal rejimlərdə işləməsi və yanacaq sərfiyyatının azalmasıdır. Lakin enerji

çevrilmələrinin çoxluğu səbəbindən ardıcıl sxemin ümumi səmərəliliyi nisbətən aşağıdır.



Şəkil 3 – Ayrı seriyalı GSU: a – GSU-nun prinsip sxemi b – avtomobildə GSU-nun yerləşdirmə sxemi: 1 – MG-1; 2 – dartış batareyası; 3 – MG-2; 4 – daxili yanma mühərriki; 5 – planetar ötürücü.

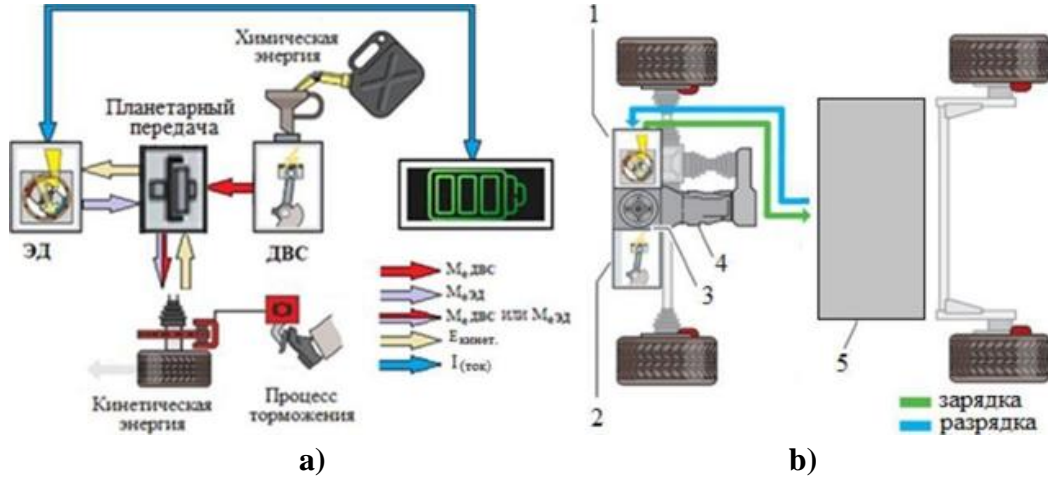
Figure 3 – Separate series GSU: a – principle scheme of the GSU; b – layout of the GSU in the vehicle: 1 – MG-1; 2 – traction battery; 3 – MG-2; 4 – internal combustion engine; 5 – planetary gearbox.

Paralel sxemdə DYM və elektrik mühərriki traksiya rejimində birlikdə fırlanma

momentini hərəkət təkərlərinə ötürür. Bu konfigurasiya yüksək dinamik xüsusiyyətlər və

yanacaq səmərəliliyi təmin edir. Elektrik mühərriki regenerasiya rejimində generator

kimi işləyərək traksiya akkumulyatorunu doldurur (Şəkil 4).

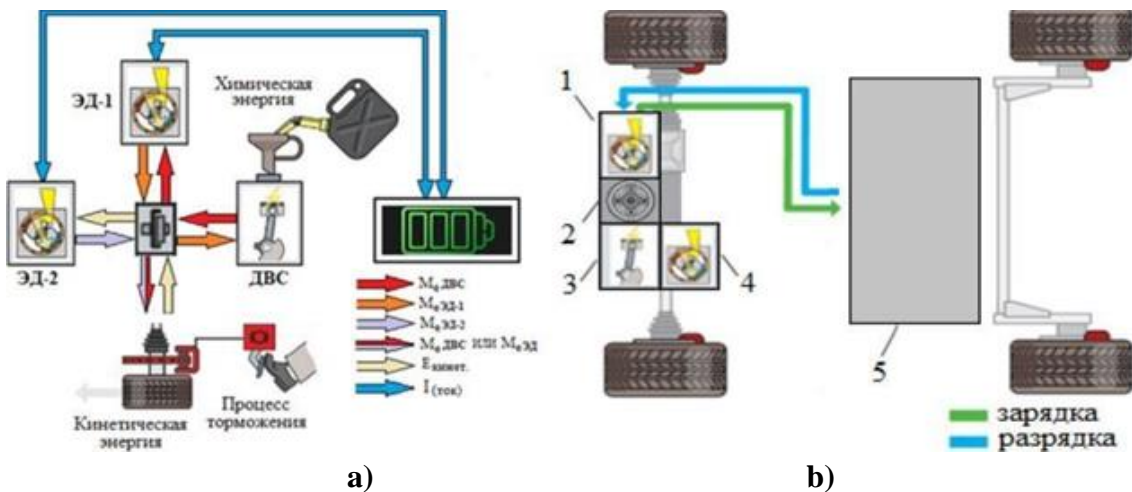


Şəkil 4 – Paralel GSU sxemi: a – GSU sxem diaqramı b – nəqliyyat vasitəsində GSU yerləşmə diaqramı: 1 – MG-1; 2 – daxili yanma mühərriki; 3 – planetar ötürücü; 4 – KTS transmissiyası; 5 – dartma akkumulyatoru.

Figure 4 – Parallel GSU scheme: a – GSU schematic diagram; b – layout of the GSU in the vehicle: 1 – MG-1; 2 – internal combustion engine; 3 – planetary gearbox; 4 – KTS transmission; 5 – traction battery.

Ardıcıl-paralel GSU sxemi ardıcıl və paralel sistemlərin üstünlüklərini birləşdirir (Şəkil 5). Bu sistemdə planetar ötürücü güc

axınlarını DYM, MG-1 və MG-2 arasında paylayır. Belə GSU sistemləri müasir hibrid avtomobillərdə, xüsusilə Toyota Prius modelində geniş tətbiq olunur [5-8].



Şəkil 5 – Ardıcıl-paralel GSU sxemi. a – GSU-nun sxem diaqramı b – nəqliyyat vasitələrində GSU-nun yerləşmə sxemi: 1 – MG-2; 2 – planetar ötürücü qutu; 3 – daxili yanma mühərriki; 4 – MG-1; 5 – dartma batareyası.

Figure 5 – Series-parallel GSU scheme: a – GSU schematic diagram; b – layout of the GSU in the vehicle: 1 – MG-2; 2 – planetary gearbox; 3 – internal combustion engine; 4 – MG-1; 5 – traction battery

Tədqiqatdan aydın olmuşdur ki, ardıcıl-parallel GSU-lar yüksək enerji səmərəliliyi və dinamik xüsusiyyətlərə malik olmaqla yanaşı, diaqnostika baxımından daha mürəkkəbdir.

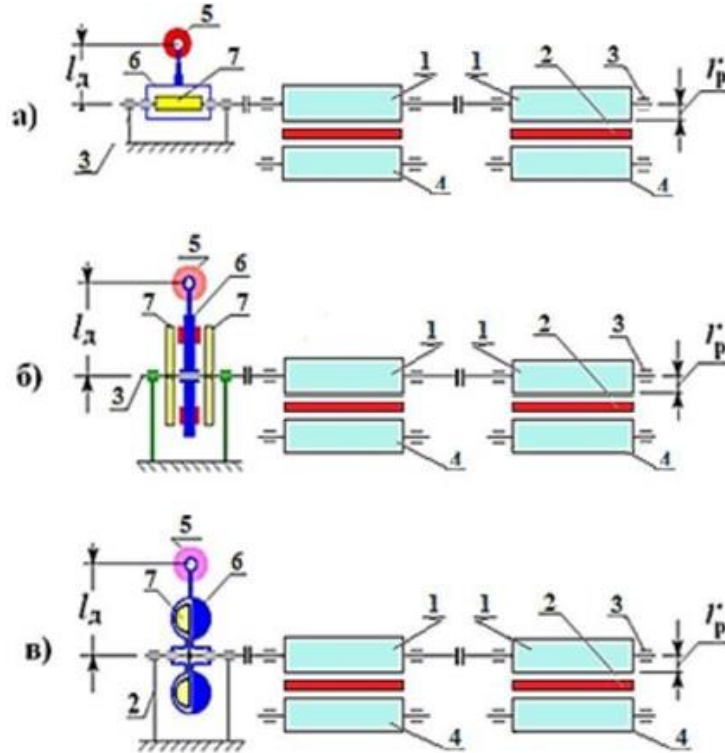
### Sınaq stendlərində diaqnostika üsulları

Hərəkətli barabanlı test stendləri elektromobillərin və hibrid nəqliyyat vasitələrinin

istismar şəraitində diaqnostikası üçün ən effektiv üsullardan biridir.

Bu stendlər yol hərəkətini simulyasiya etməyə, dartı və dinamik parametrləri ölçməyə imkan verir.

Dinamometrik stendlər dartı qüvvəsi, təkər gücü və ötürmə sistemində güc itkilərinin ölçülməsini təmin edir (Şəkil 6).



Şəkil 6 – Çəkiş keyfiyyəti test stendlərinin kinematik diaqramları [3]:

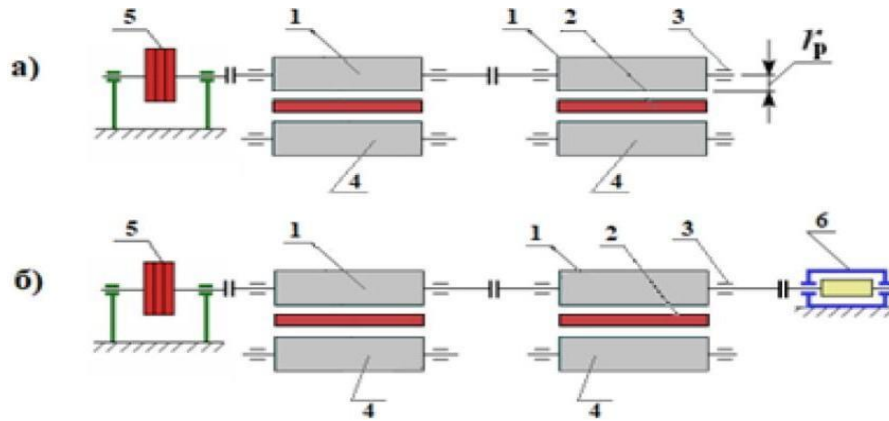
a) – balanslaşdırılmış elektrik mühərriki ilə; b) – balanslaşdırılmış elektrik əyləci ilə; c) – balanslaşdırılmış hidrodinamik əyləci ilə; 1 – sınaq stendi dayaq rulonları; 2 – izləmə sistemi rulonu; 3 – rulman dayaq; 4 – dayaq rulonları; 5 – deformasiya ölçən sensorlar; 6 – yük cihazının statoru; 7 – yük cihazının rotoru;  $l_d$  – reaksiya qolu cihazın statorunu fırlanmaqdan saxlayır;  $r_p$  – sınaq stendinin dayaq rulonunun radiusudur.

Figure 6 – Kinematic diagrams of traction quality test stands [3]:

a) – with a balanced electric motor; b) – with a balanced electric brake; c) – with a balanced hydrodynamic brake; 1 – support rollers of the test stand; 2 – tracking system roller; 3 – bearing supports; 4 – support rollers; 5 – strain gauge sensors; 6 – stator of the loading device; 7 – rotor of the loading device;  $l_d$  – reaction arm prevents the stator of the device from rotating.;  $r_p$  – radius of the test stand's support roller.

Güç test stendləri əsasən sabit rejimləri simulyasiya edə bildiyi halda, inersiya test stendləri sürətlənmə və yavaşlama kimi keçid rejimlərini simulyasiya edir (Şəkil 7).

İnertial stendlərdə əsas yükləmə elementi fırlanan disk olub, inersiya momenti nəqliyyat vasitəsinin dinamik xüsusiyyətlərinə uyğun seçilir.



**Şəkil 7** – İnersiya dartma sınaq stendlərinin kinematik diaqramları [3]: a) – tək fırlanan diskli; b) – tək fırlanan diskli və adi elektrik mühərrikli; 1 – stendin dəstək rulonları; 2 – zəncirli sistemin rulonu; 3 – rulman dayaqları; 4 – dəstək rulonları; 5 – ağırlıqlı təkər; 6 – elektrik mühərriki;  $r_p$  – dəstək rulonunun radiusudur.

**Figure 7** – Kinematic diagrams of inertia traction test stands [3]: a) – with a single rotating disc; b) – with a single rotating disc and a conventional electric motor; 1 – support rollers of the test stand; 2 – roller of the chain system; 3 – bearing supports; 4 – support rollers; 5 – flywheel; 6 – electric motor;  $r_p$  – radius of the support roller.

Hərəkətli barabanlı güc və inersiya sınaq stendlərinin funksional imkanlarının analizi göstərir ki, GSU-lu KTS-lərin effektiv diaqnostikası üçün aşağıdakılar eyni sınaq stendində təmin olunmalıdır.:

- sürətlənmə və yavaşlama rejimlərinin,
- yük altında sabit hərəkət rejimlərinin,
- dartı qüvvələrinin və güc parametrlərinin ölçülməsi.

Bu tələbləri ödəmək üçün güc və inersiya stendlərinin üstünlüklərini birləşdirən hibrid sınaq stendlərinin tətbiqi, həmçinin daxili yanma mühərriki və elektrik mühərriklərinin güc, fırlanma momenti, cərəyan və gərginlik parametrlərinin, həmçinin dartma akkumulyatorunun səmərəlilik göstəricilərinin ölçülməsi məqsədəuyğun hesab olunur [10-12].

## Nəticə

Hal-hazırda hibrid və elektrik nəqliyyat vasitələrinə istehlakçı tələbatının sürətlə artması onların istismar şəraitində texniki vəziyyətinin operativ

və etibarlı diaqnostikasını zəruri edir. Yanacaq səmərəliliyinin yüksəldilməsi və ekoloji tələblərin sərtləşdirilməsi bir tərəfdən bu nəqliyyat vasitələrinin geniş tətbiqinə şərait yaradır, digər tərəfdən isə qaz-elektrik güc qurğularına malik təkərli nəqliyyat vasitələrinin (GSU-lu KTS) texniki vəziyyətinə nəzarəti daha mürəkkəbləşdirir.

Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, yalnız güc və ya yalnız inersiya tipli sınaq stendləri GSU-lu KTS-lərin real istismar şəraitində tam və obyektiv diaqnostikasını təmin etmir. Effektiv diaqnostika üçün sürətlənmə və yavaşlama kimi keçid rejimlərinin, eləcə də yük altında sabit hərəkət rejimlərinin eyni sınaq prosesində təmin olunması vacibdir. Bu baxımdan güc və inersiya stendlərinin funksional üstünlüklərini birləşdirən, hərəkətli barabanlara malik hibrid tipli sınaq stendləri daha məqsədəuyğun hesab olunur.

Tədqiqat nəticələri sübut edir ki, belə stendlər daxili yanma mühərriklərinin və elektrik mühərriklərinin güc və fırlanma momentinin, təkərlərə ötürülən dartı qüvvələrinin, həmçinin dartı akku-

mulyatorlarının enerji səmərəliliyinin yüksək dəqiqliklə qiymətləndirilməsinə imkan verir. Bu işə nasazlıqların daha erkən mərhələdə aşkar edilməsini, diaqnostika prosesinə sərf olunan vaxt və əmək itkilərinin azalmasını təmin edir.

Nəticə etibarilə, hərəkətli barabanlı hibrid sınaq stendlərinin tətbiqi GSU-lu KTS-lərin istismar etibarlılığının və ekoloji təhlükəsizliyinin artırılmasına, eləcə də ümumi istismar xərclərinin azaldılmasına şərait yaradır.

Təklif olunan yanaşma elektromobillərin və kombine olunmuş güc qurğularına malik nəqliyyat vasitələrinin diaqnostika sistemlərinin gələcək inkişafı üçün elmi-texniki əsas kimi tövsiyə oluna bilər.

### **Maraqlar münaqişəsi**

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

## **REFERENCES**

1. **Rakov V.A.** Avtomobillərdə hibrid güc qurğularının texniki vəziyyətinin qiymətləndirilməsi metodologiyası – Sankt-Peterburq, 2012. Fedotkin, I.V. İnertial qaçış barabanları olan sınaq stendlərində nəqliyyat vasitələrinin hidromekanik ötürmələrinin diaqnostika metodu: 2010. – 170 s.
2. **Həmidov M.M., Namazov B.F., Qocayev Q.M.** Hibrid avtomobillər və yeni texnologiyalar (Elektromobillərin və kombine olunmuş avtomobillərin ekoloji təhlükəsizliyə təsiri). Dərs vəsaiti. Bakı, 2023. 269 s.
3. **Kərimov Z.X.** Avtotraktor mühərriklərinin qidalanma sistemləri. Dərslik. Bakı «Təhsil» NPM, 2012. 414 səh.
4. **Həmidov M.M.** Avtomobil və traktorların nəzəriyyəsi və konstruksiya edilməsinin əsasları. Dərslik. Bakı. 2010. 276 səh.
5. **Chan C.C., Chan K.T.** Müasir elektrik avtomobil texnologiyası. Oxford University, Prees New York, 2001.
6. **Lomakin V.V.** Hibrid avtomobillərin güc qurğusunun əsas parametrlərinin layihələndirmə zamanı seçilməsi meyarları / V.V..Lomakin, A.A. Şabanov // R.E. Alekseev adına NSTU-nun məcmuəsi. – 2016.
7. **Fedotov A.I.** Avtomobil diaqnostikası: "Nəqliyyat və texnoloji maşın və komplekslərin istismarı" bakalavr və magistr proqramı tələbələri üçün dərslik. Irkutsk. IrSTU, 2012.
8. **Fedotov A.I.** Elektrik və pilotsuz nəqliyyat vasitələrinin rulon stendlərində dartılma idarəetməsi və diaqnostikası / A. Fedotov. Xabarovsk, 24-26 iyun, 2019.
9. Həmidov M.M. Avtomobillərin konstruktiv təhlükəsizliyi. Dərs vəsaiti. Bakı 2013. 160 s.
10. **Edenov A.A.** Elektrik nəqliyyat vasitələri. Dərslik. 1998. 378 s.
11. **Hamidov, M.M., Manafov, Q.C.** Establishment of Infrastructure for Electric Vehicles in Azerbaijan (Problems and Prospects). Herald of Azerbaijan Engineering Academy, 2025, 17(2), 94–105. <https://doi.org/10.52171/herald.272>
12. **Fedotov A.I., Yankov O.S., Kiselev P.A., Ukhvatov D.O.** Avtomobil hibrid güc qurğularının iş barabanları ilə sınaq stendlərində diaqnostikası haqqında // International Journal of Advanced Studies. 2023. Cild 13, № 1. Səh. 42-61.