

UOT 621.313.333

ASINXRON MÜHƏRRİKLƏRİN VİBROAKTİVLİYİ**ABDULLAYEV V.H.**

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı

abdulvugar@mail.ru

AM elektrik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən ən geniş yayılmış maşınlar olmaqla müasir elektrik intiqallarının əsasını təşkil edir. Məqalədə asinxron mühərriklərin vibrasiya mənbələri, vibroaktivliyinin tədqiqi aparılmış və normallaşdırılması üsulları verilmişdir. Ümumiyyətlə, vibroaktivliyin təyini, nəinki, istismar zamanı nasazlığın təyin edilməsini mümkün edir, eləcə də, istehsal sınaqları zamanı informativ olmaqla bərabər, istehsal prosesinin keyfiyyətinin yüksəldilməsinə səbəb ola bilər.

Açar sözlər: asinxron mühərrik, mexaniki vibrasiyalar, maqnit vibrasiyalar, vibroaktivlik.

Giriş: İstehsal baxımından AM mürəkkəb sənaye məmulatları sinfinə aiddir və onların hazırlanması böyük miqdarda əmək, enerji, avadanlıq və nadir materialların (mis, alüminium, elektrotexniki polad, izolyasiya və s.) sərfi ilə bağlıdır. İstehsal prosesində AM –in keyfiyyətinə nəzarət və onun idarə olunması məsrəfləri ümumi istehsal xərclərinin 15 % - ə qədərini təşkil edir. İstismar zamanı bu maşınlarla xidmət onların təmirinə məsrəflər isə sənaye avadanlıqlarının müvafiq ümumi xərclərinin 5 % -dən artıqdır. AM-in qəbul və təhvil-təslim sınaqlarında vibrasiyaya və küylərin ölçülməsinə ancaq bir mərhələ ayrılmasına baxmayaraq, bu sınaqların məhsulun keyfiyyəti nöqtəyi-nəzərindən vacib və böyük həcmdə informasiya daşıdıqları təcrübədə təsdiq edilmişdir. Belə ki, AM-in və ümumiyyətlə elektrik maşınlarının nasazlıqlarının 80%-ə qədəri məhz vibroakustik parametrlərin ölçülməsi və emalı əsasında identifikasiya edilə bilər [1].

Mühərriklərin küy və vibrasiyalarının səviyyələri onların hissələrinin həndəsi ölçüləri və konfigurasiyalarından, maqnit və cərəyanlara görə yüklənmədən, ventilyasiya və yastıq qovşaqlarından, hissələrin emalı və yığılma keyfiyyətindən və s. bu kimi amillərdən asılıdır. EM-da vibrasiyalar və küylər əsasən aşağıdakı səbəblərdən yaranır [2]:

- rotorun qalıq disbalansı (qeyri-tarazlığı);
- valın ellips formasında olması;
- maqnit küyləri (elektromaqnit qüvvələri);
- aerodinamik qüvvələr;
- yastıqların və fırçaların defektləri.

Əksər hallarda vibrasiyalar və küylər çoxlu amillərin təsirindən yaranır, ona görə də onların səbəbləri barədə birmənalı qərar qəbul etmək mümkün olmur. Bu çətinliyi nəzərə alaraq yaranma səbəbinə görə vibrasiyaları iki qrupa (mexaniki və maqnit) bölürlər.

Mexaniki vibrasiyalar AM-in hissələrinin mexaniki qüvvələrin təsirindən rezonansı nəticəsində əmələ gəlir. Mexaniki vibrasiyalar əsasən aşağıdakı səbəblərdən yaranır [2]:

- hərəkət edən təmas səthlərinin (yastıqlar, sıxlaşdırıcılar, fırçalar) formalarının təhrifi;
- fırlanan hissələrin qeyri-tarazlığı.

Fırlanan hissələrin qeyri-tarazlığının meyarı kimi tarazlaşdırıcı yükün kütləsinin (qramlarla) yükün yerləşdirilməsi radiusuna (millimetrlərlə) hasili istifadə edilir. Xüsusi qalıq qeyri-tarazlığı standartlar və texniki şərtlərlə məhdudlaşdırılır. Məsələn, QOST 12327-66 EM-in rotorunun qalıq qeyri-tarazlığının buraxıla bilən qiymətlərini müəyyənləşdirir. Həmin standarta və meyarə əsasən EM mexaniki vibrasiyaların səviyyəsinə görə 3 sinfə bölünmüşdür:

- dəqiqlik sinfi 2 – ümumi tələblər qoyulan ümumi təyinatlı maşınlar;

- dəqiqlik sinfi 1 – xüsusi tələblər qoyulan maşınlar;
- dəqiqlik sinfi 0 – xüsusilə sərt tələblər qoyulan maşınlar.

Qeyri-tarazlıqdan əmələ gələn vibrasiyaları hesablamaq üçün bir sıra təqribi hesablama üsulları mövcuddur [2]. Lakin, bir faktı qeyd etmək lazımdır ki, real olaraq həm mexaniki vibrasiyaları (statik və dinamik qeyri-tarazlıqlar), həm də maqnit vibrasiyaları dəqiq bir-birindən fərqləndirmək və dəqiq təyin etmək mümkün olmur. Ona görə də həmin vibrasiyaları tamamilə aradan qaldırmaq mümkün olmur. Uzun müddət ərzində əldə olunmuş təcrübə və intuitiv mülahizələr əsasında mexaniki təbiətli vibrasiyaların azaldılmasına aşağıdakı tövsiyələr verilir:

- mexaniki vibrasiyaların əsas mənbəyi olan yastıqların və onlarla əlaqədə olan qovşaqların səmərəli konstruksiyalarının seçilməsi və hazırlanma dəqiqliyinin artırılması;
- yastıqların ən münasib iş rejimlərinin seçilməsi və təmin olunması.

Maqnit vibrasiyaları isə maşının hava boşluğundakı elektromaqnit qüvvələrinin təsirindən əmələ gəlir. Yəni, asinxron mühərriklərdə maqnit vibrasiyaların əsas mənbəyi stator və rotor arasında yaranan maqnit qüvvələrinin zamana və fəzaya görə dəyişmələridir. Təcrübə ilə müəyyən olunmuşdur ki, bu prosesə ən çox təsir edən radial qüvvələrdir.

Maqnit vibrasiyalarının hesablanması mürəkkəb məsələ olduğu üçün adətən 3 mərhələdə yerinə yetirilir [2] :

- 1) hava boşluğunda sahənin və radial qüvvələrin hesabı;
- 2) statorun statoruna ilə qarşılıqlı əlaqəsindən yaranan radial qüvvələrin və deformasiyaların hesabı;
- 3) məlum deformasiyalara əsasən vibrasiyaların hesabı.

Lakin hər üç mərhələdə qarşıya mürəkkəb metodoloji və informativ problemlər çıxır, ona görə də nəticələr dəqiq alınmur. Digər tərəfdən, hətta eyni tipli AM üçün maqnit vibrasiyaları böyük (10 dB – ə qədər ümumi səviyyəyə, 20 dB –ə qədər mürəkkəbələrə görə) səpələnmələrə malik olur. Bu fakt onu göstərir ki, hazırlanma texnologiyasının vibrasiya və küylərin səviyyəsinə təsiri böyükdür.

Maqnit təbiətli vibrasiyaların azaldılması məqsədi ilə aşağıdakı tövsiyələr mövcuddur:

- 1) elektromaqnit yüklənmənin azaldılması və ya maşının aktiv hissəsinin rəşional konstruksiya və formasını seçməklə radial qüvvələrin azaldılması;
- 2) maşının məxsusi tezliyi ilə həyacanlandırıcı qüvvələrin tezlik nisbətinin seçilməsi;
- 3) vibrasiyaların söndürülməsi.

Birinci yol konstruktiv-texnoloji üsullarla reallaşdırılır:

- stator və rotorun pazlarının nisbətinin və konstruksiyasının rəşional seçilməsi
- hava boşluğunun maksimal buraxılabilən həddə qədər artırılması;
- dolağın addımının rəşional seçilməsi;
- hava boşluğunun eksentritetinin minimallaşdırılması.

Xüsusi təyinatlı maşınlarda bu məqsədlə daha mürəkkəb üsul və vasitələrdən istifadə olunur ki, bu da heç də həmişə maşının digər parametrlərinə və konstruksiyasına təsirsiz qalmır.

Məlumdur ki, sənaye avadanlıq və maşınlarına çox vaxt biri digərinə əks olan (minimum həndəsi ölçülər, kütlə və enerji tələbetmə, maksimum etibarlılıq və işləmə qabiliyyəti, yerinə yetirilən əməliyyatların yüksək səmərəliliyi və s.) tələblər qoyulur. Digər tərəfdən, ölçülərin və kütlənin azaldılması avadanlığın dinamik gərginliyinin artmasına səbəb olur, bu isə, öz növbəsində, onun vibroaktivliyinin yüksəlməsinə gətirir.

Avadanlığın vibroaktivliyi çox mühüm amildir və layihələndirmə zamanı əsas meyar kimi götürülərək buraxılabilən həddlə məhdudlaşdırılmalıdır. Vibroaktivliyin əsas səbəblərindən biri də sürətin artırılmasıdır.

Beləliklə, vibrasiya kifayət qədər informativ parametr olaraq AM-in hazırlanma və yığılma keyfiyyəti, onun hissələrinin və qovşaqlarının aşınması, iş rejimi, etibarlılığı və təhlükəsizliyi barədə vacib operativ – texnoloji, statistik-proqnozlaşdırıcı xarakterli informasiya daşıyır. Ona görə də vibrasiyanın ölçülməsi və statistik analizi AM-in iş rejiminin

optimallaşdırılması və onun resursunun proqnozlaşdırılması istiqamətində mühüm əhəmiyyətə malikdir. Digər tərəfdən, vibrasiya siqnallarının emalı AM-in istehsalı zamanı onun əsas keyfiyyət göstəricisi olan vibroaktivliyin təyin olunub normallaşdırılması yolu ilə keyfiyyətə nəzarəti həyata keçirmək üçün əsas vasitələrdən biridir.

Texnikanın müxtəlif sahələrində vibrasiyanın məhdudlaşdırılması üçün müvafiq tələblər və normalar müəyyənləşdirilir. Tələblər dedikdə vibrasiyanın elə buraxıla bilən səviyyəsi nəzərdə tutulur ki, bu bütün iş rejimlərində və işçi şəraitdə ödənməlidir. Norma isə adətən statistika metodlarının əsasında vibrasiyanın real təmin ola biləcək minimum səviyyəsidir və bu səviyyənin təmin olunması vacibdir. Təbiidir ki, bütün iş rejimləri və işçi şəraitlər üçün vibrasiyanın eyni minimum səviyyəsini təmin etmək mümkün deyildir. Ona görə də normaların müəyyənləşdirilməsi kopromis qərar qəbul etməyi tələb edir. Çünki, vibrasiyanın səviyyəsinin müəyyən qiymətdən aşağı salınması AM-in digər vacib texniki-iqtisadi göstəricilərinə (istehsal xərcləri və vaxt məsrəfləri, ölçü-çəki, etibarlılıq və s.) təsir göstərir.

Beləliklə, AM-in vibroaktivliyi dedikdə bütövlükdə maşının və onun ayrı-ayrı qovşaqlarının hasil etdikləri vibrasiyalar başa düşülür.

Ümumiyyətlə, vibrotexnikada iki cür vibrasiyalara rast gəlinir [3]:

- 1) məxsusi vibrasiyalar – bu və ya digər iş rejimində obyektin özü və qovşaqları tərəfindən hasil olunan rəqslər;
- 2) məcburi vibrasiyalar – kənar təsir vasitəsi ilə həyəcanlandırma zamanı obyektin özü və qovşaqlarının məcburi rəqsləri.

Bu mənada mövcud obyektləri iki böyük qrupa bölmək olar:

- 1) statik obyektlər – hərəkət edən hissələrə malik olmur, ona görə də belə obyektlərdə birinci növ vibrasiyalar əmələ gəlmir;
- 2) dinamik obyektlər – hərəkət edən (rəqs edən) hissələrə malik olur, ona görə də bu tip obyektlərdə hər iki növ vibrasiyalar mümkündür.

AM dinamik elektromexaniki obyektlər sinfinə daxildir. Ona görə də bu maşınların sınaqları və diaqnostikası zamanı həm məxsusi, həm də məcburi vibrasiyaların ölçülməsi və analizi informativlik baxımından vacibdir.

Yuxarıda göstərilən faktla yanaşı, bir faktı da qeyd etmək lazımdır. Belə ki, texnoloji mexanizmlərin tərkibinə daxil olan mühərriklərin özündə baş verən defektlər əsasən onların y.i. rejimlərində üzə çıxır. Texnoloji hissəyə aid olan defektlər isə AM-in yük altında işləməsi zamanı meydana gəlir və onlar mühərrikin y.i. rejimindəki vibrasiyalarına təsir etmir. Ona görə də AM-in vibroaktivlik göstəricilərini əsasən y.i. rejimində tədqiq etmək məqsədəuyğundur. Xüsusi hallarda, yəni sifarişçinin texniki şərtlərində göstəriləndiyi zaman, AM-in vibroakustik xarakteristikalarını yük altında da ölçüb analiz etmək lazım gəlir.

Ümumiyyətlə, EM-in, eləcə də AM-in, vibroaktivliyinin tədqiqi üçün iki əsas istiqamətdə iş aparılır [4]:

- maşının hissə və qovşaqlarının vibrasiyalarının və gərginləşmiş vəziyyətlərinin hesablanması metodikalarının işlənməsi;
- maşının hissə və qovşaqlarının vibrovəziyyətinin və vibrodayanıqlığının müxtəlif mərhələlərdə qiymətləndirilməsi.

Birinci istiqamətdə, adətən, qovşağa təsir edən qüvvələrin (elektrodinamik və ətalət), onların rəqslərinin, gərginləşmiş vəziyyətlərinin, eləcə də qovşaqların qarşılıqlı əlaqələrinin hesabı metodları işlənilib hazırlanır.

İkinci istiqamət isə bilavasitə vibrasiyaların və onların maşınlarla (qovşaqlara) təsirinin öyrənilməsi ilə bağlıdır.

Təbiidir ki, mürəkkəb konstruksiyaya və çoxlu sayda hərəkət edən hissələrə və qovşaqlara malik olan maşınların vibroaktivliyini tədqiq etmək üçün həm riyazi və fiziki modelləşdirmədən, həm də intuisiya və təcrübədən istifadə etmək lazım gəlir.

Riyazi modellər adətən statistik yanaşma əsasında tərtib olunur və sınaq-diaqnostika işlərinin informasiya bazasının yaradılmasına, eləcə də maşınların optimal layihələndirilməsinə yönəlmişdir.

Fiziki modellər isə defektlərin səbəb və mənbələrinin öyrənilməsi yolu ilə onların üzə çıxarılmasının konkret metodlarının işlənilib hazırlanması məqsədini daşıyır.

EM-in texniki vəziyyətinin təyini və təhlili modelləri də iki qrupa bölünür [4,5]:

- 1) defektin əmələ gəlməsindən başlayaraq mühərrikin işdən çıxmasına qədər inkişafı prosesinin modeli;
- 2) fenomenoloji model- baxılan anadək defektlərin üzə çıxarılması və aradan qaldırılmasının metodoloji əsasını təşkil edir.

Birinci növ modellərin parametrləri AM-də baş verən fiziki proseslərin analizi əsasında təyin edilir. İkinci növ modelləşdirmə zamanı modelin parametrləri istismar, sınaq və diaqnostika informasiyasının statistik emalı yolu ilə qiymətləndirilir.

EM-in texniki vəziyyətinə nəzarət və diaqnostikanı (istər istismar, istərsə də istehsal vaxtı) çətinləşdirən iki amili qeyd etmək lazımdır [2]:

- 1) maşının işləməsi müxtəlif (mexaniki, maqnit, akustik və s.) və bir-biri ilə əlaqəli mürəkkəb proseslər və onların dəyişmələri ilə müşayiət olunur;
- 2) maşının elementləri arasındakı qarşılıqlı əlaqələr və təsirlər onların texniki vəziyyətlərini bir-birindən asılı edir, yəni mürəkkəb diaqnostik əlaqələrin yaranmasına səbəb olur.

Yuxarıda göstərilən səbəblərdən maşında əmələ gələn nasazlıqlar təsadüfi hadisələr kimi qəbul olunmalıdır. Bu səbəbdən də maşında baş verən elektromaqnit və vibrasiya prosesləri də təsadüfi proseslər kimi təhlil olunmalıdır.

Beləliklə, AM-in vibroaktivlik parametrləri və xarakteristikaları təsadüfi proseslərin (siqnalların) statistik emalı üsul və vasitələrinə söykənməlidir. Bu mənada, həmin proseslərin stasionallığı və əsasən harmonik xarakteri, erqotikliyi barədə hipotezlərin qəbul olunması [5,6,7] statistik analiz və emalı nisbətən sadələşdirməyə imkan verir.

AM-in vibroaktivliyinin tədqiqinin digər aspekti onlara mürəkkəb strukturlu dinamik elektromexaniki obyekt kimi baxılmasıdır.

Müasir sənaye avadanlığına bir sıra tələblər qoyulur [2,3] :

- həndəsi ölçülər, kütlə;
- tələb olunan enerji;
- etibarlılıq;
- uzunömürlülük;
- yerinə yetirilən əməliyyatların səmərəliliyi.

Adətən bu tələblər arasında ziddiyyətlər mövcud olur, ona görə də çox vaxt layihələndirmə zamanı kompromis axtarmaq lazım gəlir.

Məsələn, həndəsi ölçülərin və kütlənin azaldılması avadanlığın dinamik gərginliyinin artmasına və bu səbəbdən də vibroaktivliyin yüksəlməsinə gətirir. İzafi vibroaktivlik avadanlığın etibarlılığına və səmərəliliyinə mənfi təsir göstərir və onun istismarını çətinləşdirir

AM-in vibrovəziyyətinin identifikasiyası və onların vibroaktivliyində əmələ gələn dəyişmələrin qiymətləndirilməsi baxımından müasir riyazi statistikanın intensiv inkişaf etməkdə olan istiqaməti – stoxastik siqnalların və dinamik sistemlərin xüsusiyyətlərinin dəyişmələrinin aşkarlanmasının üsul və vasitələri [4,5] diqqəti cəlb edir.

Beləliklə, AM-in faktiki olaraq hər hansı bir nasazlığı vibrasiya şəklində özünü büruzə verir. Vibrasiya kifayət qədər informativ parametr olaraq AM-in hazırlanma və yığılma keyfiyyəti, onun hissələrinin və qovşaqlarının aşınması, iş rejimi, etibarlılığı və təhlükəsizliyi barədə vacib operativ–texnoloji, statistik-proqnozlaşdırıcı xarakterli informasiya daşıyır. Vibrasiyanın ölçülməsi və statistik analizi AM-in iş rejiminin optimallaşdırılması və onun resursunun proqnozlaşdırılması istiqamətində mühüm əhəmiyyətə malikdir. Digər tərəfdən, vibrasiya siqnallarının emalı AM-in istehsalı zamanı onun əsas keyfiyyət göstəricisi olan vibroaktivliyin təyin olunub normallaşdırılması yolu ilə keyfiyyətə nəzarəti həyata keçirmək üçün əsas vasitələrdən biridir. Buna görə də, AM-in vibroaktivliyinin tədqiqat metodları layihələndirmə (modernləşdirmə), istismar, təmir və istehsal prosesində istifadə oluna bilər.

-
1. *Hakan Çalış.* Vibration and motor current analysis of induction motors to diagnose mechanical faults, Journal of Vibroengineering, (Theoretical and practical aspects of Vibration Engineering), 2014, <https://www.jvejournal.com/article/15126/pdf>.
 2. *Бойко Е. П., Гаинцев Ю. В., Ковалев Ю. М.* и др. Асинхронные двигатели общего назначения ; Под ред. В. М. Петрова и А. Э. Кравчика. – М.: Энергия, 1980. – 488 с.
 3. *Баркова Н. А.* Введение в виброакустическую диагностику роторных машин и оборудования. Санкт – Петербург, 2003, 158 с.
 4. *Mariana Iorgulescu, Robert Beloiu.* Vibration and Current Monitoring for Fault's Diagnosis of Induction Motors. Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series, No. 32, 2008; ISSN1842-4805, <https://pdfs.semanticscholar.org/f881/47e9879a4d849f7c538b84897d8924955762.pdf>.
 5. *Mikhail Tsytkin,* Induction Motor Condition Monitoring: Vibration Analysis Technique - a Twice Line Frequency Component as a Diagnostic Tool. Vibration Specialty Corporation (VSC) https://www.academia.edu/35527352/Induction_Motor_Condition_Monitoring_Vibration_Analysis_Technique_-_a_Twice_Line_Frequency_Component_as_a_Diagnostic_Tool.
 6. <https://cable.ru/articles/id-1075.php> Вибрация электродвигателя и методы ее устранения.
 7. *Сидельников Леонид Григорьевич, Афанасьев Дмитрий Олегович.* Обзор методов контроля технического состояния асинхронных двигателей в процессе эксплуатации, <https://elibrary.ru/item.asp?id=21681537>.

ВИБРОАКТИВНОСТЬ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

АБДУЛЛАЕВ В.Г.

АД - самая распространенная машина, преобразующая электрическую энергию в механическую. В статье рассматриваются источники вибрации, исследования виброактивности асинхронных двигателей и методы нормализации. В целом, определение виброактивности может не только обнаружить неисправности во время работы, но также, будучи информативным во время производственных испытаний, может привести к качеству производственного процесса.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, механические колебания, магнитные колебания, виброактивность.

VIBROACTIVITY OF ASYNCHRONIC ENGINES

ABDULLAYEV V.H.

AE is the most widespread machine that transforms electrical energy into mechanical energy. The article is about vibration sources, vibroactivity studies of asynchronous motors and methods of normalization. In general, the determination of vibroactivity can not only detect malfunctions during operation, but also, informative - during production tests, may lead to the quality of the production process.

Key words: asynchronous engine, mechanical vibrations, magnetic vibrations, vibroactivity.