

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НИВАТА НА ВИБРАЦИИТЕ НА ЕЛЕКТРОКОМПРЕСОРЕН АГРЕГАТ

Пенко Цветков Петков¹, Анастас Иванов Иванов¹, Емил Николов Димитров²
ppekov@vtu.bg, aai2010@abv.bg, edim@tu-sofia.bg

¹ ВТУ “Тодор Каблешков”, 1574 София, ул. Гео Милев 158
² ТУ – София, Факултет “Електронна техника и технологии”,
БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *машинен агрегат «електродвигател – бутален компресор»; окачване на машинен агрегат; виброизолация; нива на вибрациите; виброизмервателна апаратура*

Резюме. *Трептенията, възникващи вследствие на работните процеси в силовите агрегати и спомагателното оборудване намаляват комфортността, надеждността и дълготрайността на транспортните средства. Нивата на вибрациите, предавани към пътническия салон и излъчваният структурен шум зависят основно от ефективността на виброизолацията им спрямо корпуса на транспортното средство.*

В работата е представено експериментално определяне нивата на вибрациите, генерирани от работния цикъл на машинен агрегат “електродвигател – бутален компресор” и е направен анализ на причините за възникването им. Такъв тип агрегати са монтирани на електрически мотрисни влакове. При функциониране на агрегатите са установени повишени нива на предаваните вибрации към пътническите салони на вагоните. За провеждане на експериментите е използвана специална виброизмервателна апаратура. Получените резултати са представени във вид на виброграми.

УВОД

Функционалният комфорт на транспортните средства е съвкупност от потенциални свойства, които характеризират условията при пътуване на пътниците и обслужващия персонал и съхраняване качеството на превозвания товар. Причини за възникване на вибрации и свързаният с тях шум, освен силите от взаимодействие на колелата с пътя, са работните процеси на силовите агрегати, механизмите от трансмисията, спомагателното оборудване и аеродинамичните сили при обтичането на корпуса от въздушната среда. Вибрации с висока интензивност се генерират вследствие на работния цикъл на бутални машини (двигатели с вътрешно горене и компресори). Нивата на вибрациите и вътрешния шум за различни видове транспортни средства не трябва да превишават зададени нормирани стойности, определящи състоянието на пътния комфорт [6].

1. Състояние на проблема и цел на изследването

Буталният компресор е периодично действаща машина, работният цикъл на който предизвиква генериране на интензивни вибрации. В честотния обхват до 100 Hz компресорът може да се разглежда като твърдо тяло. Основни източници, които предизвикват вибрации в надлъжната и напречна равнина на компресора, са неуравновесените инерционни сили и техните моменти. Честотата на вибрациите е равна или кратна на честотата на действащите инерционни сили и моменти. Реактивният момент предизвиква вибрации на корпуса на компресора в напречната равнина с честоти на хармоничните съставлящи, кратни на честотата на въртене на колянвия вал [2], [4]. Периодично променящите се сили и моменти се предават на фундамента, към който е монтиран компресорният агрегат. Закрепването на компресора към рамата на транспортното средство посредством амортизатори е свързано с намаляване на вибрациите, предавани към корпуса и понижаване на излъчвания структурен шум в пътническия салон. Желаният виброизолиращ ефект се проявява в случай, че честотата на собствените трептения на агрегата е значително по-ниска от честотите на смущаващите сили и моменти [3], [5].

Обект на изследване в работата е транспортен тип машинен агрегат “електродвигател – бутален компресор”. Такъв тип агрегати се монтират в локомотиви, мотрисни влакове, тролейбуси, кораби и др. На фиг. 1 е представена схема на „висящ” тип окачване на електрокомпресорен агрегат, използван в електрически мотрисни влакове. В общо масивно тяло са съединени задвижващият електродвигател, междинен двустъпален понижаващ зъбен редуктор и буталният компресор. Компресорът е двуцилиндров, редови с хоризонтално разположение на осите на цилиндрите [7]. Окачването е на три опори спрямо рамата, свързани с агрегата чрез вертикално разположени носещи елементи. Всяка опора представлява виброизолиращ възел, съставен от последователно и паралелно работещи сдвоени гумени виброизолатори и метални свързващи и центриращи елементи.

Независимо от приложената виброизолация, в процеса на експлоатация на мотрисните влакове при работа на електрокомпресорните агрегати на практика е установено повишено ниво на вибрациите, предавани към коша на вагоните. В пътническите салони вибрациите се възприемат от хората във вид на звук, ефектът от който е особено интензивен при неподвижен или движещ се с ниска скорост влак. За оценка на интензивността на вибрациите се използва нивото виброускорението

$$L_a = 20 \lg(a/a_0), \text{ dB},$$

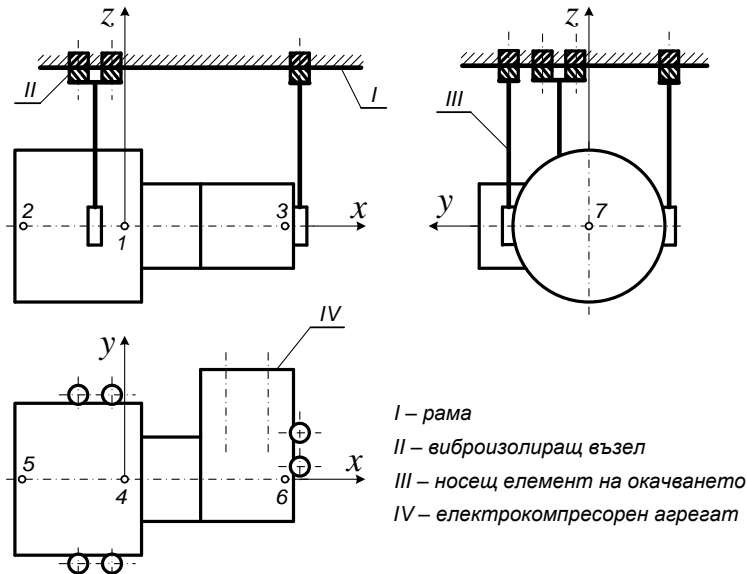
където a е средноквадратичната стойност на виброускорението, m/s^2 ; $a_0 = 3,4 \cdot 10^{-4} m/s^2$ - праговата стойност на виброускорението [6].

Целта на изследването е експериментално да се определят относителните нива на вибрациите, генерирани от работния процес на електрокомпресорния агрегат в зависимост от честотата на смущенията и установяване на резонансните зони.

2. Експериментално изследване

Експериментите за определяне нивата на вибрациите на електрокомпресорния агрегат са проведени при установен режим на работа (постоянна честота на въртене на вала и постоянно налягане на нагнетяване) и неподвижен мотрисен влак. За определяне на вибрационния спектър при работа на агрегата са извършени измервания в различни точки върху повърхността на корпуса му в три взаимно перпендикулярни направления. Местата на измерванията са в напречни равнини, преминаващи през лагерните опори на ротора на задвижващия електродвигател и колянвия вал на компресора. На фиг. 1 са показани местата, като са означени с цифри от 1 до 7. В точки

1, 2 и 3 са измерени нивата на виброускоренията в хоризонталната равнина по направление на оста y , в което са разположени осите на цилиндрите на компресора. Вибрациите във вертикалната равнина (по ос z) са регистрирани в точките 4, 5 и 6, а в точка 7 – по направление на оста x в хоризонталната равнина.

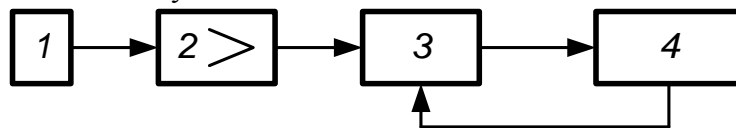


Фиг. 1. Схема на окачването на електрокомпресорния агрегат и местата, в които са измервани нивата на вибрациите

За провеждане на експериментите е използвана акустична и виброизмервателна система на немската фирма “Robotron”, блок-схемата на която е показана на фиг. 2. Пиезоелектрическият възприемател 1, тип KD 35, е преобразувател за ускорение. Изходният електрически сигнал от възприемателя е пропорционален на виброускорението в мястото на измерване. В усилвателя 2 сигналът се усилва и се подава към терц-октавния анализатор 3, който е с автоматично превключване на лентата на пропускане. Резултатът от измерването се записва върху лента от регистриращия прибор 4. Между регистратора и терц-октавния анализатор съществува обратна връзка, която осигурява автоматичното превключване на анализатора на следваща честотна лента.

3. Резултати и обсъждане

Резултатите от проведените експерименти са записани във вид на седем виброграми. По абсцисата на виброграмите е изменението на честотата на трептенията в логаритмичен мащаб, а по ординатата – относителните стойности на амплитудите на виброускорението в dB (A). Измерванията са извършени за терцова широчина на лентата със средни честоти в обхвата от 2 Hz до 20 kHz . Това предоставя възможност да се определи средната амплитуда на дадена честотна лента.



Фиг. 2. Блок-схема на акустичната и виброизмервателната система:
1 – възприемател; 2 – усилвател; 3 – терц-октавен анализатор; 4 – регистриращ прибор

На фиг. 3 е показан видът на виброграми, снети в място с най-ниска относителна стойност на амплитудата на виброускорението (т. 7) и в места с най-високи стойности на относителните амплитуди (точки 3 и 4). От виброграмите е видно, че вибрационният спектър на електрокомпресорния агрегат в нискочестотната област притежава явно изразен дискретен характер. Честотите на дискретните съставлящи са кратни на честотите на въртене на ротора на задвижващия електродвигател $f_{ед} = 16,25 \text{ Hz}$ и на колянвия вал на компресора $f_{к,1} = 9 \text{ Hz}$ (трептения, генерирани от неуравновесените инерционни сили от постъпателно движещите се маси) и $f_{к,2} = 18 \text{ Hz}$ (вибрации, предизвикани от реактивния момент).

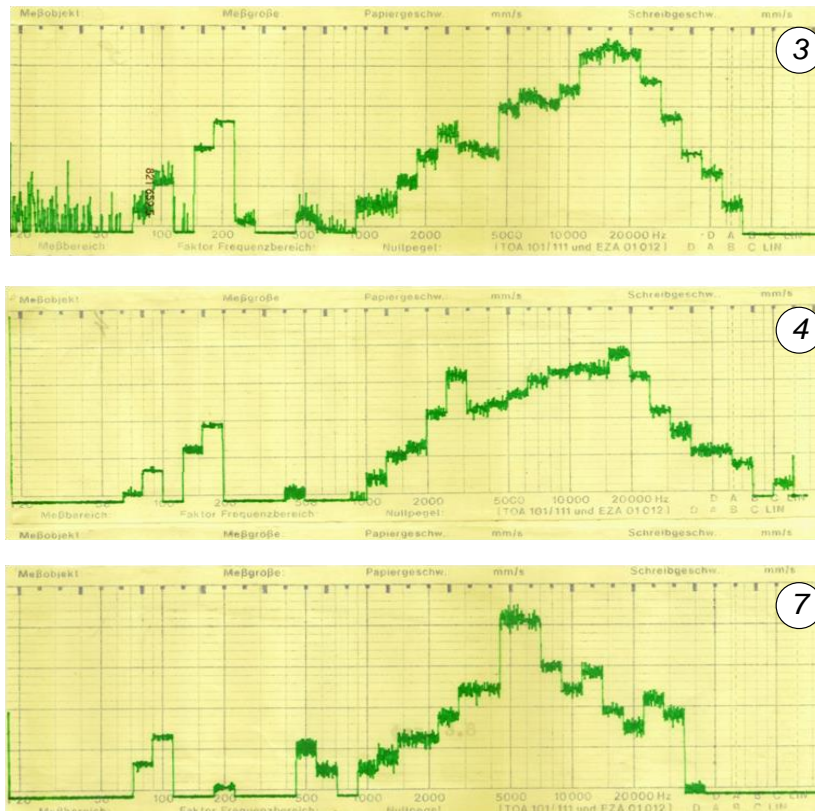
Най-високи стойности на относителните амплитуди са регистрирани в хоризонталната равнина, в която основно се изразява ефектът от действието на неуравновесените инерционни сили и реактивния (преобръщащ) момент на буталния компресор. В тази равнина реактивният момент се стреми да завърти агрегата спрямо неговите опори. Наличието на най-голяма резонансна амплитуда на вибрациите върху корпуса на агрегата в т. 3 при честота $f_{к,2} = 18 \text{ Hz}$ се обяснява с малката ефективност на единичния виброизолиращ възел откъм страната на компресора. Във вертикалната равнина в областта на същите честоти относителните амплитуди имат по-малки стойности. Най-голяма е амплитудата на вибрациите в т. 4, която се намира в близост до масовия център на електрокомпресорния агрегат. Измерената относителна амплитуда на вибрациите в т. 7 по направление на оста x при честоти 16 – 18 Hz е със сравнително малка стойност.

При високите честоти (над 100 Hz) пиковите стойности на относителните амплитуди са свързани с излъчвания шум от протичащите газодинамични процеси в компресора. Характерна особеност на процесите всмукване и нагнетяване на газа в буталните компресори е тяхната нестационарност [8].

4. Заключение

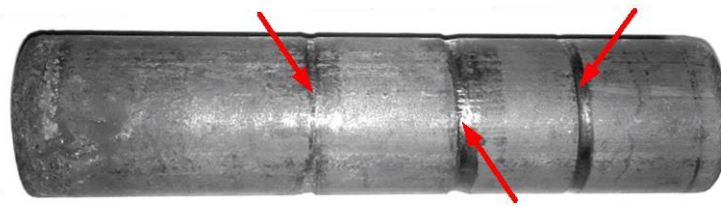
От непосредствени наблюдения на работния процес и получените резултати от експерименталното изследване на вибрационното състояние на електрокомпресорния агрегат е установено:

- работният процес на агрегата е свързан с повишено ниво на генерираните вибрации, които чрез окачването се предават към корпуса на транспортното средство;
- основни източници на механични трептения в агрегата, проявяващи се главно в хоризонталната равнина, са неуравновесените инерционни сили и реактивният момент;
- резонансните амплитуди на вибрациите съвпадат с честотите на въртене на ротора на електродвигателя и колянвия вал на компресора и на смущенията от неуравновесените инерционни сили и реактивния момент;



Фиг. 3. Вид на виброграмите в някои от местата на измерване

- конусните шайби, центриращи гугените виброизолатори контактуват непосредствено с ограничителната втулка и се „врязват” в нея (виж. фиг. 4); вследствие на това работата на виброизолиращите възли в хоризонталната равнина е с недостатъчна ефективност;
- в процеса на експлоатация се променя коефициентът на динамичност на виброизолиращите възли, което също оказва влияние на нивата на дискретните съставлящи на вибрационния спектър;



Фиг. 4. Вид на ограничителната втулка след продължителна работа

- за осигуряване на предвидената ефективност на виброизолацията се препоръчва при планови ремонти на електрокомпресорните агрегати да се извършва замяна на виброизолиращите елементи с нови, като се спазват монтажните хлабини и предварителната статична деформация на гугените виброизолатори.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. Бенчев Б. Д., Е. Н. Димитров. Инженерен експеримент. София, ВТУ “Тодор Каблешков”, 2009. 240 с.

- [2]. Бершадский С. А. Снижение вибрации и шума поршневых компрессоров. Л.: Судостроение, 1990. 272 с.
- [3]. Бъчваров Ст., З. Чернева, Ст. Банов. Вибрации, виброзащита и шумозащита на машините. Университетско издателство «Св. Климент Охридски» С., 1998. 184 с. [4]. Герике П. Б. Анализ виброакустических характеристик двигателей внутреннего сгорания. Сп. «Горные машины и оборудование», №6, 2013. с. 15 – 18.
- [5]. Лысенко Е. А., А. П. и др. Снижение вибрации поршневого компрессора пневматических систем автотранспорта. Вестник СибАДИ, выпуск 3(37), 2014. с. 17 – 22.
- [6]. Техначеская акустика транспортных машин / Под редакцией д. т. н. профессора Н. И. Иванова. Санкт Петербург, “Политехника”, 1992. 365 с.
- [7]. Электрокомпрессор «ЭК – 7В». Инструкция по эксплуатации. 23 с.
- [8]. Nedeljković D. Z., A. Simonović, S. Stupar, N. Lukić. Measurement and Analysis of Vibration of the Axial – Flow Compressor Caused by Inlet Flow Instability During the Flight of Aircraft. Scientific Technical Review, 2015, vol. 65, №2. pp. 34 – 39.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF VIBRATION LEVELS OF ELECTRIC COMPRESSOR AGGREGATE

Penko Tsvetkov Petkov ¹, Anastas Ivanov Ivanov ¹, Emil Nikolov Dimitrov ²
ppetkov@vtu.bg, aii2010@abv.bg, edim@tu-sofia.bg

¹*University of Transport Todor Kableshkov, Sofia, 158 Geo Milev Str.*
²*TU-Sofia,*
BULGARIA

Key words: *machine unit «electric motor - piston compressor»; Suspension of machine unit; vibration insulation; vibration levels; vibro-measuring equipment*

Abstract. *Vibrations resulting from powertrain work and auxiliary equipment reduce the comfort, reliability and durability of the vehicles. The vibration levels transmitted to the passenger compartment and the emitted structural noise depend mainly on the efficiency of their vibration isolation with respect to the vehicle body.*

The work presents an experimental determination of the vibration levels generated by the operating cycle of a machine unit "electric motor - piston compressor". Such type of aggregates are mounted on electric modular trains. In operation of the aggregates, increased levels of transmitted vibrations to the wagon passenger lobbies were found. Special vibration measuring equipment was used to conduct the experiments. The results obtained are presented in the form of vibration diagrams.