

О ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПОДВИЖНЫХ КАТУШЕК ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ВИБРОСТЕНДОВ

А.А. Зуев

niik@vniitf.ru

А.В. Проскурин

ФГУП «РФЯЦ — ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»,
г. Снежинск, Челябинская обл., Российская Федерация

Аннотация

Испытания изделий на вибропрочность и виброустойчивость в настоящее время значительно усложнились, поскольку увеличилась масса объектов испытаний, стали сложнее режимы вибрации (в том числе виброударов), и, как следствие, испытательное оборудование, в частности вибростенды, работает на максимальных режимах и выходит из строя. Наиболее сложной неисправностью, возникающей при длительной напряженной работе вибростенда, является поломка подвижной катушки, ремонт которой возможен, как правило, только в специализированных центрах. Рассмотрена конструкция штатной подвижной катушки вибростенда большой мощности, указаны ее недостатки. Предложены модернизированная конструкция подвижной катушки, повышающая ее прочность, и конструкция приспособления для ее намотки, обеспечивающего необходимое натяжение проводника при намотке и токарную обработку стеклопластикового каркаса. Приведены результаты работы вибрационных установок с модернизированными подвижными катушками, указаны возможности ФГУП «РФЯЦ — ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина» в части модернизации вибростендов различных тяговых усилий и конструкций при ремонте подвижных катушек. Приведен вывод о преимуществах модернизированных подвижных катушек

Ключевые слова

Вибрационные испытания, электродинамический вибростенд, подвижная катушка, проводник, модернизация

Поступила 09.12.2022

Принята 26.01.2023

© Автор(ы), 2023

Введение. Вибрационные испытания изделий, предназначенных для авиационной и космической техники, позволяют провести диагностирование на наличие механических дефектов конструкции, определить динамические характеристики испытываемых изделий, оценить правиль-

ность конструктивных решений, проверить работоспособность изделия в процессе воздействия вибрации [1–8].

В настоящее время для испытания изделий на воздействие вибрации в большинстве случаев используются электродинамические вибростенды различного тягового усилия, которые вследствие длительных испытаний эксплуатируются практически непрерывно, зачастую на максимальных режимах [9–11].

Конструкция электродинамических вибростендов. Схема электродинамического вибростенда приведена на рис. 1. Вибростенд состоит из двух основных частей: корпуса 1 и подвижной катушки 2, расположенной в его центре, на которую крепится объект испытания. В корпусе также располагаются катушки возбуждения 3, которые при подаче постоянного тока создают статическое магнитное поле, необходимое для работы вибростенда. При подаче на подвижную катушку 2 переменного тока создается переменное магнитное поле. В результате взаимодействия статического и переменного магнитных полей начинается управляемое движение подвижной катушки относительно среднего положения.

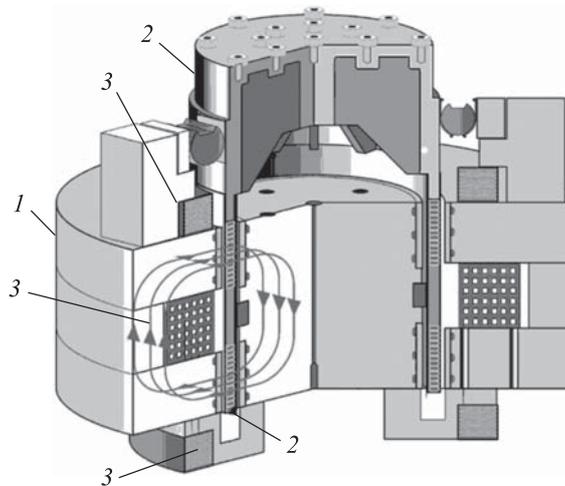


Рис. 1. Схема электродинамического вибростенда

Таким образом, основным нагружаемым элементом электродинамического вибростенда является подвижная катушка, подвергающаяся воздействию циклической осевой нагрузки.

Причины выхода из строя подвижных катушек электродинамических вибростендов. Основным дефектом подвижной катушки, выявленным в результате длительной эксплуатации, является отрыв токоведущей части катушки от корпуса.

В результате анализа причины разрушений определена недостаточная прочность зоны крепления токоведущей части катушки к ее корпусу. Характерная конструкция штатной катушки приведена на рис. 2. Токоведущая часть крепится к корпусу посредством двух слоев стеклоткани (с наружной и внутренней стороны), а также склейкой торцевой части проводника и корпуса.

Ремонт и модернизация подвижных катушек электродинамических вибростендов. Чтобы восстановленные (модернизированные) при ремонте подвижные катушки были более надежны, необходимо решить несколько задач:

- разработать модернизированную конструкцию подвижной катушки в целях увеличения ее прочности и ресурса работоспособности;
- подобрать необходимые материалы;
- разработать технологический процесс и необходимую оснастку;
- выполнить работы по изготовлению катушек новой конструкции;
- провести экспериментальную проверку изготовленных модернизированных катушек.

При модернизации конструкции подвижной катушки специалистами ФГУП «РФЯЦ — ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина» для повышения прочности крепления токоведущей части к корпусу катушки предложено следующее техническое решение (рис. 3): для крепления проводника подвижной катушки использован самонесущий каркас 1, соединенный проточками 4 с корпусом подвижной катушки. На данное техническое решение оформлены патенты [12, 13].

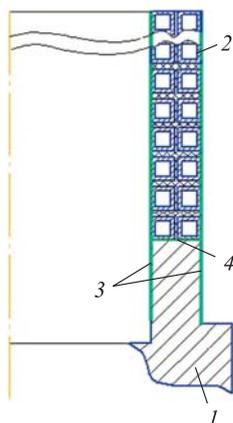


Рис. 2. Конструкция штатной катушки:

1 — корпус; 2 — проводник; 3 — стеклоткань; 4 — клеевое соединение

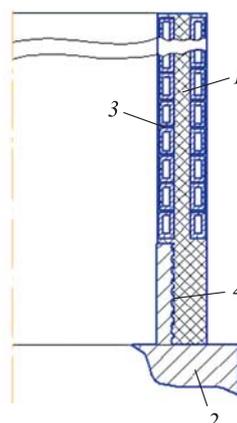


Рис. 3. Конструкция модернизированной катушки:

1 — самонесущий каркас; 2 — корпус; 3 — проводник; 4 — проточки на корпусе

Для определения необходимых размеров самонесущего каркаса проведен прочностной расчет, по результатам которого выявлена его необходимая толщина.

Толщина корпуса 2 в месте соединения с каркасом 1 уменьшена для обеспечения размещения и крепления каркаса 1 без увеличения общих габаритных размеров катушки. Для повышения прочности клеевого соединения корпуса катушки и каркаса в зоне склейки выполнены проточки 4. При изготовлении модернизированной катушки штатный проводник заменен новым проводником российского производства. Форма сечения проводника изменена с квадратной на прямоугольную. Ширина проводника выбрана из условия сохранения габаритных размеров катушки, высота — из условия обеспечения равенства площадей сечений штатного и нового проводника. Это сохраняет объем жидкости, перекачиваемой по проводнику для охлаждения катушки. Из-за увеличения высоты проводника может возникнуть проблема сохранения числа витков проводника на токоведущей части катушки. Как правило, число витков удается сохранить за счет увеличения плотности намотки проводника токоведущей части. Таким образом, сохраняются мощностные параметры вибрационной установки.

Отметим, что штатные проводники, как правило, изготовлены из алюминийевого сплава. Поэтому, если при модернизации применяется медный проводник, то это приводит к улучшению теплоотдачи от катушки к охлаждающей жидкости [14, 15], что в свою очередь приводит к возможности увеличения времени работы вибрационной установки на предельных режимах.

Приспособление для ремонта и изготовления подвижных катушек.

Для намотки проводника на доработанный корпус спроектировано и изготовлено приспособление (рис. 4), обеспечивающее необходимое натяже-



Рис. 4. Приспособление для изготовления модернизированных подвижных катушек вибростендов

ние проводника при намотке и токарную обработку стеклопластикового каркаса, а также разработан технологический процесс изготовления модернизированных подвижных катушек вибростендов.

Заключение. По разработанному технологическому процессу проведен ремонт двух подвижных катушек, с которыми вибростенды исправно работают уже в течение трех лет, в том числе в основном на максимальных режимах, что позволяет сделать вывод об увеличении прочности модернизированных катушек. Характеристики вибрационных установок остались неизменными, что подтверждено результатами аттестации этих вибрационных установок после модернизации при ремонте подвижных катушек.

Таким образом, специалистами ФГУП «РФЯЦ — ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина» разработаны конструкция модернизированной подвижной катушки повышенной прочности и ресурса работоспособности, технологический процесс и необходимая оснастка, подобраны материалы отечественного производства, необходимые для ремонта катушек. Отмечено, что разработанная технология позволяет выполнять ремонт и изготовление подвижных катушек вибростендов различного тягового усилия, при этом стоимость модернизации поврежденных катушек значительно меньше стоимости новых катушек, что позволяет исключить их закупку и длительные перерывы в работе вибростенда, связанные с заменой катушек при разрушении.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Флинн К. Управление несколькими вибростендами при использовании методов ММО для проведения испытаний объектов большого размера. *Производство электроники*, 2018, № 5, с. 114–120.
- [2] Клейменов Г.Б. Динамические модели ракетно-космических конструкций. М., МАТИ, 2011.
- [3] Левченко А.С. Об уровнях вибрационных воздействий при испытаниях бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов. *Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы*, 2020, № 4, с. 74–82.
- [4] Туркалов О. Основы вибрационных испытаний и анализа конструкций. *Технологии в электронной промышленности*, 2018, № 1, с. 54–65.
- [5] Нестеров А.П. Вибрационные испытания и анализ данных. Современный подход. *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*, 2017, № 11, с. 52–54.
- [6] Зверев А.Я., Черных В.В. Экспериментальное определение акустических и виброакустических характеристик многослойных композитных панелей. *Акустический журнал*, 2018, т. 64, № 6, с. 727–736.
DOI: <https://doi.org/10.1134/S0320791918060151>

- [7] Сватков Д.С. Использование конечно-элементных методов исследования при разработке методики виброиспытания. *Успехи современной радиоэлектроники*, 2016, № 11, с. 273–277.
- [8] Гордеев Б.А., Охулков С.Н., Любимов А.К. и др. Исследование амплитудно-частотных характеристик магнитореологических гидропор при действии широкополосной случайной вибрации. *Вестник машиностроения*, 2020, № 5, с. 3–7.
DOI: <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2020-5-3-7>
- [9] Тукалов О.А. Испытательные вибрационные системы Sentek Dynamics. *Технологии в электронной промышленности*, 2016, № 3, с. 74–80.
- [10] Челпанов И.Б., Кочетков А.В. Электродинамические вибростенды, их выбор и применение. *Вестник машиностроения*, 2014, № 5, с. 85–88.
- [11] Аунг Тхура, Симонов Б.М., Тимошенко А.С. Исследование стойкости МЭМС-акселерометров емкостного типа к внешним механическим воздействиям. *Известия вузов. Электроника*, 2019, т. 24, № 6, с. 619–626.
DOI: <https://doi.org/10.24151/1561-5405-2019-24-6-619-626>
- [12] Абанин Д.А., Зуев А.А., Халитов Р.Т. Способ изготовления катушки высоковольтного электротехнического устройства. Патент РФ 2566810. Заявл. 07.03.2014, опубл. 27.10.2015.
- [13] Абанин Д.А., Дерябин Д.Ю., Засухин В.В. и др. Способ изготовления катушки для электродинамической установки. Патент РФ 2729199. Заявл. 26.12.2019, опубл. 05.08.2020.
- [14] Жданок А.А., Кузнецов В.А., Толочко Б.П. и др. Использование механохимического метода для получения модификаторов внутрiformенного модифицирования меди. *Химия в интересах устойчивого развития*, 2022, т. 30, № 3, с. 232–241.
DOI: <https://doi.org/10.15372/KhUR2022377>
- [15] Недобитков А.И. Особенности токовой перегрузки в автомобильной электрической сети. *Пожаровзрывобезопасность*, 2019, т. 28, № 4, с. 42–50.
DOI: <https://doi.org/10.18322/PVB.2019.28.04.42-50>

Зуев Алексей Анатольевич — начальник группы ФГУП «РФЯЦ — ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина» (Российская Федерация, 456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул. Васильева, д. 13).

Проскурин Анатолий Викторович — д-р техн. наук, первый заместитель главного конструктора ФГУП «РФЯЦ — ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина» (Российская Федерация, 456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул. Васильева, 13).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Зуев А.А., Проскурин А.В. О возможности модернизации подвижных катушек электродинамических вибростендов. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2023, № 3 (146), с. 89–97.

DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3941-2023-3-89-97>

ON THE POSSIBILITY OF MODERNIZING MOVING COILS OF THE ELECTRODYNAMIC VIBRATION STAND

A.A. Zuev

niik@vniitf.ru

A.V. Proskurin

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin All-Russia Research Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Chelyabinsk Region, Russian Federation

Abstract

Currently, testing products for vibration strength and vibration resistance became much more complicated, since the mass of test objects increased, vibration modes (including vibration shocks) are of more complex nature, and, as a result, the equipment operates at the maximum modes and fails. The most complex malfunction that occurs during prolonged hard work of the vibration stand is the breakdown of a moving coil, which repair, as a rule, is possible only in the specialized centers. The paper considers design of a regular moving coil of the high-power vibration stand and indicates its disadvantages. A modernized design of the moving coil is proposed increasing its strength, as well as a device for winding it, which provides necessary tension of the conductor during winding and turning the fiberglass frame. Results of operation of the vibration units with modernized coils are presented, capabilities of the Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics in terms of modernizing the vibration stands of various traction forces and structures during repair of the moving coils are indicated. Conclusion is made on the advantages of the modernized moving coils

Keywords

Vibration testing, electrodynamic vibration stand, moving coil, conductor, modernization

Received 09.12.2022

Accepted 26.01.2023

© Author(s), 2023

REFERENCES

- [1] Flinn K. Control of multiple shakers using MIMO methods for testing large objects. *Proizvodstvo elektroniki*, 2018, no. 5, pp. 114–120 (in Russ.).
- [2] Kleymenov G.B. *Dinamicheskie modeli raketno-kosmicheskikh konstruktsiy* [Dynamic models of rocket and space structures.]. Moscow, MATI Publ., 2011.
- [3] Levchenko A.S. Levels of vibration impact during testing of spacecraft avionics equipment. *Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informatsionnye sistemy* [Rocket-Space Device Engineering and Information Systems], 2020, no. 4, pp. 74–82 (in Russ.).

- [4] Turkalov O. Fundamentals of vibration testing and structural analysis. *Tekhnologii v elektronnoy promyshlennosti*, 2018, no. 1, pp. 54–65 (in Russ.).
- [5] Nesterov A.P. Vibration testing and data analysis. Modern approach. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol, diagnostika* [Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics], 2017, no. 11, pp. 52–54 (in Russ.).
- [6] Zverev A.Ya., Chernykh V.V. Experimental determination of acoustic and vibroacoustic characteristics of multilayer composite panels. *Acoust. Phys.*, 2018, vol. 64, no. 6, pp. 750–759. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063771018060143>
- [7] Svatkov D.S. Use of finite element methods of research in the techniques vibration tests. *Uspekhi sovremennoy radioelektroniki* [Achievements of Modern Radioelectronics], 2016, no. 11, pp. 273–277 (in Russ.).
- [8] Gordeev B.A., Okhulkov S.N., Lyubimov A.K., et al. Research of the amplitude-frequency characteristics of magnetorheological hydromounts under the influence of broadband random vibration. *Vestnik mashinostroeniya*, 2020, no. 5, pp. 3–7 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2020-5-3-7>
- [9] Tkalov O.A. Sentek Dynamics vibration test systems. *Tekhnologii v elektronnoy promyshlennosti*, 2016, no. 3, pp. 74–80 (in Russ.).
- [10] Chelpanov I.B., Kochetkov A.V. Electrodynamic vibration stands, their selection and application. *Vestnik mashinostroeniya*, 2014, no. 5, pp. 85–88 (in Russ.).
- [11] Aung Tkhura, Simonov B.M., Timoshenkov A.S. Study on resistance of samples of capacitive type micromechanical accelerometers to mechanical stress. *Izvestiya vuzov. Elektronika* [Proceedings of Universities. Electronics], 2019, vol. 24, no. 6, pp. 619–626 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24151/1561-5405-2019-24-6-619-626>
- [12] Abanin D.A., Zuev A.A., Khalitov R.T. Sposob izgotovleniya katushki vysokovoltного elektrotekhnicheskogo ustroystva [Method of coil manufacturing of high voltage electro-technical device]. Patent RU 2566810. Appl. 07.03.2014, publ. 27.10.2015 (in Russ.).
- [13] Abanin D.A., Deryabin D.Yu., Zasukhin V.V., et al. Sposob izgotovleniya katushki dlya elektrodinamicheskoy ustanovki [Coil manufacturing method for electrodynamic installation]. Patent RU 2729199. Appl. 26.12.2019, publ. 05.08.2020 (in Russ.).
- [14] Zhdanok A.A., Kuznetsov V.A., Tolochko B.P., et al. The use of the mechanochemical method for obtaining modifiers of in-mold copper modification. *Chemistry for Sustainable Development*, 2022, vol. 30, no. 3, pp. 226–235. DOI: <https://doi.org/10.15372/CSD2022377>
- [15] Nedobitkov A.I. Peculiarities of current overload in the car electric network. *Pozharnovzryvobezopasnost* [Fire and Explosion Safety], 2019, vol. 28, no. 4, pp. 42–50 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18322/PVB.2019.28.04.42-50>

Zuev A.A. — Head of Group, Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics (Vasileva ul. 13, Snezhinsk, Chelyabinsk Region, 456770 Russian Federation).

Proskurin A.V. — Dr. Sc. (Eng.), First Deputy of Chief Designer, Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics (Vasileva ul. 13, Snezhinsk, Chelyabinsk Region, 456770 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Zuev A.A., Proskurin A.V. On the possibility of modernizing moving coils of the electrodynamic vibration stand. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2023, no. 3 (146), pp. 89–97 (in Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3941-2023-3-89-97>