УДК 629.42 +621.313.048 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.143.2014.79061

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ КОМПРЕССОРНЫХ АГРЕГАТОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Канд. техн. наук В.В. Карпенко

ВДОСКОНАЛЕННЯ НОРМ БЕЗПЕКИ КОМПРЕСОРНИХ АГРЕГАТІВ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Канд. техн. наук В.В. Карпенко

SAFETY STANDARDS UPDATING OF COMPLETE UNITS OF RAILWAY EQUIPMENT OF RAILWAYS

PhD in Technical Science V.V. Karpenko

Представлены результаты исследований по совершенствованию нормативной базы сертификационных испытаний компрессорных агрегатов подвижного состава железных дорог. Предложено ввести новый сертификационный показатель компрессорных агрегатов - проверка его устойчивости к воздействию внешних механических факторов. На основе экспериментальных данных сформулированы предложения для внесения изменений в нормы безопасности компрессорных агрегатов.

Ключевые слова: *компрессорные агрегаты, нормы безопасности, сертификационные испытания, устойчивость к воздействию внешних механических факторов.*

Наведено результати досліджень з удосконалення нормативної бази сертифікаційних випробувань компресорних агрегатів рухомого складу залізниць. Запропоновано ввести новий сертифікаційний показник – перевірку його на стійкість до впливу зовнішніх механічних факторів. На базі експериментальних даних сформульовані пропозиції для внесення змін до норм безпеки компресорних агрегатів.

Ключові слова*: компресорний агрегат, норми безпеки, сертифікаційні випробування, стійкість до впливу зовнішніх механічних факторів.*

The test results as per regulatory system updating of certification tests of railway equipment complete units of railways are presented. The certification parameters analysis of complete units, manufactured by different producers of far and near abroad, is performed. The initial tests results of a complete unit sample for external mechanical impact resistance are presented, which showed inadequate mechanical resistance of separate structural elements, that can cause fault and loss of normal operation of complete units during operation. For secured provision of railway equipment safety operation of railways on the base of experimental data the suggestions as per updating of Safety standards are developed, as follows an additional certification parameter - external mechanical impact resistance of a complete unit.

Keywords: *complete units, Safety standards, certification tests, external mechanical impact resistance.*

Введение. В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации № 982, а также для обеспечения соответствия требований безопасности технического регламента ЕврАзЭС [1] компрессоры (компрессорные агрегаты), обеспечивающие потребности подвижного состава железных дорог качественным сжатым воздухом, в том числе для его торможения, относятся к техническим средствам железнодорожного транспорта, подлежащих обязательной сертификации.

До введения в действие [1] (август 2014 г.) нормативной базой для сертификации компрессоров (компрессорных агрегатов) являются Нормы безопасности [2]. В соответствии с указанными нормами установлены: перечень сертификационных показателей, их нормативные значения и способы подтверждения соответствия. Опыт применения [2], а также стандарт на разработку компрессоров (компрессорных агрегатов) ГОСТ 10393 [3] показал, что нормы безопасности требуют дальнейшего совершенствования.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. В настоящее время на подвижном составе находят все более широкое применение компрессорные агрегаты с «отключаемым приводом». В качестве привода, как правило, используется электродвигатель (ЭД), подлежащий декларированию на соответствие нормам безопасности [4] (для ЭД тепловозов, дизель-поездов и т. д.) или стандарта ГОСТ 2582 [5] (для ЭД электровозов, электропоездов и т. д.).

Наиболее значимое отличие Норм безопасности компрессорного агрегата [2] от Норм безопасности ЭД [4 и 5] состоит в том, что в перечне сертификационных показателей компрессорного агрегата отсутствует проверка устойчивости к воздействию внешних механических факторов (ВМФ). Компрессоры (компрессорные агрегаты) разрабатываются в соответствии со стандартом ГОСТ 10393, который предусматривает, чтобы изделие имело группу механического исполнения М25 по ГОСТ 17516 [6] и прошло соответствующую проверку. Однако в большинстве случаев испытания компрессорных агрегатов на устойчивость к воздействию ВМФ проводятся крайне редко.

По-видимому, это связано с тем, что разработчики и изготовители компрессора в первую очередь уделяют внимание его основным характеристикам, как например, производительность, давление, температура сжатого воздуха и т.п. [7]. Вместе с тем обращает на себя внимание то, что в последние годы более востребованы на рынке компрессорные агрегаты, которые включают собственно компрессор, ЭД, средства очистки и осушки сжатого воздуха, охладитель, клапана и

датчики, соединительные трубки и т. д., которые, закрепленные вместе на одной раме, создают сложную пространно-ориентированную механическую систему.

Наличие собственных частот конструктивных элементов компрессорного агрегата в полосе внешних возбуждений может привести к возникновению крайне нежелательных резонансных явлений, продолжительная работа этих элементов при механических напряжениях, близких к пределу усталости, может вызвать их усталостные повреждения. В этой связи представляется актуальным, чтобы компрессорные агрегаты на этапе проектирования подлежали расчету на механическую прочность, а на этапе изготовления опытного образца – проверке устойчивости к воздействию ВМФ, значения которых должны устанавливаться в стандартах, нормах безопасности или технических регламентах.

Результаты исследований и предварительных испытаний компрессорных агрегатов на устойчивость к воздействию ВМФ, проведенные в последние годы в лаборатории динамики и прочности Испытательного центра тягового электрооборудования ГП завод «Электротяжмаш» (ИЦ ТЭО), убедительно показывают, что такие работы позволяют на этапе освоения производства выявить «слабые» места конструкции и напрямую способствуют повышению работоспособности, надежности и безопасности компрессорных агрегатов.

Учитывая изложенное, при пересмотре Норм безопасности [2], а также разработке стандартов и сводов правил на компрессорные агрегаты, взаимосвязанных с техническим регламентом [1], ставится задача введения дополнительного сертификационного показателя - проверка его устойчивости к воздействию ВМФ. Такие нагрузки действительно имеют место в эксплуатации. Известно, что на компрессорные агрегаты в эксплуатации воздействует как собственная вибрация изделия, так и вибрация и удары от ж. - д. пути, удары в автосцепку, вибрация дизеля и другого оборудования.

Анализ последних достижений и публикаций. Бесспорным лидером в разработке методик испытаний тормозного оборудования подвижного состава, а также в их проведении является Испытательный центр продукции вагоностроения (ИЦ ПВ) ГП «УкрНИИВ», г. Кременчуг. За годы своего существования ИЦ ПВ завоевал значительный авторитет в этой области, его плодотворное сотрудничество с ИЦ ТЭО позволило увеличить объем сертификационных испытаний, проводимых совместно ИЦ ПВ и ИЦ ТЭО для отечественных и зарубежных партнеров, повысило качество и достоверность испытаний [8].

Следует отметить, что Нормы безопасности [2], утвержденные в 2009 г., до нашего времени не пересматривались. Проведенные многочисленные сертификационные испытания компрессоров (компрессорных агрегатов) на соответствие требований [2] в целом доказали эффективность их применения.

Вместе с тем обращает на себя внимание то, что отказы по компрессорным агрегатам локомотивов в эксплуатации составляют 7-15 % от общего количества отказов локомотивов и могут приводить к тяжелым последствиям, снижающим безопасность движения.

Определение цели и задачи исследований. Сравнение сертификационных показателей компрессорных агрегатов подвижного состава железных дорог различных производителей, анализ результатов предварительных испытаний некоторых типов компрессорных агрегатов на устойчивость к воздействию ВМФ и выработка на основе экспериментальных данных предложений по совершенствованию Норм безопасности [2] и технического регламента [1] .

Основная часть исследований. Сертификационные испытания компрессоров (компрессорных агрегатов), а также предварительные испытания на устойчивость к воздействию ВМФ проводились в ИЦ ТЭО на аттестованном испытательном оборудовании (пример ИО, см. рис.1), с использованием поверенных средств измерительной техники, по разработанной ИЦ ТЭО и аттестованной Методике сертификационных испытаний. ИЦ ТЭО аккредитован в Системе сертификации на Федеральном железнодорожном транспорте (аттестат аккредитации № ССФЖТ UA.01ЖТ.12ЦТ.00181), странах СНГ (свидетельство № 37) и в Некоммерческом партнерстве «Объединение производителей железнодорожной техники» (аттестат аккредитации № СДС ОПЖТ.UA.04ЖО.12.017).

Результаты сертификационных испытаний компрессоров (компрессорных агрегатов) по пп. 1.1.1, 1.1.2, 1.3 – 1.6 табл. 1 Норм безопасности [2] представлены в табл. 1.

Рис. 1. Климатическая камера для сертификационных испытаний компрессоров (компрессорных агрегатов)

Таблица 1

Результаты сертификационных испытаний компрессоров (компрессорных агрегатов)

Сертификационный показатель			Нормативное значение	Значение сертификационного показателя для образцов					
				1	2	3	4	5	6
По п.1.1.1 $t_{СЖ}$,°С			Не более 15	–	–	12	17*	31*	11
По п.1.1.2 изменение производительности, %			Не более ±5	–	–	1,1	4,3	0,2	2,8
По п.1.2.1	$t_{окр}$=65 °С	$I_{ПУСК}$,%	± 15	–6,1	–	-8,8	-5,7	-7,6	-1,3
		$I_{ПУСК}/I_{УСТ}$, %	± 15	–5,2	–	-3,6	–1,7	-13,5	-6,5
		T,с	15	0,10	–	0,43	0,17	0,17	0,65
	$t_{окр}$= – 55°С	$I_{ПУСК}$,%	± 15	5,1	8,8	14,5	3,2	14,0	13,9
		$I_{ПУСК}/I_{УСТ}$, %	± 15	6,7	0,3	14,9	10,7	0,4	2,9
		T,с	15	0,51	1,10	0,91	0,18	0,21	1,05
По п.1.3 $P_{СР}$, кгс/см²			Превышение не более 1,0	–	–	–	5,0	5,0	–
По п.1.4 уровень вибрации, м/с²		Амплитуда	Не более 2,0	–	–	1,9	7,5*	6,5*	1,4
		СКЗ	Не более 1,5	–	–	0,8	4,7*	4,5*	0,9
По п.1.5 уровень шума, дБА			Не более 102	–	–	101	102	104*	97
По п.1.6 $P_{ГИДРАВЛ}$, кгс/см²			Не более 0,5	–	–	0,15	–	–	0,25

В таблице приняты следующие обозначения:

$t_{СЖ}, t_{ОКР}$ – температура сжатого воздуха на выходе из компрессорного агрегата и окружающей среды;

$I_{ПУСК}, I_{УСТ}$ – пусковой и установившийся ток ЭД;

T – продолжительность выхода на номинальную частоту вращения;

$P_{СР}$ – давление срабатывания клапана предохранительного компрессора;

$P_{ГИДРАВЛ}$ – гидравлическое сопротивление всех ступеней блока осушки сжатого воздуха;

* к компрессорному агрегату в соответствии с КД предъявлены специальные требования.

Анализ результатов показывает, что все типы компрессорных агрегатов имели сертификационные показатели выше нормируемых значений и выдержали сертификационные испытания. Вместе с тем испытания большей части компрессорных агрегатов на устойчивость к воздействию ВМФ не проводились, что вызывает сомнение в полноте доказательной базы для подтверждения соответствия.

Рассмотрим для примера результаты предварительных испытаний на устойчивость к воздействию ВМФ одного из образцов компрессорного агрегата. Анализ результатов показывает, что ряд его конструктивных элементов имели резонансные частоты в полосе частот требований от 10 до 100 Гц. Испытуемые элементы с закрепленными вибродатчиками подвергались ударному возбуждению с последующей записью затухающих колебаний. Запись процесса колебаний производилась с помощью анализатора спектра вибрации 795MC911, по которой определялась собственная частота колебаний элемента.

На рис. 2 и 3 показаны фрагменты процесса свободных колебаний конструктивных элементов компрессорного агрегата.

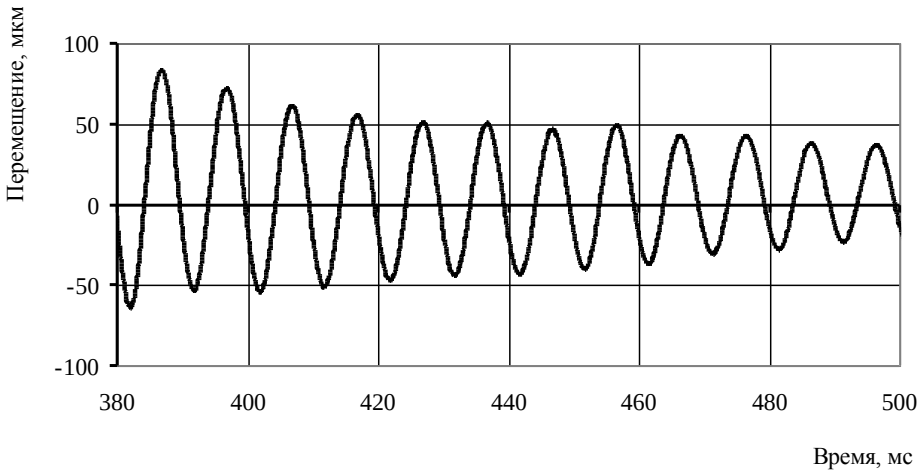


Рис. 2. Фрагмент процесса свободных колебаний трубопровода № 1

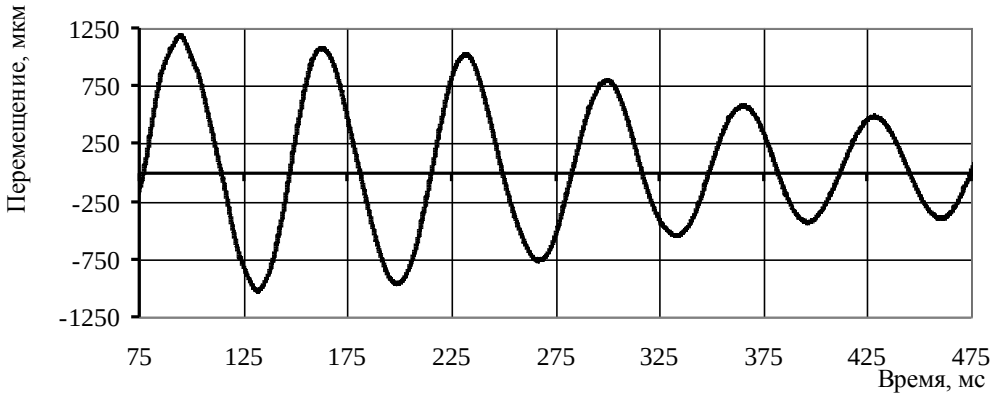


Рис. 3. Фрагмент процесса свободных колебаний фильтра воздушного

Частоты собственных колебаний конструктивных элементов компрессорного агрегата приведены в табл. 2.

Таким образом, конструктивные элементы компрессорного агрегата имеют восемь резонансных частот в диапазоне частот требований (от 10 до 100 Гц), что снижает его вибропрочностные характеристики. Наиболее низкие собственные частоты обнаружены у фильтра воздушного $f_{СОБСТВ}$ =15 Гц и колонны адсорбционной $f_{СОБСТВ}$ =27 Гц. Учитывая, что при работе дизеля на 15-й позиции контроллера основная частота возмущения (оборотная) составляет 16 Гц, то ее совпадение с $f_{СОБСТВ}$ фильтра воздушного приведет к тому, что фильтр будет работать в резонансе практически все время.

Таблица 2

Частоты собственных колебаний $f_{СОБСТВ}$ конструктивных элементов компрессорного агрегата

Элемент	$f_{СОБСТВ}$, Гц	Элемент	$f_{СОБСТВ}$, Гц
Трубопровод № 1 блока охлаждения	100	Кожух с обечайкой блока охлаждения	196
Трубопровод № 3 блока охлаждения	76	Монтажная пластина модуля управления	72
Выпускной трубопровод компрессорного агрегата	188	Выходной фильтр тонкой очистки	152
Выпускной патрубок	96	Компрессорный агрегат	252
Фильтр воздушный	15	Колонна адсорбционная	27
Воздушно-масляный сепаратор	146	Входной угольный фильтр	56
Фильтры влагоотделителей	83	Фильтр масляный	249

Кроме того, в процессе испытаний наблюдались разрушения отдельных конструктивных элементов (рис. 4), что еще раз подчеркивает неполноту сертификационных показателей, определенных Нормами безопасности [2]. Предварительные испытания проводились в следующем режиме:

– воздействие вибрации в трех взаимно перпендикулярных направлениях по отношению к агрегату с амплитудой виброускорений (суммарный вектор) 15 м/с^2 ± 20 %;

– общая продолжительность испытаний составила 10 млн циклов вибрационного нагружения.

Стандарт ГОСТ 17516 для группы механического исполнения М25, которому должны соответствовать компрессоры (компрессорные агрегаты), определяет, что к изделию должны быть предъявлены следующие требования в части стойкости к ВМФ:

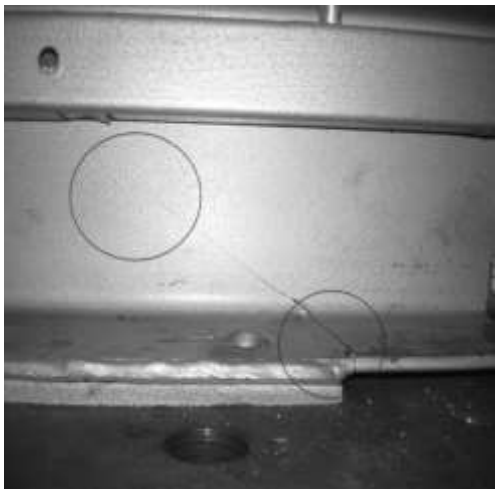
- синусоидальная вибрация – диапазон частот 0,5-100 Гц, максимальная амплитуда ускорения 10 м/с^2;

- удары одиночного действия с пиковым ударным ускорением 30 м/с^2, длительность действия ударного ускорения 2-20 мс.

Метод испытаний компрессорного агрегата на стойкость к ВМФ определен стандартом ГОСТ 16962.2[9], в котором общая продолжительность воздействия вибрации для степени жесткости 10 б составляет 80 ч, а максимальная амплитуда ускорения равна 15 м/с^2. Кроме того, следует учитывать, что выбор метода испытаний на вибропрочность зависит от значения резонансной частоты конструкции.

Как показали приведенные выше результаты испытаний, в полосе частот требований имеются несколько собственных частот, следовательно необходимо выбрать метод качающейся частоты, с тем чтобы обеспечить достоверную проверку стойкости компрессорного агрегата к ВМФ. При этом общая продолжительность испытаний компрессорного агрегата на устойчивость к ВМФ при наличии резонансов его конструктивных элементов может быть рассчитана на основании [10].

а)



б)

Рис. 4. Примеры разрушений конструктивных элементов компрессорного агрегата при проведении испытаний на устойчивость к воздействию ВМФ:
а – обрыв кронштейна крепления выпускного патрубка; б – трещина в раме компрессорного агрегата

Учитывая изложенное, предлагается дополнить Нормы безопасности для компрессоров (компрессорных агрегатов) [2] сертификационным показателем «Стойкость к воздействию внешних механических факторов» с аналогичными требованиями, предъявляемыми к электродвигателям по Нормам безопасности [3 и 4].

Сформулируем предложения для внесения изменений в табл. 1 Норм безопасности [2]:

Графа 1. Сертификационный показатель - 1.7*) Стойкость к воздействию внешних механических факторов; 1.7.1. Вибропрочность при воздействии синусоидальной вибрации с максимальной амплитудой ускорения 15 м/с^2 в диапазоне частот от 10 до 100 Гц в объеме 10 млн циклов или 80 ч вибрационного нагружения в соответствии с методикой испытаний; 1.7.2. Стойкость при воздействии механических ударов одиночного действия в горизонтальном направлении (направление движения) с пиковым ударным ускорением 30 м/с^2, длительностью 2 - 20 мс, не менее трех ударов.

Графа 2. Нормативные документы, устанавливающие требования к сертификационному показателю, - ГОСТ 17516.1.

Графа 3. Нормативное значение сертификационного показателя - Отсутствие видимых повреждений и сохранение работоспособности.

Графа 4. Методы проверки (контроля) сертификационного показателя - Аттестованная методика Аккредитованного испытательного центра.

Графа 5. Регламентируемый способ подтверждения соответствия – Испытания.

*) Испытания проводятся при первичной сертификации.

Приложение А (обязательное)

Погрешность средств измерений внешних механических факторов: максимальная амплитуда ускорения и пиковое ударное ускорение δ=±20 %;

Погрешность средств измерений длительности вибрационного нагружения и пикового ударного ускорения не более 10 %.

Накопленный опыт испытаний компрессорных агрегатов показывает, что выбранный режим испытаний в достаточной степени удовлетворяет поставленной задаче и позволит обеспечить его безопасную эксплуатацию.

Выводы из исследований и перспективы, дальнейшее развитие в этом направлении

1. Результаты сертификационных показателей компрессорных агрегатов подвижного состава железных дорог, изготовленные различными производителями дальнего и ближнего зарубежья, показали, что все представленные образцы соответствуют

требованиям действующих нормативных документов.

2. Анализ результатов предварительных испытаний некоторых типов компрессорных агрегатов на устойчивость к воздействию ВМФ показал недостаточную механическую прочность отдельных конструктивных элементов, что может привести к отказам и потере работоспособности компрессорных агрегатов в эксплуатации.

3. Для гарантированного обеспечения безопасности движения подвижного состава железных дорог на основе экспериментальных данных разработаны предложения по совершенствованию норм безопасности компрессорных агрегатов в части введения дополнительного сертификационного показателя – стойкость компрессорного агрегата к воздействию ВМФ.

4. Способом подтверждения соответствия по предложенному сертификационному показателю являются стендовые испытания, проводимые при первичной сертификации изделия и подлежащие зачету при повторной сертификации, если изменений конструкции, применяемых материалов и технологии, влияющих на сертификационные показатели, не проводилось.

Список использованных источников

1. Технический регламент ЕврАзЭС «О безопасности железнодорожного подвижного состава» [Электронный ресурс] – Загл. с экрана. – Режим доступа: http://www.evrazes.com/docs/view/377

2. Нормы безопасности НБ ЖТ ЦТ-ЦЛ-ЦВ 01-98. «Оборудование пневматическое тормозное для подвижного состава железных дорог» [Текст], с изменениями, утвержденными Приказом Министра транспорта РФ № 22 от 11.02.2009 г. – М., 2000. – 102 с.

3. Компрессоры и агрегаты компрессорные для железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия [Текст]: ГОСТ 10393-2009. – [Введ. 1983–01–01]. – М.: Изд-во гостандартов, 1981. – 50 с.

4. Нормы безопасности НБ ЖТ ЦТ 07-99. Тепловозы, дизель-поезда и автомотрисы (рельсовые автобусы). Электрооборудование тяговое. Требования по сертификации [Текст], с изменениями, утвержденными Приказом Министра транспорта РФ № 22 от 11.02.2009г.– М.; 2000. – 23 с.

5. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия [Текст]: ГОСТ 2582–81. – [Введ. 1983–01–01]. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 50 с.

6. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам [Текст]: ГОСТ 17516.1–90. – [Введ. 1991–01–01]. – М.: Изд-во стандартов, 1990.– 61 с.

7. Тормозное оборудование железнодорожного подвижного состава: справочник [Текст] / В.И. Крылов, В.В. Крылов, В.Н. Ефремов, П.Т. Демушкин. - М.: Транспорт, 1989. - 487 с.

8. Карпенко, В.В. Расширение возможностей испытательного центра тягового электрооборудования ГП завод «Электротяжмаш» [Текст] / В.В. Карпенко // Вісник СевНТУ: зб.наук.праць. – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2012. – Вип. 133/2012: Механіка, енергетика, екологія. – С.53-56.

9. Изделия электротехнические. Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам [Текст]: ГОСТ 16962.2 -90. – [Введ. 1991–01–01]. – М.: Изд-во гостандартов, 1990. – 48 с.

10. Карпенко, В.В. Современное состояние и перспективы развития испытательного центра тягового электрооборудования ГП завод «Электротяжмаш» [Текст] / В.В. Карпенко // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: Вид-во КДПУ, 2009. – Вип. 4/2009 (57), ч 1. – С. 66-70.

Рецензент д-р техн. наук, профессор А.П. Фалендыш

Карпенко Володимир Владиславович канд. техн. наук, керівник Випробувального центру тягового електрообладнання - провід. наук. співроб. ДП завод "Електроважмаш". Тел. (057) 727-51-30, E-mail: icteo@spetm.com.ua

Vladimir Karpenko V. candidate. Sc. Sciences, Head of Testing center traction electrical equipment - wire. sciences. spivrob. SE plant "Electrotyazhmash", tel. (057) 727-51-30, E-mail: icteo@spetm.com.ua