

УДК 62-83-52

В. В. ТОДАРЕВ, В. А. САВЕЛЬЕВ

Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет им. П. О. Сухого»

## ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И МОДЕРНИЗАЦИИ СТЕНДОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ СЛОЖНОЙ ТЕХНИКИ

**Аннотация.** Испытания под нагрузкой являются обязательной частью технологического процесса изготовления новой, либо ремонта бывшей в работе техники. Стендовые испытания новой техники позволяют сократить срок ввода в производство и снизить затраты на разработку. Испытательные стенды должны быть энергосберегающими и обеспечивать требуемый режим нагружения.

Испытания под нагрузкой являются обязательной частью технологического процесса производства как новых механизмов и машин, так и ремонта бывших в работе. Различают приемо-сдаточные и комплексные стендовые испытания. Первые характеризуются стационарностью режимов со стабилизацией заданных параметров нагрузки и, как следствие, относительно несложной системой управления.

Стендовые же испытания проводят на стадии разработки новой техники для практической проверки принятых технических решений. Наивысшим уровнем стендовых испытаний являются комплексные испытания разработанной машины в целом с нагрузкой на ее все узлы и агрегаты. Режим нагружения для стендовых испытаний гораздо сложнее, характеризуется большим диапазоном нагрузок, сложным законом их изменения, обязательным наличием переходных процессов.

Вместе с тем, стенды для приемо-сдаточных и стендовых испытаний объединяет одно обязательное условие – энергоэффективность. Они должны обеспечивать повторное использование, например, путем рекуперации, затраченной в процессе испытаний под нагрузкой энергии за вычетом потерь в элементах стенда [1, 4].

Если к сказанному добавить условие доступности подключения нагружающего устройства к рабочим узлам машин, высокие массогабаритные характеристики, низкую стоимость, блочную конструкцию, то сформируется спектр требований к испытательным стендам данного типа.

Как показывает практика, в наибольшей степени указанным требованиям удовлетворяют электромеханические испытательные стенды, в которых в качестве силового элемента используются электрические машины.

Кафедра «Автоматизированный электропривод» Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого имеет многолетний опыт исследований и разработки энергосберегающих электромеханических испытательных стендов различных типов и назначения, а также модернизацией существующих испытательных стендов путем расширения параметров испытаний и переводом в энергосберегающий режим работы.

Научно-технические разработки энергосберегающих электромеханических испытательных стендов кафедры «Автоматизированный электропривод» успешно внедрены в производство на:

- ОАО «Научно-технический центр комбайностроения» (г. Гомель) – стенд для испытания двигателей внутреннего сгорания;
- ОАО «Витебский мотороремонтный завод» (г. Витебск) – стенд для испытания двигателей внутреннего сгорания на основе асинхронно-вентильного каскада;
- УП «Витебское отделение Белорусской железной дороги» Локомотивное депо, г. Полоцк – стенд для испытания электрических машин постоянного тока после ремонта;
- УП «Гродненское отделение Белорусской железной дороги» Локомотивное депо, г. Лида – стенд для испытания гидropередачи после ремонта.

С целью приближения условий проведения стендовых нагрузочных испытаний элементов приводной техники и трансмиссий к реальным условиям их эксплуатации, в составе испытательного комплекса необходимо иметь устройство для физического моделирования нагрузок, способное воспроизводить на валу испытуемого объекта широкий спектр характерных нагрузочных воздействий или сочетать несколько видов нагрузок [2].

Таковыми нагрузками могут быть:

- момент, не зависящий от координат движения  $M_c = \text{const}$ ;
- момент, зависящий от угла поворота (пройденного пути)  $M_c = f(\varphi)$ ;
- момент, зависящий от скорости вращения  $M_c = f(\omega)$  – к этому моменту относятся момент сухого трения  $M_c = M \cdot \text{sign}(\omega)$ , момент вязкого трения  $M_c = k \cdot \omega$ , вентиляторный момент  $M_c = k \cdot \omega^2$ ;
- момент, зависящий от ускорения (динамический момент)  $M_d = f(\varepsilon)$ ;
- момент, зависящий от времени  $M_c = f(t)$ .

Например, при движении техники по ровной поверхности с постоянной скоростью двигатель преодолевает нагрузку типа сухого трения, величина которой зависит от массы техники, а знак – от направления движения.

При ускорении и замедлении техники, в соответствии с уравнением движения, двигатель испытывает динамическую нагрузку, величина которой пропорциональна ускорению (замедлению) и моменту инерции на валу двигателя.

Устройство для физического моделирования нагрузок представляет собой систему автоматического управления статическими и динамическими механическими параметрами нагрузки. Устройство рассматривается как система стабилизации заданной функции момента. При этом частота вращения испытываемого приводного механизма выступает в качестве возмущающего воздействия. Для повышения статической и динамической точности применяется принцип инвариантности по отношению к возмущающему воздействию во всем диапазоне нагрузок [3, 6, 7].

В ходе проведения любых испытаний ставится задача сбора необходимой информации об особенностях работы испытываемого устройства и его эксплуатационных характеристиках. Для решения этой задачи требуется не только задать необходимые параметры и условия нагружения, но и обеспечить достоверность и полноту измеряемых параметров, а также удобство их дальнейшей обработки. Эти задачи решаются измерительным комплексом и программным обеспечением испытательного стенда.

В настоящее время в Республике Беларусь достаточно активно используются так называемые энергозатратные стенды. Применительно к электромеханическому типу стендов можно сказать, что затраченная в процессе испытаний энергия преобразуется в тепло и рассеивается в окружающее пространство.

Сегодня сегмент таких испытательных стендов представлен универсальными стендами серий КС276 для испытания двигателей внутреннего сгорания (ДВС), КСАТ для испытания ДВС автомобилей, тракторов и комбайнов, КСС для испытания судовых и тепловозных двигателей, КС-02...03 для испытания коробок передач и раздаточных коробок и рядом других. Однако, заменить энергозатратные стенды на новые энергосберегающие для многих предприятий затруднительно, что объясняется уникальностью каждого типа стенда, и, как следствие, единичным характером производства и высокой ценой. Стоимость современных испытательных стендов составляет от \$50 000 до \$100 000 и выше в зависимости от степени универсальности [5].

Выход из такого положения в модернизации существующих энергозатратных стендов в энергосберегающие, что значительно дешевле, поскольку сохраняются основные конструктивные и силовые элементы стенда. Последние, как правило, при технически грамотной эксплуатации в состоянии отработать еще не один десяток лет, а их основные технические характеристики незначительно уступают современным аналогам. Стоимость такой модернизации применительно к электромеханическим стендам составляет 10–20 % от стоимости нового энергосберегающего стенда. Поскольку стенды функционируют в составе технологической производственной цепочки то и глубина модернизации зависит от технологических факторов.

В ходе модернизации также существует возможность:

- оборудовать испытательный стенд датчиками, приборами, устройствами и системами, расширяющими его функциональные возможности;
- установить управляющий контроллер, обеспечивающий возможность управлять испытательным стендом, собирать и обрабатывать информацию о параметрах нагружения и измерительную информацию;
- установить на рабочее место оператора специализированное программное обеспечение, обеспечивающее удобный компьютерный интерфейс управления стендом, задания рабочих параметров, анализа полученной информации, сохранения информации на ПК, автоматизированную подготовку отчетов о результатах испытаний.

Модернизированный таким образом испытательный стенд не только обеспечит измерение необходимых параметров, но и позволит задавать и поддерживать требуемые законы изменения нагрузки в соответствии с заданной заказчиком программой испытаний.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Тодарев, В. В. Взаимная нагрузка в электромеханических стендах для испытания электрических машин / В. В. Тодарев, М. Н. Погуляев, И. В. Дорощенко // Современные проблемы машиноведения : тезисы докладов VIII Международной научно-технической конференции (научные чтения, посвященные 115-летию со дня рождения Павла Осиповича Сухого), Гомель, 28–29 октября 2010 года / под общ. ред. С. И. Тимошина. – Гомель: ГГТУ, 2010. – С. 149–150.
2. Савельев, В. А. Нагружающие устройства испытательных стендов / В. А. Савельев, В. Б. Попов, В. В. Тодарев // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : сборник тезисов докладов междунар. науч.-практ. конф., 21–22 декабря 2017. – Гомель, 2017. – С. 102–103.
3. Дорощенко, И. В. Математическая модель нагрузочной части испытательного стенда инвариантного к скорости вращения на основе асинхронно-вентильного каскада / И. В. Дорощенко, В. С. Захаренко, В. А. Савельев // Вестник Гомельского гос. техн. универ-та им. П. О. Сухого. – 2013. – № 3. – С. 63–72.
4. Дорощенко, И. В. Энергоэффективные испытательные стенды / И. В. Дорощенко, М. Н. Погуляев, В. А. Савельев, В. В. Тодарев // Энергоэффективность. – 2018. – № 8. – С. 46–56.
5. Дорощенко, И. В. Ресурсосберегающие электромеханические стенды для испытаний сложной техники на предприятиях транспортного машиностроения / И. В. Дорощенко, М. Н. Погуляев, В. Б. Попов, В. А. Савельев, В. В. Тодарев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2018. – № 8 (69). – С. 36–45.
6. Пат. 5694 ВУ, МПК7 H02P 5/00, H04R 29/00. Устройство для управления системой нагружения испытательного стенда // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2003. – № 4.
7. Пат. 16927 ВУ, МПК7 G 01M 15/00. Нагрузочное устройство // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. Дата публикации 2013.04.30.

TODAREV V. V., SAVELIEV V. A.

#### EXPERIENCE OF DEVELOPMENT AND MODERNIZATION STANDS FOR TESTING COMPLEX TECHNOLOGY

**Summary.** *Tests under load are an indispensable part of the technological process of making a new one, or repairing a used equipment. Bench tests of new equipment can reduce the time of entry into production and reduce development costs. Test benches must be energy efficient and provide the required loading conditions.*