

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ СТЕНД И МЕТОДИКА
ИСПЫТАНИЙ ТРАНСМИССИЙ**

**ENERGY-SAVING TEST BENCH AND TRANSMISSION
TESTING METHODOLOGY**

Жданович Ч. И.¹, канд. техн. наук, доц.,

Ченьхой Чжао², **Ключников А. В.**², канд. техн. наук,

¹Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

²ООО «УайТиОу Технолоджи БиЭлЭр», Индустриальный парк
«Великий камень», г.Минск, Беларусь

Ch. Zhdanovich¹, Ph.D. in Eng., Ass. prof.,

Chenhui Zhao², A. Kliuchnikov², Ph. D. in Eng.,

¹Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

²LLC «YTO Technology Blr», Industrial Park «Great Stone»,
Minsk, Belarus

Разработан энергосберегающий стенд для испытаний трансмиссии. На стенде установлен приводной электромотор, имитирующий режимы работы двигателя внутреннего сгорания и тормозные электрические машины для каждой полуоси переднего, заднего мостов и ВОМ. Стенд может работать в режиме рекуперации энергии. Разработана методика функциональных и ускоренных испытаний с имитацией нагрузочных режимов трансмиссии трактора, возникающих при выполнении работ машинно-тракторными агрегатами.

An energy-saving transmission test bench has been developed. The stand can operate in the energy recovery mode. A drive electric motor is installed on the stand, simulating the operating modes of an internal combustion engine and braking electric machines for each half-axle of the front, rear axles and PTO. A method of functional and accelerated tests has been developed to simulate the load conditions of the tractor transmission that occur when working with machine-tractor units.

Ключевые слова: *энергосберегающий стенд, испытания трансмиссий, рекуперация энергии, методика, имитация нагрузочных режимов.*

Keywords: *energy-saving test bench, transmission testing, methodology, simulation of load conditions.*

ВВЕДЕНИЕ

Стендовые испытания трансмиссий позволяют значительно сокращать время испытаний, строго обеспечивать требуемые условия испытаний и получать наиболее точные результаты при минимальных затратах времени и средств. «Современные испытательные стенды являются энергосберегающими, то есть в них в той или иной мере вторично используется затраченная в процессе испытаний энергия за вычетом потерь в элементах стенда. Коэффициент полезного действия электромеханических энергосберегающих стендов может достигать 85 %» [1].

При стендовых испытаниях трансмиссии трактора важна имитация нагрузочных режимов возникающих при выполнении сельскохозяйственных работ. Существует два метода выбора и реализации нагрузочных режимов в испытываемой трансмиссии трактора: моделирование работы трактора в составе машинно-тракторного агрегата и статическая обработка экспериментальных данных испытаний трактора в различных эксплуатационных условиях. Для определения нагрузочных режимов трансмиссии проводят ее режимометрирование – сбор данных о нагрузочных режимах в различных условиях эксплуатации [2; 3]. Подготовка и проведение режимометрирования процесс весьма трудоемкий [3]. Нагрузочные режимы трансмиссии можно также определить расчетным путем, модулируя работу трактора в составе машинно-тракторного агрегата [4; 5]. При наличии циклограммы нагрузок возможна организация нагрузочных режимов работы испытательного стенда, соответствующих действительным эксплуатационным режимам.

С целью разработки энергосберегающего стенда, методики испытаний и алгоритма управления стендом для испытания трансмиссий в режиме имитации эксплуатационных нагрузок был выполнен международный Белорусско – Китайский проект «Разработать энергосберегающий стенд для функциональных и ускоренных испытаний трансмиссий тракторов с имитацией нагрузочных режимов, возникающих при выполнении сельскохозяйственных работ».

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ТРАНСМИССИЙ ТРАКТОРОВ

Принципиальная схема разработанного стенда для испытаний трансмиссий [6] приведена на рис. 1.

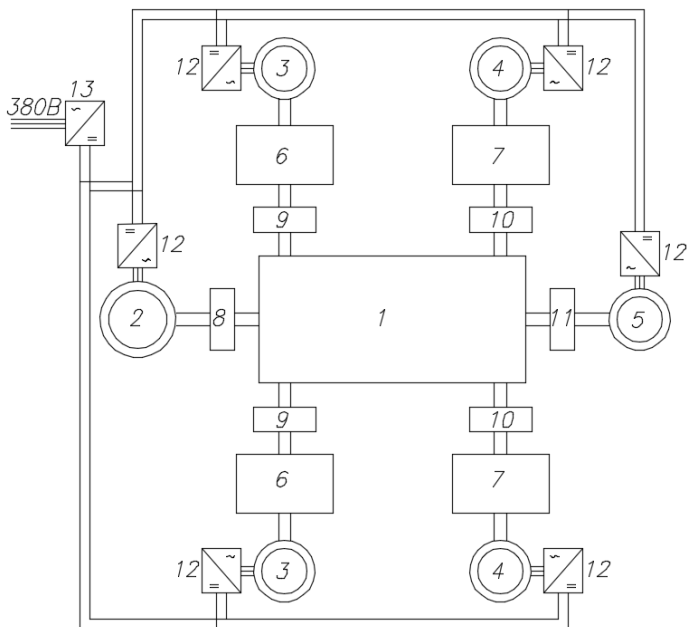


Рисунок 1 – Схема стенда

Особенностью стенда является возможность реализации нагрузочных режимов в испытуемой трансмиссии 1 трактора, аналогичных режимам, возникающим при выполнении им сельскохозяйственных работ. Для этого на стенде установлен приводной электромотор 2, имитирующий режимы работы двигателя внутреннего сгорания. На каждой полуоси переднего, заднего мостов и ВОМ установлены тормозные электрические машины 3, 4 и 5, соответственно. Учитывая, что полуоси переднего и заднего мостов развивают большой момент и имеют низкие обороты между осями и тормозными электрическими машинами установлены редукторы 6 и 7. Для измерения момента на входном валу и выходных валах, стенд оснащен датчиками крутящих моментов 8–11. Электромотор

2 и тормозные электрические машин 3–5 являются машинами переменного тока. Соответствующие инверторы 12 подключены к одной и той же шине постоянного тока, соединенной с входным инвертором 13.

Стенд может работать в режиме рекуперации энергии, когда энергия с тормозных машин 3–5 подается через преобразователь в приводной электромотор 2. В этом случае из сети будет потребляться только энергия, компенсирующая потери энергии в трансмиссии.

При испытаниях трансмиссии электромотор 2 работает в режиме тягового двигателя, в нем поддерживается обороты с заданной частотой вращения в соответствии с имитацией режима работы в реальных условиях. Электрические машин 3, 4 и 5 работают в режиме генератора, при этом осуществляется поддержание заданного крутящего момента и частоты его вращения в соответствии с программой испытаний.

Испытательный стенд представляет собой испытательную систему с обратной связью по мощности, основанную на управляемом компьютером многочастотном двигателе путем изменения частоты переменного тока и напряжения. Он используется для исследования функциональных характеристик и долговечности трансмиссии.

Стенд может легко модифицировать под любой тип трансмиссии (механическая, HST, CVT, Powershift, электрическая) любого транспортного средства (классической, шарнирной или интегральной компоновки). Нагрузка может моделироваться на каждое колесо в отдельности, на мост, коробку передач либо ВОМ. В соответствии с выбранной схемой в испытании может быть задействовано от двух до шести нагруженных машин.

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Функциональные испытания – испытания, проводимые с целью определения значений показателей назначения объекта [7]. В процессе функциональных испытаний трансмиссии определяют ее КПД, передаточное число, общий уровень вибрации и шума, температурную характеристику [8].

КПД трансмиссии выполняет две функции:

– характеризует все виды потерь, возникшие в трансмиссии при передаче крутящего момента от первичного вала коробки передач до ведущих колес трактора;

– является одним из критериев оценки конструктивного совершенства.

Для определения КПД трансмиссию устанавливают между тяговым электродвигателем и тормозными устройствами, в качестве которых используют электрогенераторы (рисунок 1). Электромотор 2 работает в режиме тягового двигателя, электрические машин 3, 4 и 5 работают в режиме генератора, датчики 8, 9, 10, 11 используются для измерения крутящего момента и оборотов, далее рассчитывается мощность на каждом элементе.

Численное значение КПД трансмиссии $\eta_{тр}$ определяется как отношение суммарной мощности на выходе каждого элемента трансмиссии (полуосях и ВОМ) $\sum_1^n P_{ki}$ к мощности на входе P_d :

$$\eta_{тр} = \sum_1^n P_{ki} / P_d .$$

Мощности на входе в трансмиссию P_d определяется как произведение крутящего момента на входном валу M_d и его угловой скорости ω_d . Крутящего момента на входном валу M_d измеряется непосредственно датчиком 8. Угловая скорость ω_d определяется на основании измеренных датчиком 8 оборотов n_d по зависимости $\omega_d = \pi \cdot n_d / 30$.

Мощности на выходе каждого элемента трансмиссии P_{ki} определяется как произведение крутящего момента на нем M_{ki} и его угловой скорости ω_{ki} . Крутящий момент на выходе каждого элемента трансмиссии M_{ki} измеряется непосредственно датчиками 9, 10, 11. Угловая скорость ω_{ki} определяется на основании измеренных датчиками 9, 10, 11 оборотов n_{ki} по зависимости $\omega_{ki} = \pi n_{ki} / 30$.

Для определения КПД отдельных ветвей трансмиссии мощности на выходе и входе определяются в каждой из них в отдельности. Например, КПД привода ВОМ; КПД привода задних колес, при отключенном переднем мосте; КПД трансмиссии, при отключенном

ВОМ. Также можно определять КПД элементов трансмиссии устанавливая их на стенд по отдельности.

По результатам испытаний получим зависимости КПД от передаваемой мощности, крутящего момента и угловой скорости.

Эффективность различных типов трансмиссии можно оценить по величине КПД, определяемого отношением энергии, затрачиваемой на движение машины к энергии, расходуемой двигателем.

Передаточное число отдельных ветвей трансмиссии или элементов определяется отношением угловой скорости на входе к угловой скорости на выходе.

Ускоренные испытания с имитации нагрузочных режимов трансмиссии, возникающих при выполнении работ машинно-тракторными агрегатами.

Трансмиссию устанавливают между тяговым электродвигателем и тормозными устройствами, в качестве которых используют электрогенераторы (рисунок 1).

Избирателем режимов включается соответствующая передача в коробке передач, выбирается нагрузочный режим, запускается привод. Управление стендом автоматическое.

Система сбора и обработки данных может сохранять результаты измерений скорость и крутящий момент трансмиссии, скорость и крутящий момент ВОМ, температуру масла, давление масла и т. д.

Основной компьютер в основном отвечает за интерфейс взаимодействия человека и компьютера во время тестирования, управления тестированием, сбора и обработки данных, хранения и воспроизведения.

Управление с помощью замкнутого контура преобразователя частоты и базовая диагностика системной неисправности системы управления и загрузки тестового места осуществляется с компьютера. Система загрузки привода использует систему управления частотой переменного тока. Разделение энергии между двигателями упрощает реализацию обратной связи и нагрузки с обратной связью.

Управление электромашинами осуществляется при помощи программируемого контроллера в соответствии программой, реализующей разработанный алгоритм [9].

Нагрузочные режимы трансмиссии и ВОМ при испытаниях на стенде будут задаваться в виде крутящего момента и частоты вращения, на входе создаваемые тяговым электродвигателем, а на по-

луосях и хвостовике ВОМ – электрическими машинами, работающими в генераторном режиме, с имитацией их величины аналогичной эксплуатационным режимам. Для этого определены нагрузочные режимы трансмиссии и ВОМ при работе трактора в составе тягово и тягово-приводного почвообрабатывающих агрегатов и выбраны нагрузочные режимы трансмиссии и ВОМ при испытаниях на стенде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан энергосберегающий стенд для испытаний трансмиссии. На стенде установлен приводной электромотор, имитирующий режимы работы двигателя внутреннего сгорания и тормозные электрические машин для каждой полуоси переднего, заднего мостов и ВОМ. Стенд может работать в режиме рекуперации энергии. Разработан алгоритм управления стендом.

Разработана методика функциональных и ускоренных испытаний с имитации нагрузочных режимов трансмиссии трактора, возникающих при выполнении работ машинно-тракторными агрегатами. Рассмотрены нагрузочные режимы трансмиссии при работе тракторов в составе тяговых и комбинированных почвообрабатывающих агрегатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энергоэффективные испытательные стенды / И. В. Дорошенко [и др.] // Энергоэффективность. – 2018. – № 9. – С. 26–30.
2. Стендовые ускоренные испытания технических систем на надежность: учеб. пособие / Б. И. Гиясов [и др.]. – М.: Издательство АСВ, 2017. – 74 с.
3. Соломатин, Н. С. Испытания узлов, агрегатов и систем автомобиля: учеб. пособие / Н. С. Соломатин. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2013. – 143 с.
4. Жданович, Ч. И. Математическое моделирование тягового сопротивления полунавесного оборотного плуга // Актуальные вопросы машиноведения, 2019. – Выпуск 8. – С. 91–94.
5. Жданович, Ч. И. Моделирование работы пахотного агрегата с полунавесным оборотным плугом // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: сборник тезисов 3-й международной научно-практической конференции (Гомель,

3–4 окт. 2019 г.). – Гомель: Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», 2019. – С. 104–105.

6. Стенд для испытания трансмиссий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ytoblr.by/Стендовое-оборудование/>. – Дата доступа: 12.05.2021.

7. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – ГОСТ 16504-81. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 24 с.

8. Редукторы общемашиностроительного применения. Общие технические условия. – ГОСТ Р 50891-96. – Москва: Госстандарт России, 1996. – 31 с.

9. Жданович, Ч. И. Разработка алгоритма управления стендом для испытания трансмиссий / Ч. И. Жданович, Н. А. Поздняков // Автотракторостроение и автомобильный транспорт: сб. науч. ст. / АТФ БНТУ; редкол.: Д. В. Капский (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2021. – Т. 1. – С. 229–235.

Представлено 15.05.2023