

СОВРЕМЕННЫЕ СТЕНДЫ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ТРАКТОРНЫХ ШИН

MODERN TEST BENCHES FOR DYNAMIC TESTS OF TRACTOR TIRES

**Е.А. ВЛАСЬЕВНИНА
О.И. ОСИПОВ**

Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
Москва, Россия, lenavlav.94@mail.ru

**E.A. VLAS'EVNINA,
O.I. OSIPOV**

National Research University «Moscow Power Engineering
Institute», Moscow, Russia, lenavlav.94@mail.ru

Для испытаний тракторных шин и их износа используются специальные лабораторные стенды с имитацией реальных условий эксплуатации шин. Они обеспечивают определение таких характеристик шины, как возможность продолжительного движения на максимальной скорости, восприятие усилий при криволинейном движении, динамический радиус, сопротивление шины качению, степень нагрева шин и т.д. Подобные стенды позволяют оценить надежность шин и выявить возможность увеличения срока их эксплуатации. Наиболее распространенные стенды включают в себя неподвижную платформу, беговой барабан, гидроцилиндры, устройства прижима, электропривод барабана, механизмы вращения шин, персональный компьютер и пульт управления. Одним из недостатков таких стендов является наличие высоких потерь на преодоление усилий в механизмах вращения шин. Поэтому актуальным является вопрос поиска решения для повышения энергоэффективности и надежности испытаний тракторных шин.

В статье анализируются стенды зарубежных и отечественных производителей для динамических испытаний шин. Рассматриваются их технические характеристики, функциональные и габаритные показатели. Значительное внимание уделяется недостаткам каждого из стендов. Предложен модернизированный вариант стенда, в котором учтены и устранены недостатки аналогов. Конструкция подобного стенда позволяет обеспечить испытания шин, имитируя их взаимодействия с неровной поверхностью дороги, а также снизить потребление электроэнергии и повысить достоверность испытаний шин. Предложена кинематическая схема стенда и функциональная схема силовой части электропривода испытательного стенда. На основе технических данных стендов и их возможностей дана сравнительная таблица, а также сделаны выводы о целесообразности применения более энергоэффективных приводов для подобных стендов.

Ключевые слова: стенд, электропривод, износ шин, механизм вращения, асинхронный двигатель, рекуперация, энергоэффективность.

For testing tractor tires and their wear, special laboratory stands with imitation of real tire operating conditions are used. They provide the definition of such characteristics of the tire as the possibility of continuous movement at maximum speed, the perception of forces during curvilinear movement, dynamic radius, tire rolling resistance, degree of tire heating, etc. Such test benches allow to evaluate the reliability of the tires and to identify the possibility of increasing their life cycle. The most common test benches include a fixed platform, a running drum, hydraulic cylinders, clamping devices, an electric drum drive, tire rotation mechanisms, a personal computer and a control panel. One of the drawbacks of such test benches is the presence of high losses to overcome efforts in the mechanisms of rotation of tires. Therefore, the urgent issue is to find solutions to improve energy efficiency and reliability of tractor tire tests. The article analyzes test benches of foreign and domestic manufacturers for dynamic tire tests. Their technical characteristics, functional indicators and overall dimensions are considered. Considerable attention is paid to the shortcomings of each of the test benches. A modernized version of the test bench is proposed, in which the disadvantages of analogues are taken into account and eliminated. The design of such a test bench allows testing tires, simulating their interaction with an uneven road surface, as well as reducing energy consumption and increasing the reliability of tire tests. A kinematic diagram of the test bench and a functional diagram of the power part of the electric drive of the test bench are proposed. Based on the technical data of the test benches and their capabilities, a comparative table is given, as well as conclusions about the feasibility of using more energy-efficient drives for such test benches is proven.

Keywords: test bench, electric drive, tire wear, rotation mechanism, induction motor, recuperation, energy efficiency.

Введение

Безопасность движения многих видов транспорта (тракторы, автомобили, самолеты и др.) зависит от надежности и качества применяемых в них пневматических шин. Благодаря их амортизирующим свойствам, они значительно смягчают толчки от неровной поверхности дороги, передаваемые водителю и корпусу машины [1, 2]. От свойств шины зависят также основные эксплуатационные показатели машины: тягово-сцепные свойства, управляемость, устойчивость, плавность хода, износостойкость, проходимость и топливная экономичность.

В связи с тем, что возрастают требования к эксплуатации шин и безопасности движения транспортных средств, большое внимание уделяется качеству и надежности пневматических шин. Поэтому шины постоянно совершенствуются в направлении повышения стойкости к механическим повреждениям, улучшению тягово-сцепных свойств, уменьшению сопротивления качению, деформации и износа.

Для обеспечения требуемой надежности шин необходима оценка их эксплуатационных свойств на стадии производства [3–5]. Эта задача может быть решена проведением испытаний шин на специальных лабораторных стендах с имитацией реальных условий эксплуатации [6, 7], обеспечивающих определение таких характеристик шины, как возможность продолжительного движения на максимальной скорости, восприятие усилий при криволинейном движении, деформация шины, динамический радиус, срок службы при работе в различных скоростных режимах, сопротивление шини качению, степень нагрева шин и т.д.

Основной составной частью таких стендов является беговой барабан, приводимый в движение электроприводом. Как правило, в подобных стендах вращение барабана реализуется на основе двигателей постоянного тока (ДПТ) с управляемым тиристорным преобразователем. Кроме известных недостатков [8] приводы с ДПТ имеют и высокое потребление электроэнергии, обусловленное потерями на преодоление усилий в механизмах вращения шин. Существенным недостатком подобных стендов является и механизм нагружения шины, который реализуется с помощью механических грузов, подвешенных на тросе через рычаг и воздействующих на ось обода, на котором смонтирована шина. Данный способ нагруже-

ния не позволяет изменять величину нагрузки, которая воздействует на шину в процессе их испытаний.

Цель исследований

Разработка стендов для испытания тракторных шин с новыми механизмами их нагружения и применением современных электроприводов переменного тока, конструкция которых позволила бы обеспечить испытания шин с наибольшей энергоэффективностью при сокращении сроков испытаний шин и затрат на их проведение за счет возможности экономии электрической энергии.

Материалы и методы

Сегодня на рынке много предложений вполне качественного оборудования, которое позволяет проверить шины по необходимым параметрам. Но для полного подтверждения качества выпускаемой продукции проводить испытания целесообразно только на специализированных стендах.

Среди иностранных производителей можно выделить испытательные стенды компаний Tianjin Jiurong и ALTRACON.

Стенды компании Tianjin Jiurong

Tianjin Jiurong WheelTechCo., Ltd. – высокотехнологичная компания, специализирующаяся на исследовании методов испытаний автомобильных колес и шин и разработке соответствующего испытательного оборудования.

Тип стенда: **TJR-1-OTR (Y)** – предназначен для испытания радиальной прочности шин для бездорожья (рис. 1).



Рис. 1. Стенд TJR-1-OTR (Y) для испытания радиальной прочности шин (однопозиционный)

Недостатки стенда:

- возможность испытания только одной шины (однопозиционный);
- нет информации о возможности создания вибрационных нагрузок;

– нет информации о возможности одновременного испытания двух шин разных диаметров.

Тип стенда: **TJR-2-OTR (Y)** – используется для испытания радиальной прочности шин для бездорожья (рис. 2).

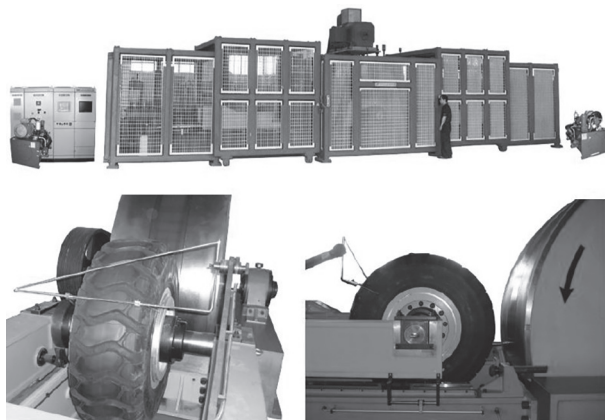


Рис. 2. Стенд TJR-2-OTR (Y) для испытания радиальной прочности шин (двухпозиционный)

Недостатки стенда:

- максимальная ширина испытываемой шины <1000 мм;
- нет информации о возможности создания вибрационных нагрузок;
- нет информации о возможности одновременного испытания двух шин разных диаметров.

Тип стенда: **TJR-1-OTR (Y) A** – используется для проверки шины для бездорожья (шины с диаметром обода 63, 57, 51, 49 дюйма) (рис. 3). Он может оценивать эксплуатационные характеристики шины по значению «тонна на километры в час».

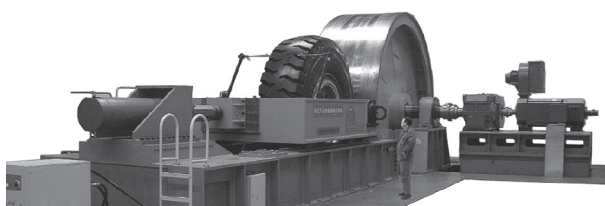


Рис. 3. Стенд TJR-1-OTR (Y) A для испытания шины для бездорожья (однопозиционный)

Недостаток стенда:

- возможность испытания только одной шины (однопозиционный);
- ограниченный посадочный диаметр (обода) 25–63 дюйма;
- нет информации о возможности создания вибрационных нагрузок;

– нет информации о возможности одновременного испытания двух шин разных диаметров.

Стенд компании ALTRACON

ALTRACON – эксперт высокопроизводительного испытательного и измерительного оборудования с опытом разработки и обслуживания механических и электрических систем более 30 лет.

Тип стенда: **Two Position Drum Tire Testing Machine** – двухпозиционная машина для испытания шин на износостойкость (рис. 4).

Она представляет собой сверхмощную машину с множеством встроенных конструктивных и функциональных возможностей, такими как характеристики сопротивления качения и диагностика неисправностей шин, а также эксплуатационные характеристики.

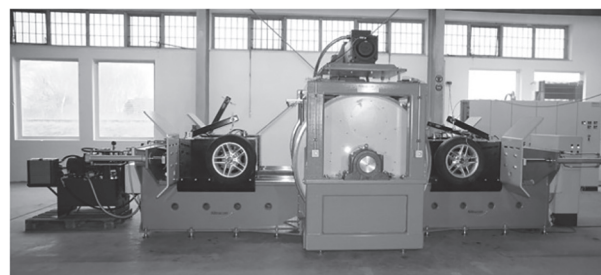


Рис. 4. Стенд ALTRACON для испытания шин на износостойкость (двухпозиционный)

Испытательная машина размещается в центральном модуле с барабаном и приводом и нагрузочной станцией (рис. 5). Модуль имеет собственную жесткую раму. Диаметр барабана 3000 мм. Барабан приводится в действие серводвигателем переменного тока с прямой передачей крутящего момента. Для остановки и блокировки барабана может быть применена дополнительная система аварийного торможения. Ось испытательного колеса оснащена системой блокировки/торможения. Фиксаторы шин адаптированы для различных посадочных диаметров (обода).

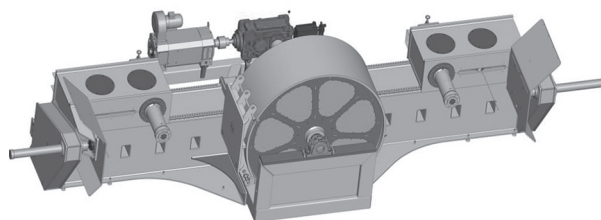


Рис. 5. Конструкция стенда ALTRACON для испытания шин на износостойкость

Нагрузка на колесо прикладывается и измеряется непосредственно на оси вертикального колеса, которая удерживает фиксатор (устройство для крепления колеса) независимо от крутящего момента (рис. 6). Высокоточные линейные направляющие заботятся о плавном движении устройств для крепления колеса и обеспечивают максимальную точность управления.

На каждом колесе установлена система детектора выпуклости.

Испытательный стенд включает в себя систему контроля давления воздуха в шине и может быть опционально оснащена системой измерения температуры воздуха в помещении с помощью поворотного датчика или с 3-канальной радиочастотной системой передачи данных. Есть возможность измерения сопротивления качению колеса.

Машины Altracon, как правило, оснащены системой удаленного мониторинга с помощью интерфейса TCP/IP для немедленного доступа к системе технических специалистов в случае чрезвычайной ситуации, для обслуживания или любых других срочных случаев.

Рабочая станция оператора включает в себя большой ЖК-монитор для управления машиной и дополнительный ЖК-монитор для дополнительной системы мониторинга. Рабочая станция – это человеко-машинный интерфейс (HMI) для полного управления машиной, а также для выполнения тестов/испытаний

и стандартной отчетности, ориентированной на графический интерфейс пользователя (GUI). Тесты хранятся в базе данных. Отчеты об испытаниях могут быть скопированы и вставлены в WORD, что позволяет их быстро и легко обрабатывать.

Недостатки стенда:

- нет информации о возможности создания вибрационных нагрузок;
- нет информации о возможности одновременного испытания двух шин разных диаметров.

Общим недостатком представленных стендов является отсутствие у приводов механизмов вращения шин возможности рекуперации энергии в общую сеть питания и в итоге повышенные затраты электроэнергии при испытаниях шин.

Отечественные стенды

Одним из современных стендов отечественного производства является стенд CO2-100, разработанный в 2007 г. в ОАО «Специальное Конструкторское Бюро Испытательных Машин» (СКБИМ) г. Армавир (рис. 7) [7]. Коллектив СКБИМ работает над созданием и совершенствованием испытательной техники общепромышленного назначения, используемой для массовых контрольных испытаний продукции на соответствие обязательным требованиям стандартов.

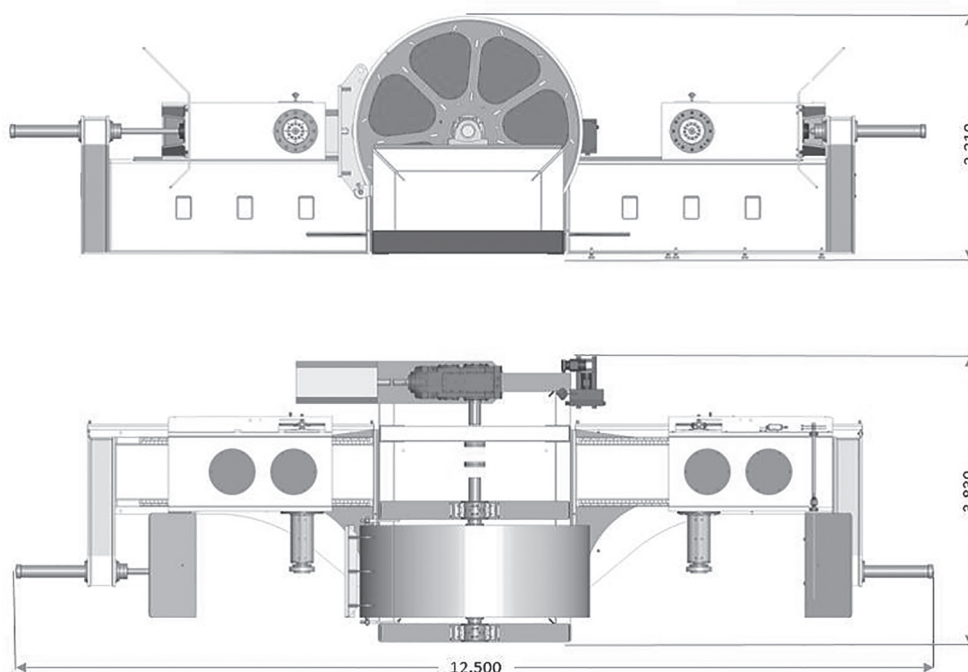


Рис. 6. Габариты стенда ALTRACON для испытания шин на износостойкость

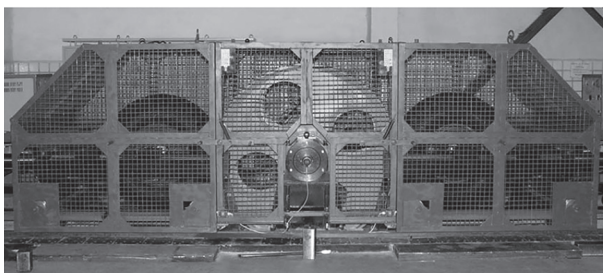


Рис. 7. Стенд CO2-100 для динамических испытаний пневматических шин (двухпозиционный)

Недостатки стенда:

- диаметр испытываемых шин до 1500 мм, нет возможности для испытания шин большего диаметра;
- узкий диапазон измерения нагрузки 0–100 кН;
- нет возможности создания вибрационных нагрузок;
- нет возможности одновременного испытания двух шин разных диаметров;
- за счет преодоления усилий в механизмах вращения шин имеются заметные потери мощности, что увеличивает затраты на электроэнергию в процессе испытаний.

Для устранения недостатков стенда CO2 – 100 предложена его модернизация (рис. 8) [9, 12]. Суть предложения в том, что кроме основного приводного электродвигателя стенда на выходные валы размещения испытываемых шин устанавливаются электродвигатели, работающие в режиме рекуперативного торможения, которые обеспечивают возврат энергии торможения в питающую электромашины сеть. Тем самым потребляемая из сети энергия будет затрачиваться лишь на созда-

ние деформации шин и компенсацию потерь в электроприводах и механизмах стенда.

Для этого симметрично беговому барабану 1 с обеих его сторон располагаются два нагружающих устройства, каждое из которых состоит из асинхронного короткозамкнутого электродвигателя 3 и 4, траверсы 5 с силовым гидроцилиндром 6 и узла установки испытуемой шины 7 (каретки). Каретка и траверса связаны между собой через датчик силы 8, который предназначен для измерения радиальной нагрузки, прикладываемой к шине. Нагрузка на шину создается асинхронными двигателями и силовым гидроцилиндром при фиксированном положении траверсы на горизонтальных колоннах.

Управление двигателями, вращающих барабан 1 и шины 9, обеспечивает система управления 10. Для измерения характеристик служат измерительно-регулирующая аппаратура и управляющий компьютер.

Основные технические характеристики предлагаемого стенда приведены в табл. 1.

Функциональная схема силовой части асинхронного частотно-регулируемого электропривода предлагаемого стенда представлена на рис. 9.

Для питания представленных электродвигателей и преобразователей частоты общее энергопотребление со стороны питающей сети стенда по сравнению с приводом стенда с одной основной электромашиной (стенд CO2-100) практически вдвое меньше [9]. За счет систем индивидуального управления инверторами ИН2 и ИН3 и, соответственно, приводами АД2 и АД3 появляется возможность одновременного нагружения шин разного диаметра.

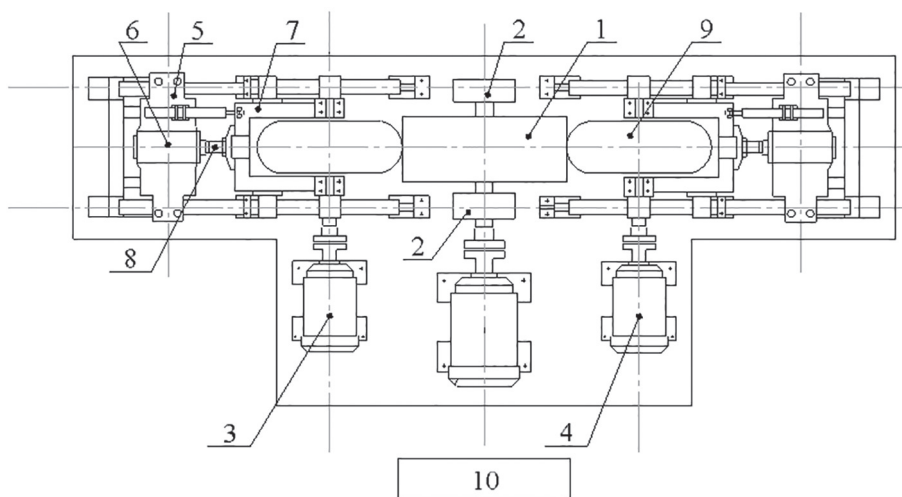


Рис. 8. Кинематическая схема предлагаемого испытательного стенда

Основные технические характеристики модернизированного стелды

№ п/п	Наименования показателя	Значение
1	Диаметр испытываемых шин, мм: – наименьший; – наибольший	1200 3000
2	Ширина профиля испытываемых шин, мм: – наименьший; – наибольший	100 1170
3	Габаритные размеры барабана, мм: – диаметр; – ширина	4777 1200
4	Привод барабана	Асинхронный двигатель
5	Привод колес	Асинхронный двигатель
6	Диапазон измерения нагрузки, кН	0–250
7	Скорость качения бегового барабана, км/ч	0–80
8	Диапазон измерения динамического радиуса, мм	0–1500
9	Диапазон измерения буксования, %	0–100
10	Тяговое усилие, кН	0–50
11	Давление со стороны гидроцилиндров, кПа	0–500
13	Установка угла, град.: – схода; – увода	0–10 0–15
14	Электрооборудование: – электропитание; – частота	3 PEN 380 В ($\pm 10\%$) TN-C-S 50 Гц ($\pm 0,2$ Гц)

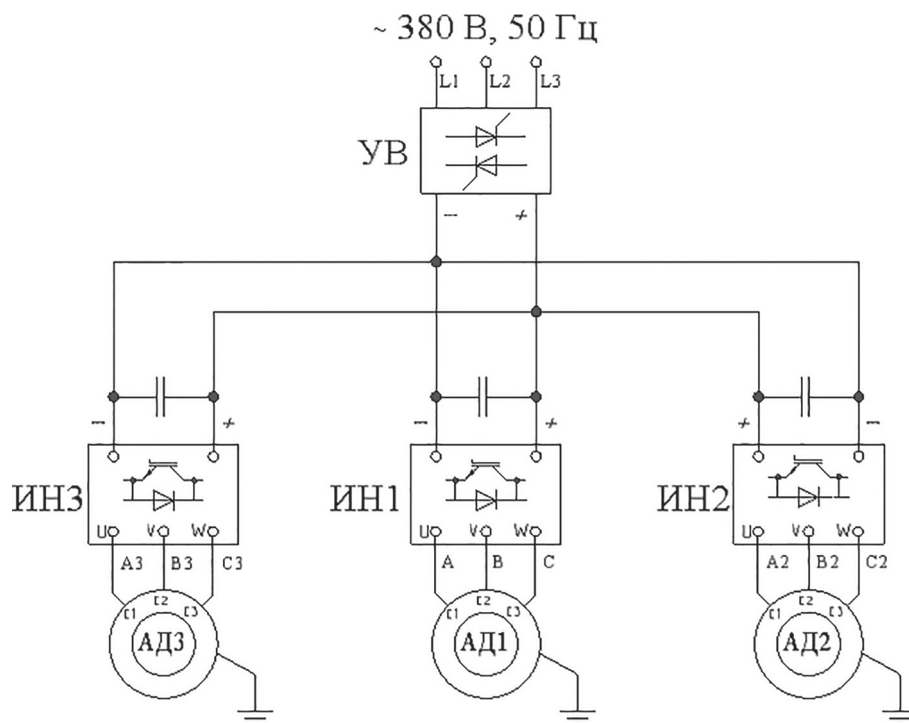


Рис. 9. Функциональная схема силовой части электропривода стелды:
ИН1, ИН2, ИН3 – инверторы напряжения; УВ – управляемый выпрямитель

Результаты и обсуждение

Таблица 2

Зарубежные производители стенов обычно не афишируют подробные их конструкции и показатели. Однако с учетом доступных литературных источников и данных с сайтов компаний [10, 11] можно провести их сравнение (табл. 3).

По данным табл. 3 можно сделать следующие выводы.

1. По диаметру барабана и диаметру испытываемых шин предлагаемый стенд может посоревноваться со стендом TJR-1-OTR (Y) А компании T. JURONG. Диаметр барабана немного (примерно на 200 мм) уступает зарубежному производителю, как и диаметр испытываемых шин.

2. Что касается максимальной скорости испытаний шин, то модернизированный стенд с представленными в табл. 2 техническими данными электроприводов не будет уступать зарубежным аналогам, а даже их превосходить.

3. По прикладываемой нагрузке стенд TJR-1-OTR (Y) А с диаметром барабана 5 метров заметно превосходит конкурентов (1200 кН).

4. За счет систем индивидуального управления инверторами ИН2 и ИН3 и, соответственно, приводами АД2 и АД3 появляется возможность одновременного нагружения шин разного диаметра.

Итоговая таблица потерь мощностей в приводах

	Механизм вращения барабана	Механизм вращения шин	Составляющие суммарных потерь
$\Delta P_{дв.}, Вт$	13713	9176	32065
$\Delta P_{инв.}, Вт$	5102	7731	20656
$\Delta P_{д.}, Вт$	–	33000	66000
$\Delta P_{ув.}, Вт$	5142		
$\Delta P_{\Sigma}, кВт$	124		
$P_{экономл.}, \%$	51		

Выводы

Предлагаемая модернизация электропривода стенда является перспективной, не уступающей по своим характеристикам как зарубежным аналогам, так и отечественному производителю.

В соответствии с аналитическими расчетами [9], предлагаемый вариант испытательного стенда позволяет при его работе вдвое снижать потребление электроэнергии из питающей сети стенда. А за счет управления режимами работы нагрузочных двигателей стенда резко увеличивается возможность изменений нагрузок на испытываемые шины с высоким дина-

Таблица 3

Сравнение технических характеристик современных стенов

Производитель	JURONG			ALTRACON	ОАО «СКБИМ»	Предлагаемый стенд	
	TJR-1-OTR (Y)	TJR-2-OTR (Y)	TJR-1-OTR (Y) А	2-поз.стенд	СО2-100		
Тип машины							
Количество испытываемых шин	1	2	1	2	2	2	
Диаметр барабана, мм	3000	3000	5000	3000	1700	4777	
Ширина барабана, мм	1000	1000	1700	1200		1200	
Диаметр испытываемых шин, мм	1200–2500	1350–2500	1700–4100	600–2500	300–1500	1200–3000	
Макс. скорость испытаний, км/ч	80 (± 2 км/ч)	100 (± 2 км/ч)	70 (± 2 км/ч)	120	170	170	
Максимальная нагрузка, кН	200 (± 1 %)	400 (± 1 %)	1200 (± 1 %)	200 (опц. 300) ($\pm 1,5$ %)	100	250	
Мощность двигателя барабана, кВт	180	361	450	260	~ 250	250	
Габариты стенда	Длина, мм	10800	13900	13000	12500	12000	~14000
	Ширина, мм	3400	3400	7200	3830	3700	~ 3600
	Высота, мм	3000	4300	5200	3310	1700	~ 5000
	Вес, т	44	62	130		11	

мическим быстродействием. Соответственно, разработанная система электроприводов позволяет обеспечивать высокую энергоэффективность испытаний тракторных шин.

Литература

1. Гребнев В.П., Поливаев О.И., Ворохобин А.В. Тракторы и автомобили. Теория и эксплуатационные свойства: учебное пособие / под общ. ред. О.И. Поливаева. М.: КНОРУС, 2016. 260 с.
2. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. М.: Колос, 2004. 504 с.
3. Правила эксплуатации шин для тракторов и сельскохозяйственных машин. URL: <http://lawru.info/dok/1983/05/31/n1183820.htm> (дата обращения: 23.09.2019).
4. ГОСТ 7463-2003. Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. Введ. 2005-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2004. 28 с.
5. Бакунов В.А., Шевчук В.П., Попов А.В. Эксплуатационные показатели тягово-транспортных средств. URL: <https://research-journal.org/technical/ekspluatsionnye-pokazateli-tyagovo-transportnykh-sredstv/> (дата обращения: 26.10.2017).
6. Testingequipment. VMIGroup. URL: <https://www.vmi-group.com/> (дата обращения: 23.09.2019).
7. Прокопенко Ю.Д., Рожнецев В.С., Мараховский В.И. Стенд для динамических испытаний пневматических шин: патент на изобретение № 64369 Российская Федерация; опубл. 2007, Бюл. № 18.
8. Чиликин, М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: учебное пособие для вузов / под общей редакцией П.Е. Сандлера. М: Энергоиздат, 1981 570 с.
9. Власьевнина Е.А., Осипов О.И. Энергосберегающий электропривод для стенда испытаний тракторных шин / Электропривод и системы управления // Труды МЭИ. 2017. Вып. 691. С. 4–10.
10. TIANJIN JIURONG INDUSTRY TECH CO., LTD. URL: <http://www.chinajurong.com/plus/list.php?tid=26> (дата обращения: 23.09.2019).
11. Altracon Worldwide. URL: <http://altracon.com/> (дата обращения: 23.09.2019).
12. Власьевнина Е.А., Осипов О.И. Энергосберегающий электропривод для стенда испытаний тракторных шин: патент на изобретение № 2682806 Российская Федерация; опубл. 21.03.2019, Бюл. № 9.

References

1. Grebnev V.P., Polivaev O.I., Vorohobin A.V. Traktory i avtomobili. Teoriya i ekspluatacionnyye svoystva [Tractors and automobiles. Theory and operational properties: a training manual]: uchebnoe posobie. Pod obshch. red. O.I. Polivaeva. Moscow: KNORUS Publ., 2016. 260 p.
2. Kut'kov G.M. Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskie svoystva [Tractors and automobiles. Theory and technological properties]. Moscow: Kolos Publ., 2004. 504 p.
3. Rules of operation of tires for tractors and agricultural machinery. URL: <http://lawru.info/dok/1983/05/31/n1183820.htm> (accessed: 23.09.2019).
4. GOST 7463-2003. Pneumatic tires for tractors and agricultural machinery. Vved. 2005-01-01. Moscow: Izd-vo standartov Publ., 2004. 28 p.
5. Bakunov V.A., Shevchuk V.P., Popov A.V. Traction vehicle performance indicators (in Russ.). URL: <https://research-journal.org/technical/ekspluatsionnye-pokazateli-tyagovo-transportnykh-sredstv/> (accessed: 26.10.2017).
6. Testingequipment. VMIGroup. URL: <https://www.vmi-group.com/> (accessed: 23.09.2019).
7. Prokopenko YU.D., Rozhencev V.S., Marahovskij V.I. Stend dlya dinamicheskikh ispytaniy pnevmaticheskikh shin [Pneumatic tire dynamic test bench]: patent na izobretenie. No 64369. Rossijskaya Federaciya. Opublikovano 2007. Byul. No 18.
8. CHilikin, M.G., Sandler A.S. Obshchij kurs elektroprivoda [General course of electric drive: study guide for uni-versities]: uchebnoe posobie dlya vuzov. Pod obshchej redakciej P.E. Sandlera. Moscow: Energoizdat Publ., 1981 570 p.
9. Vlas'evnina E.A., Osipov O.I. Energy-saving electric drive for tractor tire test bench. Elektroprivod i sistemy upravleniya. Trudy MEI. 2017. Vyp. 691, pp. 4–10 (in Russ.).
10. TIANJIN JIURONG INDUSTRY TECH CO., LTD. URL: <http://www.chinajurong.com/plus/list.php?tid=26> (accessed: 23.09.2019).
11. Altracon Worldwide. URL: <http://altracon.com/> (accessed: 23.09.2019).
12. Vlas'evnina E.A., Osipov O.I. Energosberegayushchij elektroprivod dlya stenda ispytaniy traktornykh shin [Энерго-сберегающий электропривод для стенда испытаний тракторных шин]: patent na izobretenie. No 2682806. Rossijskaya Federaciya; opubl. 21.03.2019, Byul. No 9.