

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ОСЕЙ ПРИЦЕПОВ

Выполнена экспериментальная оценка напряженно-деформированного состояния ходовых осей большегрузных тракторных прицепов, с учетом результатов исследования их эксплуатационной надежности. Определены статистические характеристики компонент динамической нагрузки и их частотный состав. Предложена конструкция стенда, реализующая двухкомпонентное нагружение балки оси.

Ключевые слова: тракторный прицеп, ось, стендовые испытания, динамическая нагруженность.

Значительным резервом решения проблемы транспорта в сельском хозяйстве является широкое применение тракторных поездов на базе энергонасыщенных колесных тракторов. По сравнению с автомобильным, тракторный транспорт отличается высокой проходимостью и меньшим воздействием на почву, что является существенным фактором его широкого распространения.

Повышение эффективности производства прицепного состава связано с разработкой новых конструкций. Условием ускорения научно-технического прогресса отрасли является возможность оперативной оценки эффективности таких разработок. К числу наиболее ответственных и дорогостоящих узлов прицепных транспортных средств относятся их ходовые оси. Для большегрузных тракторных прицепов к тракторам класса тяги 3-5 материалоемкость осей составляет 6-8 % массы снаряженных прицепов. Поэтому в условиях массового производства задача совершенствования конструкций осей весьма актуальна.

Ходовые оси входят в состав неподрессоренных масс прицепов, поэтому излишняя их металлоемкость отрицательно отражается не только на общих массовых показателях, но и на плавности хода, и, следовательно, на характере и величине динамических воздействий, передаваемых несущей системе. Таким образом, качественные показатели осей существенно влияют на общие эксплуатационные показатели прицепного транспортного средства в целом.

Задачей настоящей работы является изучение напряженно-деформированного состояния осей большегрузных тракторных прицепов, что необходимо для создания комплекса методов и средств для организации их стендовых испытаний в целях совершенствования конструкции.

Основным элементом конструкции оси прицепа является балка оси. Балки осей большегрузных тракторных прицепов – трубчатые, изготавливаемые путем горячейковки цапф, последующей механической обработки посадочных поверхностей и приварки элементов крепления рессор.

Из всех видов эксплуатационных отказов ходовых систем тракторных прицепов, разрушения ходовых осей наиболее опасны. Согласно «Классификатору отказов тракторных прицепов», поломка оси прицепа отнесена к третьей, наивысшей группе сложности, ввиду, во-первых, опасности возможной аварии транспортного средства, во-вторых, значительной сложности и стоимости ремонта.

Для получения показателей эксплуатационной надежности осей большегрузных тракторных прицепов были проанализированы данные по их периодическим контрольным испытаниям, проводимым машиноиспытательными станциями (МИС). Контрольные испытания проводятся в типичных для зоны данной МИС условиях эксплуатации в объеме 2000 часов наработки, что составляет 50 % от наработки, предусмотренной техническими условиями на тракторные прицепы данного класса. Анализировались данные 12-ти МИС по испытаниям 73 прицепов. По результатам испытаний выявлялись факты поломок осей, а также наработка прицепов на отказ данного вида. Кроме того, были обработаны материалы, полученные по результатам наблюдения за большегрузными тракторными прицепами в условиях их рядовой эксплуатации. Под наблюдением находились 84 прицепа. Подконтрольная эксплуатация прицепов осуществлялась в опорных хозяйствах, находящихся в Московской, Брянской и

Белгородской областях, Краснодарском и Ставропольском краях. Прицепы, за которыми осуществлялось наблюдение, были заняты на перевозке грузов соответственно сезону сельскохозяйственных работ.

Разрушения балок осей большегрузных тракторных прицепов, наблюдавшиеся за время их испытаний и в условиях рядовой эксплуатации, довольно четко разделяются по величине наработки на отказ. Часть отказов зафиксирована при наработке до 1000 часов и имеет своей причиной, по наблюдениям автора, главным образом отступления от технологического процесса, допущенные в производстве (прожоги, нарушения температурного режима сварки, разностенность применяемого трубного проката, выведение концов сварных швов на край привариваемой детали). Другая часть отказов зафиксирована при наработке более 2000 часов, разрушения балок осей при этом носят усталостный характер (рисунок 1).

Во всех случаях разрушения балок осей наблюдались в зонах сварных швов, в основном в зоне приварки суппорта и опоры рессоры. При этом видимый рост трещин носит, как показывает практика, катастрофический характер, что намного усложняет или делает вовсе невозможным их своевременное обнаружение и предотвращение дорожно-транспортных происшествий.

Балки осей прицепов, являясь одним из важнейших агрегатов, обеспечивающих безопасность эксплуатации, должны работать без ремонта на протяжении всего срока службы прицепов. Однако, как показывают результаты наблюдения, до 4% обследованных прицепов имеют случаи поломок балок осей. Такую

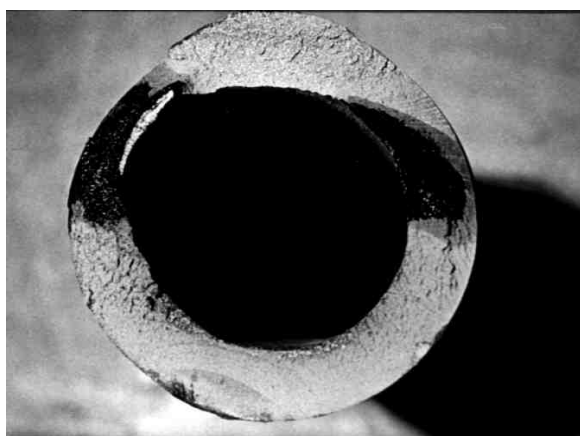


Рисунок 1. Разрушение балки оси в эксплуатации

надежность осей следует признать недостаточной. Необходимо совершенствование их конструкций с целью повышения надежности.

При эксплуатации большегрузных тракторных прицепов, а также при их контрольных испытаниях, проводимых машиноиспытательными станциями, отмечаются случаи обрыва шпилек крепления колеса, разрушений подшипников качения, смятия и срыва резьбы на цапфе оси, разрушений ступицы. Причина поломок – большие продольные (боковые) нагрузки на колеса прицепов, которые в автомобилестроении не учитываются. Однако напряжения растяжения-сжатия, вызываемые боковыми силами, при этом незначительны по величине вследствие больших площадей поперечных сечений балок. Существенное значение имеет только влияние изгибающих моментов от боковых сил, действующих в вертикальной плоскости. Таким образом, основными деформациями, вызываемыми действием на балку внешних сил, являются изгибы в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Результаты исследований свидетельствуют о преимущественно усталостном характере эксплуатационных разрушений осей тракторных прицепов. Причинами, вызывающими эти разрушения, являются совместное действие статических и динамических нагрузок. Исследование эксплуатационной нагруженности осей в связи с этим целесообразно проводить раздельно по каждому из этих факторов. При этом изучение статических нагрузок осуществляется наиболее подробно, с целью выявления максимально нагруженных зон, а также зон, являющихся резервом снижения металлоемкости. На этом этапе имеется возможность использования численных методов анализа напряженно-деформированного состояния, являющихся эффективным средством оптимизации конструкции на стадии проектирования.

Выполненные прочностные расчеты показали, что для балок осей тракторных прицепов разрушения от статических нагрузок, вызванных воздействием перевозимого груза, практически исключены. В то же время в эксплуатации возможны случаи подъема кузовов прицепов с зависшим грузом (смерзшиеся навалочные грузы, силос, влажные органические удобрения и т.п.). Определение нагруженности осей в таких режимах имеет самостоятельное значение.

Экспериментальное исследование нагруженности балок осей производилось тензомет-

рическим методом. В связи со значительными градиентами напряжений, обнаруженными при расчете, и особенностями конструкции, использовались малобазные тензорезисторы типа КФ5П1 с базой 5 мм. Статические напряжения от вертикальных сил определялись с помощью тензодатчиков, расположенных на нижней и верхней поверхностях балки в положении, соответствующем номинальной загрузке прицепа (с учетом поворота оси, жестко соединенной с рессорой, при деформации последней). Схема соединения датчиков – полумостовая с одним активным и одним компенсационным датчиком. Для регистрации статической нагруженности использовался 10-канальный цифровой измеритель деформаций ИДЦ-1, не требующий тарировки измерительных каналов.

Анализ результатов измерений, выполненных применительно к балке оси полуприцепа модели 9554, показывает, что максимально нагруженной зоной при номинальной статической нагрузке балки является ее средняя часть ($y=64-68$ МПа). Максимальные статические напряжения зафиксированы при подъеме передней платформы с зависшим грузом ($y=102$ МПа). Таким образом, напряжения в балке оси при всех режимах статического нагружения значительно меньше предела текучести (500 МПа для стали 40Х).

Выполняя свое основное предназначение, балки осей при движении прицепов подвергаются воздействию сложной системы сил и моментов, обусловленных случайным характером реакций поверхности дороги. В этих условиях исследование их динамической нагруженности имеет целью:

- оценку нагруженности (для определения максимально нагруженных зон, а также зон, являющихся резервом для снижения металлоемкости);
- раскрытие структуры динамических воздействий;
- оценку амплитудного и частотного состава динамических воздействий.

Исследование динамической нагруженности балок осей приводилось на участках дорог, соответствующих четырем категориям эксплуатации:

- дорога I категории – участок асфальтированного шоссе;
- дорога II категории – участок щебеночной дороги;

дорога III категории – участок полевой дороги;

дорога IV категории – участок слежавшейся пашни (движение поперек борозд).

Количественная характеристика микропрофилей указанных участков дорог получена путем замеров дорожных неровностей с помощью нивелира. Измерения производились с шагом 0,5 м на участках дорог длиной не менее 250 м. Длина участков сглаживания микропрофиля, относительно которых нет оснований о принятии гипотезы об их стационарности, составляла 20 м. При большей длине участков сглаживания резко возрастает дисперсия микропрофиля вследствие учета составляющих большой протяженности, не оказывающих влияние на динамическую нагруженность транспортного средства. Результаты обработки показали, что плотности распределения неровностей микропрофиля удовлетворительно описываются центрированными нормальными законами со значениями среднеквадратичных отклонений 1,13; 21; 3,87; 7,07 см соответственно для участков дорог I, II, III и IV категорий.

Изучение напряженно-деформированного состояния элементов конструкций, подвергающихся воздействию пространственной системы сил, как правило, осуществляется путем применения розеточных схем наклейки датчиков. Для деталей симметричного сечения более удобна схемная компенсация тех или иных компонент сложного динамического нагружения и выделение таким способом отдельных компонент [1]. Одновременно можно добиться компенсации температурной погрешности и повысить чувствительность измерительной аппаратуры. В связи с особенностями применяемой измерительной аппаратуры коммутация датчиков осуществлялась по полумостовой схеме. Тарировка измерительных каналов на изгиб производилась путем взвешивания прицепа с номинальной нагрузкой. Тарировка измерительного канала на кручение производилась в специальном приспособлении, имитирующем приложение к оси тормозного момента.

Различные методы схематизации процесса нагружения могут приводить к существенной разнице в расчетной оценке долговечности конструкции. По этой причине оценка динамической нагруженности балки оси производится в два этапа. На первом этапе компоненты дина-

мической нагруженности схематизируются в виде последовательности экстремумов процесса. Это позволяет определить параметры распределения компонент динамической нагруженности в исследованных сечениях балки и их частотный состав, сделать выводы о соотношении отдельных компонент и их влиянии на общую нагруженность балки.

На втором этапе компоненты динамической нагруженности, зарегистрированные в опасном сечении, схематизируются методом анализа полных циклов. Расчетная оценка долговечности при этом характеризуется повышенной точностью за счет учета асимметрии нагружения, существенным образом влияющей на сопротивление усталости.

Результаты статистической обработки реализаций процессов динамического нагружения балки оси (изгиб в вертикальной и горизонтальной плоскости и кручение) для трех сечений балки для типовых режимов эксплуатации приведены в таблице 1.

Анализ статистических характеристик компонент динамической нагруженности показывает, что преобладающее влияние на дина-

мическую нагруженность балки оказывают колебания ее в вертикальной плоскости. Изгиб в горизонтальной плоскости и кручение незначительны для всех типовых режимов эксплуатации, кроме дороги IV категории, где дисперсия напряжений от изгиба в горизонтальной плоскости составляет 31 %, а касательных напряжений от кручения – 23 % от дисперсии напряжений, обусловленных колебаниями в вертикальной плоскости (для прицепа с номинальной нагрузкой). Для порожнего прицепа величины дисперсий компонент динамической нагруженности не превышают 30 % от соответствующих величин, относящихся к прицепу с номинальной нагрузкой, причем максимум этого соотношения достигается также при движении по дороге IV категории.

На рисунке 2 приведены плотности распределения динамических вертикальных нагрузок, действующих на балку оси. Соответствующие плотности распределения вероятностей описываются нормальными законами, причем математическое ожидание динамических нагрузок убывает по мере ухудшения дорожных условий. Это соответствует изменению нормальных ре-

Таблица 1. Статистические характеристики компонент динамических напряжений

Компоненты динамической нагруженности	Сечение балки	Дисперсия амплитуд динамических напряжений, МПа ² , по категориям дорог			
		I	II	III	IV
изгиб в вертикальной плоскости	I-I	$\frac{218}{13}$	$\frac{78}{22}$	$\frac{231}{56}$	$\frac{538}{13}$
	II-II	$\frac{167}{12}$	$\frac{60}{18}$	$\frac{177}{52}$	$\frac{455}{36}$
	III-III	$\frac{259}{16}$	$\frac{116}{32}$	$\frac{273}{57}$	$\frac{733}{20}$
изгиб в горизонтальной плоскости	I-I	$\frac{17}{2}$	$\frac{8}{2}$	$\frac{15}{12}$	$\frac{166}{8}$
	II-II	$\frac{16}{2}$	$\frac{8}{2}$	$\frac{22}{12}$	$\frac{129}{8}$
	III-III	$\frac{18}{2}$	$\frac{10}{3}$	$\frac{19}{14}$	$\frac{198}{16}$
кручение	I-I	$\frac{14}{2}$	$\frac{8}{1}$	$\frac{13}{2}$	$\frac{123}{31}$
	II-II	$\frac{17}{2}$	$\frac{9}{1}$	$\frac{12}{1}$	$\frac{99}{17}$
	III-III	$\frac{19}{3}$	$\frac{17}{3}$	$\frac{15}{2}$	$\frac{131}{34}$
Сечения балки: I-I – зона кольца сальника; II-II – зона посадки суппорта (со стороны рессорной площадки); III-III – зона приварки рессорной площадки (со стороны суппорта). Примечание: в числителе – значения для прицепа с номинальной нагрузкой; в знаменателе – для порожнего прицепа					

акций на колесные опоры прицепа при изменении сопротивления движению. Указанное изменение статической составляющей нагруженности балки от сил, действующих в вертикальной плоскости, не превышает, однако, 4%.

Оценим частотный состав компонент динамических воздействий. Известно [2], что частота нагружения при напряжениях, превышающих предел выносливости конструкции, оказывает определенное влияние на ее долговечность. В области малых (менее 1 Гц) и больших (свыше 100 Гц) частот предел выносливости снижается; внутри указанного интервала - незначительно повышается. Следовательно, определение характеристик сопротивления усталости и организация стендовых испытаний конструкций должны производиться с учетом частотного состава действующих нагрузок.

На рисунке 3 приведены спектральные плотности компонент динамической нагруженности балки оси (в наихудших условиях движения, соответствующих дороге IV категории). Формы кривых, описывающих спектральные плотности, идентичны для всех компонент и различаются, в соответствии с результатами, приведенными в таблице 1, в основном своими амплитудными значениями. В то же время необходимо отметить, что процессы нагружения становятся более широкополосными по мере ухудшения дорожных условий.

Дисперсия динамических напряжений в полосе частот менее 1 с^{-1} не превышает 9 % общей дисперсии по всем анализируемым частотам даже для самого узкополосного процесса нагружения (при движении по дороге II категории). Таким образом, подавляющая доля энергии, расходуемой на накопление усталостных повреждений балок осей, сосредоточена в частотном диапазоне, характеризуемом стабильностью характеристик сопротивления усталости.

Как было отмечено выше, в усложненных дорожных условиях (например, дорога IV категории) напряжения от изгиба в горизонтальной плоскости становятся сопоставимыми с напряжениями изгиба в вертикальной плоскости. Следовательно, для более полной имитации эксплуатационной нагруженности балки оси при стендовых испытаниях, кроме определенной последовательности приложения нагрузки по величине, необходимо обеспечить и соответствующее направление ее приложения.

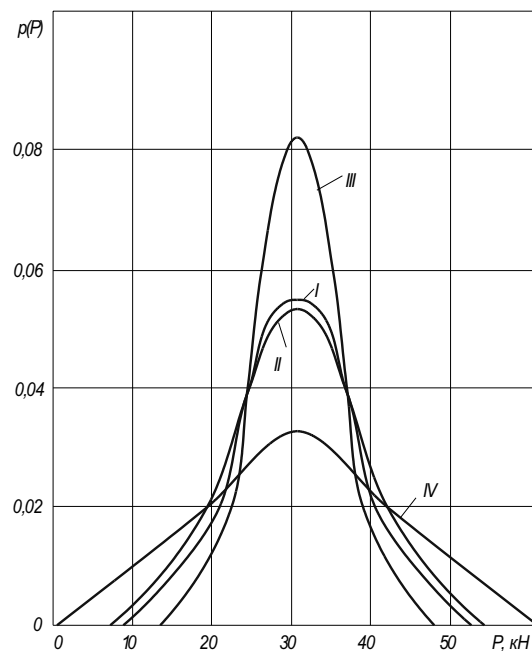
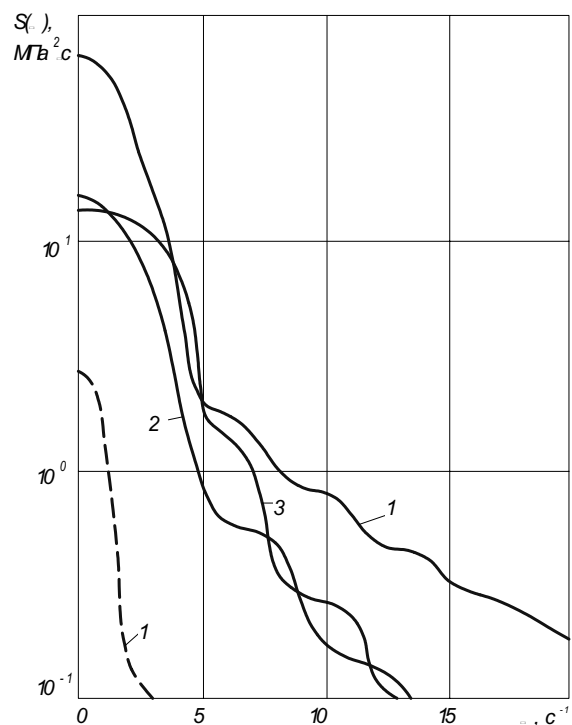


Рисунок 2. Плотности распределения амплитуд вертикальных динамических нагрузок на балку оси при движении по дорогам I - IV категорий (прицеп с номинальной нагрузкой)



1 - от вертикального изгиба; 2 - от горизонтального изгиба; 3 - от кручения; - при движении прицепа с номинальной нагрузкой; - при движении порожнего прицепа

Рисунок 3. Спектральные плотности компонент динамической нагруженности балки оси (сечение III-III) при движении по дороге IV категории

Для достижения этой цели предложен стенд [3], в состав которого, наряду с силовозбудителем циклических нагрузок с системой управления, включено устройство для поворота оси относительно направления действия нагрузки. В процессе испытаний ось поворачивается, следовательно, и направление действия нагрузки на ось изменяется.

В процессе испытаний направление действия силы на ось, т.е. относительное положение оси к действию нагрузки, определяется величиной последней. Это позволяет более полно имитировать напряженное состояние оси в процессе испытаний эксплуатационному состоянию.

Устройство стенда показано на рисунке 4.

Стенд содержит основания 1 с опорами 2 и 3, на которых с помощью секторов 4 и 5 установлена испытываемая ось 6, гидроцилиндры 7 с

динамометрами 8, шарнирно связанные через сферические подшипники 9 с осью 6, и поворотное устройство, выполненное в виде червячной передачи. Червячное колесо 10 жестко связано с осью 6 через сектор 4, а червяк 11 – с опорой 2.

После установки оси 6 с помощью секторов 4 и 5 на опоры 2 и 3 и подсоединения к последней гидроцилиндров 7 с помощью сферических подшипников 9 программное устройство, в котором заложен блок нагружения в виде усилий и соответствующих им чисел циклов нагружения, дает команду на установку положения оси относительно направления действия нагрузки. С помощью червячной передачи ось 6 занимает требуемое положение, и подается команда на включение гидроцилиндров 7. Величина усилия, развиваемого гидроцилиндрами 7, контролируется динамометрами 8 и поддер-

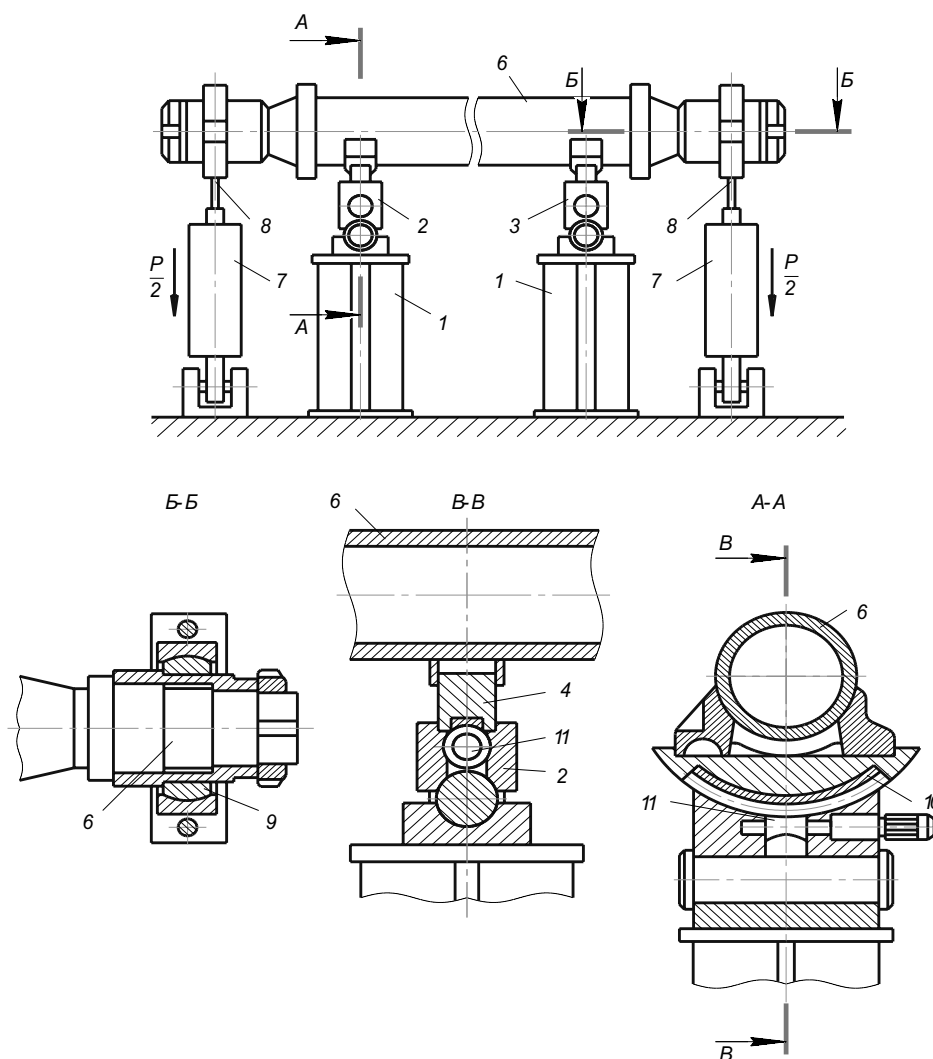


Рисунок 4. Стенд для испытаний осей прицепов, реализующий компонентный состав нагруженности

живается в требуемых режимах, а число циклов нагружения – счетчиком. После нагружения оси 6 заданным числом циклов программное устройство подает новую команду на установку оси 6 в другое положение, а также задает соответствующую величину усилия нагружения и число циклов нагружения. Блоки нагружения оси

6 повторяются до ее разрушения или наработки заданного ресурса.

Использование данного стенда позволяет повысить точность стендовых испытаний путем приближения условий испытаний к реальным условиям нагружения оси в эксплуатации.

10.10.2011

Список литературы:

1. Дайчик, М.Л. Методы и средства натурной тензометрии. Справочник / М.Л. Дайчик, Н.И. Пригоровский, Г.Д. Хуршудов. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
2. Когаев, В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени / В.П. Когаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с.
3. Стенд для испытания осей транспортных средств: пат. 2025696 Рос. Федерация: МПК⁷ G 01 M 17/00 / Журавель А.И., Журавель А.А., Малайтин В.В., Перчаткин Ю.В.: опублик. 30.12.94, Бюл. № 24. – 4 с.

Сведения об авторе:

Перчаткин Юрий Викторович, доцент кафедры автомобилей и автомобильное хозяйство
Орского гуманитарно-технологического института (филиал) ОГУ, кандидат технических наук
г. Орск Оренбургской обл., ул. Каслинская, 14, тел. (3537) 359014, e-mail: aax@ogti.orsk.ru

UDC 629.4.025.10

Perchatkin Y.V.

Orsk humanitarian-technology institute (branch) at OSU, e-mail: aax@ogti.orsk.ru

EXPERIMENTAL VALIDATION MODES BENCH TESTS AXLE TRAILERS

The experimental evaluation of the stress-strain state of heavy axes running tractor trailers, taking into account the results of the study of their reliability. Determine the statistical characteristics of the components of the dynamic loading and their frequency content. The design of the stand, which implements a two-component loading beam axis.

Keywords: Tractor trailer axle, bench tests, the dynamic loading.

Bibliography:

1. Daychik, M.L. Methods and tools for full-scale strain-gauge. Directory / M.L. Daychik, N.I. Prigorovsky, G.D. Khurshudov. - Moscow: Mashinostroyeniye, 1989. - 240.
2. Kogaev, V.P. Strength calculations for voltages at time / V.P. Kogaev. - Moscow: Mashinostroyeniye, 1977. - 232.
3. Stand for testing of axles of vehicles: a stalemate. 2025696 Roth. Federation: MPK7 G 01 M 17/00 / A.I. Zhuravel, A.A. Zhuravel, V.V. Malyatin, Y.V. Perchatkin: publ. 30.12.94, Bull. № 24. - 4.