

УДК 629.016

Совершенствование метода диагностирования рулевого управления шарнирно-сочлененной машины

Е.А. Дубинин¹, А.С. Полянский¹, А.А. Молодан¹, Д.М. Клец²

¹Харьковский автомобильно-дорожный институт

²Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ"
(м.Харків, Україна)

Предложен усовершенствованный метод диагностирования рулевого управления шарнирно-сочлененной колесной машины, существенно влияющего на безопасность ее использования, на основе использования угловых ускорений секций в плоскости дороги в качестве диагностического параметра. Получена зависимость для определения угловых ускорений для случая произвольной установки двух датчиков мобильного регистрационно-измерительного комплекса на машине, что позволяет повысить точность измерений. В соответствии с предложенным подходом была разработана программа-методика диагностирования работоспособности рулевого управления на примере шарнирно-сочлененных колесных тракторов. Проведены экспериментальные исследования по диагностированию рулевого управления колесных машин с номинальным тяговым усилием 35 кН с различной наработкой (от 30 до 6000 часов работы). Полученные с помощью мобильного регистрационно-измерительного комплекса линейные ускорения, для повышения точности, фильтровались с помощью фильтра Баттерворта. Результаты экспериментальных исследований на тракторах с различной наработкой описываются экспоненциальным законом распределения случайных величин. Сравнение полученных результатов для машин с существенными наработками с номинальными значениями диагностических параметров, полученными для новой машины, позволяет оценить техническое состояние гидрообъемного рулевого управления в процессе эксплуатации. Проведенные экспериментальные исследования показали, что при наработке до 6000 часов диагностический параметр ε может уменьшаться до 15%. Полученные результаты могут быть использованы при ремонте и эксплуатации шарнирно-сочлененных колесных машин.

Ключевые слова: метод, угловое ускорение, работоспособность, рулевое управление, шарнирно-сочлененный.

Введение. В условиях эксплуатации контроль и обеспечение работоспособности систем, влияющих на безопасность использования колесных машин, являются одними из приоритетных задач. К таким системам, в первую очередь, относятся рулевое управление и тормозная система. При отказах в рулевом управлении возможно возникновение аварийных ситуаций, в том числе и приводящих к опрокидыванию колесной машины.

Для шарнирно-сочлененных машин, которые осуществляют поворот при помощи гидрообъемного рулевого управления путем взаимного складывания секций, его работоспособность влияет как на устойчивость движения, так и на устойчивость положения. Поэтому разработка и совершенствование методов оценки работоспособности рулевого управления шарнирно-сочлененных машин являются актуальными.

Анализ последних достижений и публикаций. В работе [1] был проведен анализ надежности гидрообъемного рулевого управления, которое применяется на шарнирно-сочлененных машинах. Авторами установлено, что снижение

давления рабочей жидкости ниже требований технических условий является определяющим параметром состояния гидропривода рулевого управления, который влияет на его надежность.

В результате проведенных исследований работоспособности в рядовой эксплуатации пяти тракторов серии ХТЗ-170 при наработке до 6000 часов были обнаружены 26 неисправностей и отказов [1]: снижение давления жидкости в гидроприводе ниже значений, предусмотренных техническими условиями (СД), засорение гидропривода (ЗГ), автоколебания и рывки (АР); нарушение регулировок (НР) и другие неисправности (ДН), к которым отнесены механические повреждения, подтекание рабочей жидкости, выброс жидкости и пены через сапун бака и т.д. Неисправности и отказы распределены по агрегатам гидрообъемного рулевого управления: объемный насос (ОН), насос-дозатор (НД), усилитель потока (УП), гидроцилиндры (ГЦ) и другие агрегаты (ДА), к которым отнесены трубопроводы, обратные клапаны и т.д. (рис. 1).

Снижение давления в гидроприводе рулевого управления существенно влияет на время его

срабатывания при поворотах руля, что негативно сказывается на безопасности использования таких машин. При отказах рулевого управления возможны дорожно-транспортные происшествия (ДТП), связанные с потерей управляемости и устойчивости при движении. Отказ системы в данном случае происходит на определенном временном промежутке и сопровождается потерей давления, поэтому оценка надежности работы возможна в процессе эксплуатации машины или при прохождении технического обслуживания (ТО).

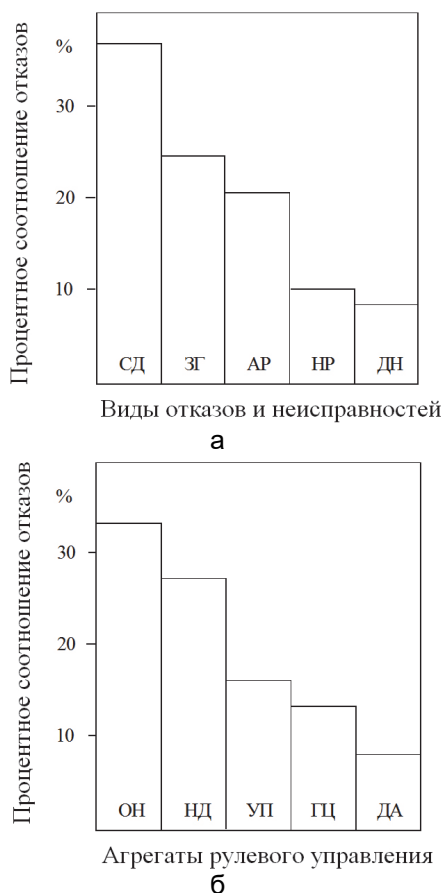


Рис.1. Распределение неисправностей и отказов гидрообъемного рулевого управления выборки тракторов серии ХТЗ-170 за 6000 часов работы: а – по видам; б – по агрегатам

В работе [2] предложен экспресс-метод диагностирования рулевого управления шарнирно-сочлененных машин. Он основан на оценке линейных ускорений и времени одного поворота. Для этого используется мобильный регистрационно-измерительный комплекс (МРИК) [3] с соответствующим программным обеспечением. В работах [4-6] предложены различные схемы для определения кинематических параметров средства транспорта при произвольной установке датчиков в плоскости дороги.

Предложенный экспресс-метод [2] позволяет оценить отклонение диагностируемых параметров трактора, находящегося в эксплуатации, относительно их эталонных значений. Однако указанный подход не предусматривает определение одного из важнейших параметров работы рулевого управления шарнирно-сочлененных машин – мгновенных угловых ускорений их секций в плоскости дороги.

Таким образом, значительное количество отказов рулевого управления и отсутствие доступных методов диагностирования его важнейших параметров приводит к необходимости дальнейшего исследования вопроса оценки работоспособности рулевого управления шарнирно-сочлененных машин в условиях эксплуатации.

Цель и постановка задачи Целью исследования является совершенствование метода диагностирования рулевого управления шарнирно-сочлененной колесной машины на основе использования угловых ускорений секций в плоскости дороги в качестве диагностического параметра. Для достижения поставленной цели необходимо:

- решить задачу определения угловых ускорений секций при повороте в плоскости дороги с учетом особенностей конструкции шарнирно-сочлененных машин;
- провести экспериментальное определение параметров работы рулевого управления шарнирно-сочлененных машин с различной наработкой.

Совершенствование метода оценки работоспособности рулевого управления шарнирно-сочлененных колесных машин

Для повышения точности оценки работоспособности рулевого управления предложен усовершенствованный метод, основанный на определении угловых ускорений секций шарнирно-сочлененной колесной машины в плоскости дороги. Для этого на каждую секцию устанавливается по 2 датчика линейных ускорений.

На рисунке 2 приведена принципиальная схема их расположения на машине, на которой выполняется диагностирование работоспособности рулевого управления.

Рассмотрим определение параметров движения на примере задней секции машины. Вращение каждой секции осуществляется вокруг собственного центра – середины моста, движение которых при повороте секций в плоскости дороги осуществляется вдоль оси ОХ. Смещением точек О1 и О2 вдоль оси ОХ при повороте секций пренебрегаем вследствие малости углов складывания машины.

Для оценки технического состояния рулевого управления необходимо установить машину на ровной горизонтальной сухой поверхности с

асфальтовым или бетонным покрытием, повернуть руль «от упора до упора» с максимальной интенсивностью не менее 3 раз в каждую сторону. Частота возмущающего воздействия на колесную машину при этом составляет 0,2 Гц. МРИК в режиме реального времени записывает величины продольных a_x и боковых a_y линейных ускорений в плоскости дороги. При этом погрешность измерений не превышает 4% [3]. Полученные с помощью МРИК линейные ускорения, для повышения точности, фильтруются с помощью фильтра Баттерворта [7]. Далее линейные ускорения пересчитываются по соответствующей зависимости в угловые ускорения, которые усредняются с использованием известных методов математической статистики.

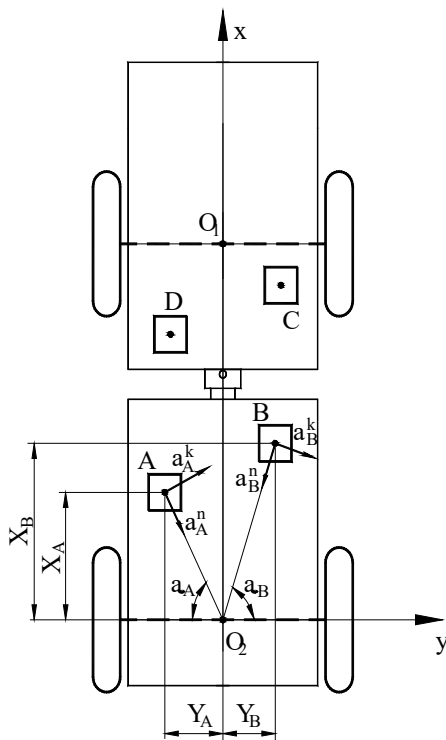


Рис. 2. Схема расположения датчиков на шарнирно-сочлененной машине

Компоненты ускорений точек A и B (в которых установлены датчики ускорений на передней секции шарнирно-сочлененной машины)

$$a_A^k = \varepsilon l_{AO_2}, \quad a_B^k = \varepsilon l_{BO_2}; \quad (1)$$

$$a_A^n = \omega^2 l_{AO_2}, \quad a_B^n = \omega^2 l_{BO_2}. \quad (2)$$

Компоненты ускорений точек A и B в направлении координатных осей O_2X и O_2Y определяются по формулам

$$a_{AY} = a_A^n \cos \alpha_A + a_A^k \sin \alpha_A = l_{AO_2} (\omega^2 \cos \alpha_A + \varepsilon \sin \alpha_A); \quad (3)$$

$$a_{AX} = a_A^k \cos \alpha_A - a_A^n \sin \alpha_A = l_{AO_2} (\varepsilon \cos \alpha_A - \omega^2 \sin \alpha_A); \quad (4)$$

$$a_{BY} = -a_B^n \cos \alpha_B + a_B^k \sin \alpha_B = l_{BO_2} (-\omega^2 \cos \alpha_B + \varepsilon \sin \alpha_B); \quad (5)$$

$$a_{BX} = -a_B^k \cos \alpha_B - a_B^n \sin \alpha_B = -l_{BO_2} (\varepsilon \cos \alpha_B + \omega^2 \sin \alpha_B). \quad (6)$$

Средние значения компонент ускорений точек A и B по осям O_2X и O_2Y в этом случае составляют

$$\bar{a}_Y = \frac{1}{2} (a_{AY} + a_{BY}) = \frac{1}{2} \omega^2 (l_{AO_2} \cos \alpha_A - l_{BO_2} \cos \alpha_B) + \frac{1}{2} \varepsilon (l_{AO_2} \sin \alpha_A + l_{BO_2} \sin \alpha_B); \quad (7)$$

$$\bar{a}_X = \frac{1}{2} (a_{AX} + a_{BX}) = \frac{1}{2} \varepsilon (l_{AO_2} \cos \alpha_A - l_{BO_2} \cos \alpha_B) - \frac{1}{2} \omega^2 (l_{AO_2} \sin \alpha_A + l_{BO_2} \sin \alpha_B). \quad (8)$$

В уравнениях (7) и (8), при условии $Y_A < 0$ и $Y_B > 0$ (согласно рис. 2)

$$l_{AO_2} \cos \alpha_A - l_{BO_2} \cos \alpha_B = -Y_A - Y_B; \quad (9)$$

$$l_{AO_2} \sin \alpha_A + l_{BO_2} \sin \alpha_B = X_A + X_B. \quad (10)$$

Из выражений (7) и (8) составим, с учетом (9) и (10), систему уравнений

$$\begin{cases} \bar{a}_Y = -\frac{1}{2} \omega^2 (Y_A + Y_B) + \frac{1}{2} \varepsilon (X_A + X_B); \\ \bar{a}_X = -\frac{1}{2} \varepsilon (Y_A + Y_B) - \frac{1}{2} \omega^2 (X_A + X_B). \end{cases} \quad (11)$$

Решая полученную систему, определим диагностический параметр (величину углового ускорения в плоскости дороги)

$$\varepsilon = \frac{(a_{AY} + a_{BY})(X_A + X_B)}{(Y_A + Y_B)^2 + (X_A + X_B)^2} - \frac{(a_{AX} + a_{BX})(Y_A + Y_B)}{(Y_A + Y_B)^2 + (X_A + X_B)^2}. \quad (12)$$

Таким образом, в результате исследований получена зависимость для определения диагностического параметра в виде угловых ускорений секций в плоскости дороги ε для случая произвольной установки двух датчиков.

В соответствии с предложенным подходом

было проведено диагностирование работоспособности рулевого управления на примере шарнирно-сочлененных колесных тракторов с номинальным тяговым усилием 35 кН. На рисунке 3 представлены места крепления датчиков на полурамах. Результаты представлены в виде гра-

фиков угловых ускорений в плоскости дороги (рис. 4). Результаты проведения экспериментальных исследований на тракторах с различной наработкой представлены в виде графиков диагностических параметров ε (рис. 5).



Рис. 3. Установка датчиков МРИК на шарнирно-сочлененной машине:
а – на передней секции; б – на задней секции

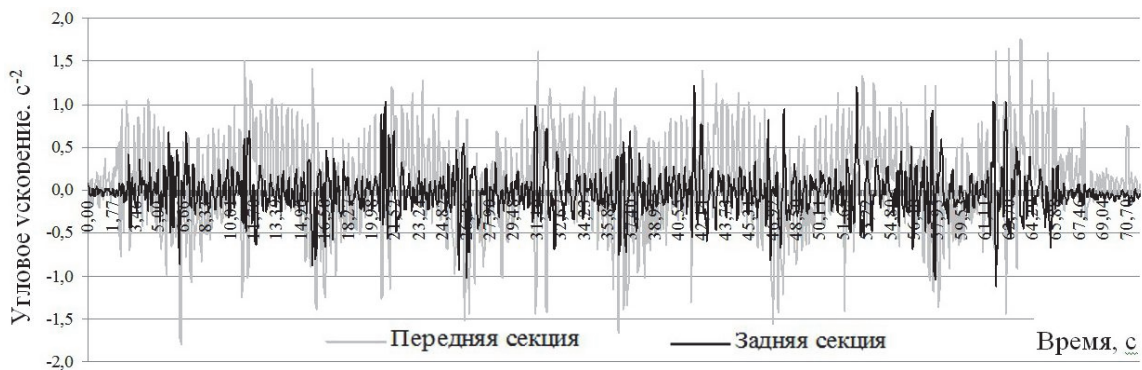


Рис. 4. Графики диагностических параметров рулевого управления шарнирно-сочлененной машины с наработкой 6000 часов

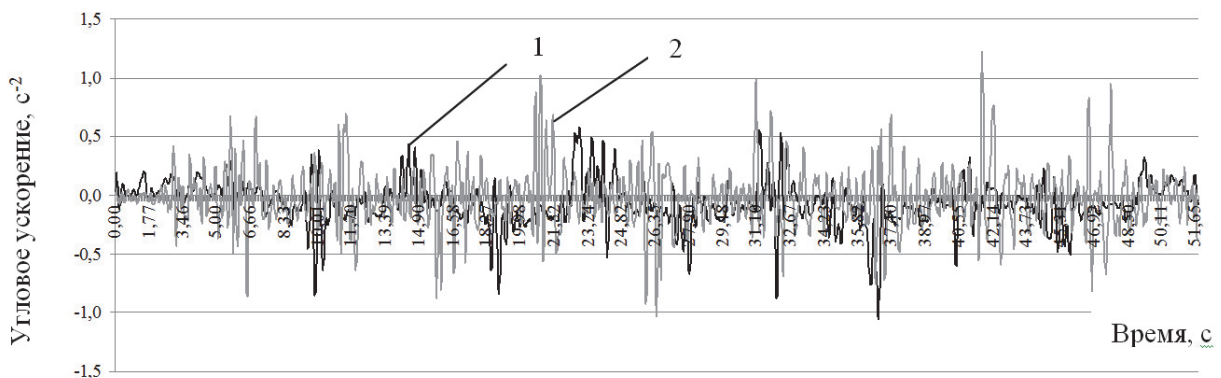


Рис. 5. Графики диагностических параметров рулевого управления шарнирно-сочлененных тракторов

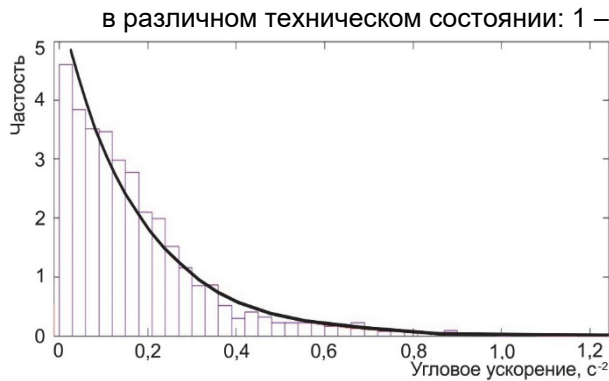


Рис. 6. Гистограмма распределения угловых ускорений при складывании трактора с номинальным тяговым усилием 35 кН

Статистическая обработка полученных результатов позволила определить средние угловые ускорения секций в плоскости дороги, которые представлены в таблице 1. Результаты экспериментальных исследований на тракторах с различной наработкой описываются экспоненциальным законом распределения случайных величин. На рисунке 6 представлена гистограмма распределения угловых ускорений для трактора с наработкой 6000 часов.

Таблица 1. Результаты статистической обработки экспериментальных данных

Трактор	Диагностический параметр ε , с^{-2}	Критерий Std. Err.
наработка 30 часов	0,18	0,004
наработка 6000 часов	0,16	0,004

Сравнение полученных результатов для машин с существенными наработками с номинальными значениями диагностических параметров, полученными для новой машины, позволит оценить техническое состояние гидрообъемного рулевого управления шарнирно-сочлененных колесных машин в процессе эксплуатации.

Выводы.

Получена зависимость для определения угловых ускорений секций шарнирно-сочлененной колесной машины в плоскости дороги при произвольной установке датчиков линейных ускорений. С использованием полученной зависимости предложен усовершенствованный метод оценки работоспособности рулевого управле-

ния, учитывающий особенности конструкции колесных шарнирно-сочлененных машин. Проведенные экспериментальные исследования по диагностированию рулевого управления шарнирно-сочлененных машин с различной наработкой показали, что при наработке до 6000 часов диагностический параметр ε может уменьшаться до 15%.

Литература

1. Лебедев С.А. Визначальний параметр стану гідрооб'ємного рульового керування трактора / С.А. Лебедев, В.С. Шеїн, М.П. Артьомов, І.В. Колеснік // Вісник НТУ «ХПІ». – 2015. – № 8 (1117). – С. 11 -18.
2. Подригало М.А. Експрес-метод діагностування рульового керування шарнірно-зчленованих машин / М.А. Подригало, А.І. Коробко, О.О. Назарько, Ю.А. Радченко // Наукове забезпечення службово-бойової діяльності Національної гвардії України: VI науково-практична конференція, 9 квітня 2015 р.: тези доп. – Харків, 2015. – С. 45 - 46.
3. Пат. 51031 Україна, МПК G01P 3/00. Система для визначення параметрів руху автотранспортних засобів при динамічних (кваліметричних) випробуваннях / Подригало М.А., Коробко А.І., Клец Д.М., Файст В.Л.; заявник та патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – №U201001136; заявл. 04.02.10; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12.
4. Клец Д.М. Вплив експлуатаційних факторів та технічного стану автомобіля на його стійкість проти заносу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» / Д.М. Клец. – Харків, 2009. – 20 с.
5. Подригало М.А. Метрологічне забезпечення динамічних випробувань тягово-транспортних машин / М.А. Подригало, А.І. Коробко, Д.М. Клец, В.І. Гацько // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Тракторна енергетика в рослинництві. – 2009. – Вип. 89. – С. 87- 89.
6. Клец Д.М. Метод определения параметров движения средств транспорта с помощью датчиков ускорений / Д.М. Клец, Е.А. Дубинин // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. – 2014. – Вип. 151. – С. 373 - 378.
7. Электронные системы контроля устойчивости: ECE/TRANS/180/ Add.8. – [Введены в Глобальный регистр. 2008-06-26] – Женева: Гло-

бальный регистр. Организация объединённых наций, 2008. – 116 с.

Аннотація

Удосконалення методу діагностування рульового управління шарнірно-зчленованої машини

Є.О. Дубінін, О.С. Полянський, А.О. Молодан, Д.М. Клец

Запропоновано удосконалений метод діагностування рульового управління шарнірно-зчленованої колісної машини, що істотно впливає на безпеку її використання, на основі використання кутових прискорень секцій в площині дороги в якості діагностичного параметра. Отримана залежність для визначення кутових прискорень для випадку довільної установки двох датчиків мобільного реєстраційно-вимірювального комплексу на машині, що дозволяє підвищити точність вимірювань. Згідно з запропонованим підходом була розроблена програма-методика діагностування працездатності рульового управління на прикладі шарнірно-зчленованих колісних тракторів. Проведені експериментальні дослідження з діагностування рульового керування колісних машин з номінальним тяговим зусиллям 35 кН з різним напрацюванням (від 30 до 6000 годин роботи). Отримані за допомогою мобільного реєстраційно-вимірювального комплексу лінійні прискорення, для підвищення точності, фільтрувалися за допомогою фільтра Баттерворта. Результати експериментальних досліджень на тракторах з різним напрацюванням описується експоненціальним законом розподілу випадкових величин. Порівняння отриманих результатів для машин з суттєвими напрацюваннями з номінальними значеннями діагностичних параметрів, отриманими для нової машини, дозволяє оцінити технічний стан гідрооб'ємного рульового управління в процесі експлуатації. Проведені експериментальні дослідження показали, що при напрацюванні до 6000 годин діагностичний параметр може зменшуватися до 15%. Отримані результати можуть бути використані при ремонті та експлуатації шарнірно-зчленованих колісних машин.

Ключові слова: *метод, кутове прискорення, працездатність, рульове управління, шарнірно-зчленований.*

Abstract

Improving of the articulated vehicle steering diagnosing method

Ye.A. Dubinin, O.S. Polyanskyi, A.A. Molodan, D.M. Klets

The improved method of articulated wheeled vehicle steering diagnosing that significantly affects the safety of its use, through the use of angular accelerations of the sections in the road plane as a diagnostic parameter is proposed. The dependence for determining the angular accelerations for the case of arbitrary installation of the two sensors of mobile registration-measuring system on the machine, which improves the measurement accuracy is obtained. In accordance with the proposed approach was developed the program-method of diagnosing performance of the steering on the example of the articulated wheeled tractors. Experimental studies on the diagnosis of steering control of wheeled machines with a nominal traction force of 35 kN with different time (from 30 to 6000 hours of operation) are held. Obtained by using the mobile registration-measuring system linear acceleration, for improved accuracy, was filtered using the Butterworth filter. The results of experimental studies on tractors with different operating time are described by an exponential law of distribution of random variables. Comparison of the obtained results for machines with significant developments with nominal values of diagnostic parameters obtained for the new machine, allows evaluate the technical state of the hydrostatic steering operation. Experimental studies have shown that at an operating time of 6000 hours the diagnostic parameter may be reduced to 15%. The obtained results can be used in the repair and operation of articulated wheeled vehicles.

Keywords: *method, angular acceleration, operability, steering, articulated.*

Представлено від редакції: М.А. Подригало / Presented on editorial: M.A. Podrygalo

Рецензент: М.П. Арт'омов / Reviewer: M.P.Art'omov

Подано до редакції / Received: 18.03.2016