

Применение современных цифровых приборов для фиксации параметров движения сельскохозяйственных агрегатов

Семён Сергеевич Ус, Евгений Владимирович Маршанин, Константин Евгеньевич Кузнецов, Евгений Евгеньевич Кузнецов, Сергей Васильевич Щитов

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет», г. Благовещенск, Россия

e-mail: magusus@mail.ru

Аннотация. Несмотря на значительный спектр известных в современных отраслях промышленности методов определения механических неисправностей, как и прежде актуальным остаётся вопрос широкомасштабного использования и расширения сферы применения современных цифровых устройств и приборных комплексов, ранее имевших достаточно ограниченную специфику в виде отдельных элементов контролирующих систем. Учитывая, что в современном уровне техники наиболее востребованы высокотехнологичные цифровые решения, способные на качественном уровне и при минимальном времени, затраченном на проведение диагностических работ или испытаний, провести безразборные исследования и фиксацию рабочих параметров сложных систем и агрегатов, используемых в агропромышленном комплексе, наиболее перспективным представляется применение цифровых инклинометров, при их низкой стоимости, технологичности и доступности, предоставляющих значительные возможности по замеру и фиксации конструктивно-технологических параметров комплекса, машины или агрегата. В статье обосновывается применение высокоточного инклинометрического комплекса как для проведения диагностических работ, так и для замера необходимых параметров технологического комплекса в движении и приводятся результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: технологический комплекс; инклинометр; условия движения; средства диагностирования; параметры; эффективность.

Для цитирования: Ус С. С., Маршанин Е. В., Кузнецов К. Е., Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Применение современных цифровых приборов для фиксации параметров движения сельскохозяйственных агрегатов // Аграрный научный журнал. 2023. № 8. С. 147–154. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i8pp147-154>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

The use of modern digital devices for fixing the parameters of movement of agricultural units

Semyon S. Us, Evgeniy V. Marshanin, Konstantin E. Kuznetsov, Evgeniy E. Kuznetsov, Sergey V. Shchitov

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Far Eastern State Agrarian University” Blagoveshchensk, Russia

e-mail: magusus@mail.ru

Abstract. Despite a significant range of methods for determining mechanical failures known in modern industries, the issue of large-scale use and expansion of the scope of modern digital devices and instrumentation systems, which previously had rather limited specifics in the form of individual elements of control systems, remains relevant as before. Taking into account that in the modern state of technology, high-tech digital solutions are most in demand, capable of carrying out in-place research and fixing the operating parameters of complex systems and units used in the agro-industrial complex at a qualitative level and with a minimum time spent on diagnostic work or testing, it seems to be the most promising the use of digital inclinometers, with their low cost, manufacturability and availability, providing significant opportunities for measuring and fixing the design and technological parameters of a complex, machine or unit. The article substantiates the use of a high-precision inclinometric complex both for carrying out diagnostic work and for measuring the necessary parameters of a technological complex in motion and presents the results of experimental studies.

Keywords: technological complex; inclinometer; traffic conditions; diagnostic tools; parameters; efficiency.

For citation: Us S. S., Marshanin E. V., Kuznetsov K. E., Kuznetsov E. E., Shchitov S. V. The use of modern digital devices for fixing the parameters of movement of agricultural units // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(8):147–154. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i8pp147-154>.





Введение. Несмотря на широкий ряд известных в современных отраслях промышленности методов определения механических неисправностей, как и прежде актуальным остаётся вопрос широкомасштабного использования и расширения сферы применения современных цифровых устройств и приборных комплексов, ранее имевших достаточно ограниченную специфику в виде отдельных элементов контролирующих систем.

Учитывая сложность технической системы, которой является современный технологический комплекс, используемый в сельском хозяйстве, при его нахождении как в условиях ремонтно-диагностического комплекса, так и в движении непосредственно во время выполнения сельскохозяйственных работ, когда больше всего проявляются факториальные зависимости климатических факторов, воздействие состояния поверхности движения, технологических параметров, тяговых и массогабаритных характеристик исследуемых объектов существует необходимость применения приборов, позволяющих комплексно осуществлять контроль и фиксацию их параметров.

Практика показывает, что в современном уровне техники наиболее востребованы высокотехнологичные цифровые решения, способные на качественном уровне и при минимальном времени, затраченном на проведение диагностических работ или испытаний, провести безразборные исследования и фиксацию рабочих параметров сложных систем и агрегатов, используемых в агропромышленном комплексе, наиболее перспективным представляется применение цифровых инклинометров, при их низкой стоимости, технологичности и доступности, предоставляющих значительные возможности по замеру и фиксации конструктивно-технологических параметров комплекса, машины или агрегата.

Цифровой инклинометр – прибор, предназначенный для измерения угла наклона различных объектов относительно гравитационного поля Земли, представленный на рис. 1, который показал высокую степень эффективности при проведении экспериментальных исследований по безразборной диагностике автомобиля [1, 4, 5].

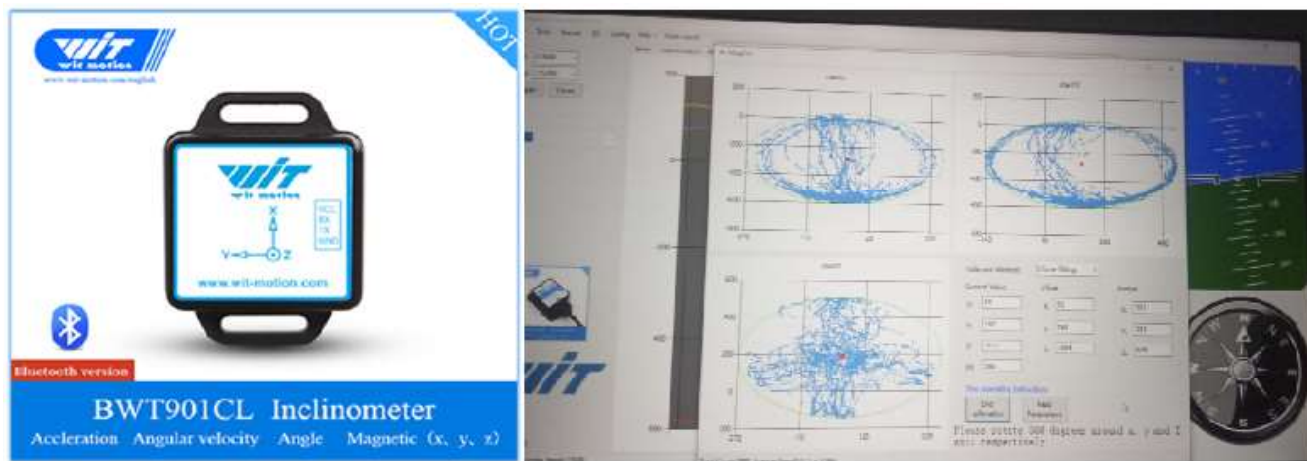


Рис. 1. Цифровой инклинометр и экран калибровки магнитных амплитуд датчика по трём осям кватерниона

При анализе известных работ авторов, в которых описано применение непрерывных гироскопических инклинометров только в целях повышения точности определения параметров буровых скважин и в медицине для определения подвижности суставов, публикаций отечественных, и зарубежных учёных установлено, что применение кватернионного аппарата цифрового инклинометра для проведения безразборного диагностирования, эксплуатационных испытаний новых, или модернизированных объектов машиностроения, исследований подвижности или маневренности агрегатов на современном этапе развития техники и технологий практически не рассматривалось, что подтверждает актуальность, новизну и обосновывает перспективную востребованность инклинометрических приборных комплексов в производстве при детальном исследовании их характеристик и возможностей.

Методика исследований. Инклинометр BWT901CL (см. рис. 1) – мультисенсорный прибор, который можно применить к широкому спектру вариантов использования, интерпретируя данные датчика с помощью интеллектуальных алгоритмов. Датчик AHRS IMU. AHRS – Attitude and Heading Reference Systems, относится к системам определения курса и пространственного по-

ложения, предназначен для измерения угла наклона, угловой скорости и изменения магнитного поля объектов относительно гравитационного поля планеты, позволяет выводить полученную информацию в среду 3Д визуализации, тем самым наглядно демонстрируя оператору происходящее с объектом исследования в режиме реального времени. Инклинометр также позволяет вести запись параметров по беспроводной связи при помощи Bluetooth или при помощи проводного соединения через интерфейс USB к персональной ЭВМ. Одними из самых важных и значимых характеристик рассматриваемого прибора являются возможность его самостоятельной калибровки и высокие точностные данные, определяемые прибором.

При решении поставленных задач разработан: специальная методика применения цифрового инклинометра при проведении эксплуатационных испытаний и диагностических исследований, способы полной эмуляции работы агрегата и сличения полученных результатов с эталонными в рамках одного поля рабочего стола ЭВМ и формирования графических отображений исследуемых параметров (рис. 2) [2, 3].

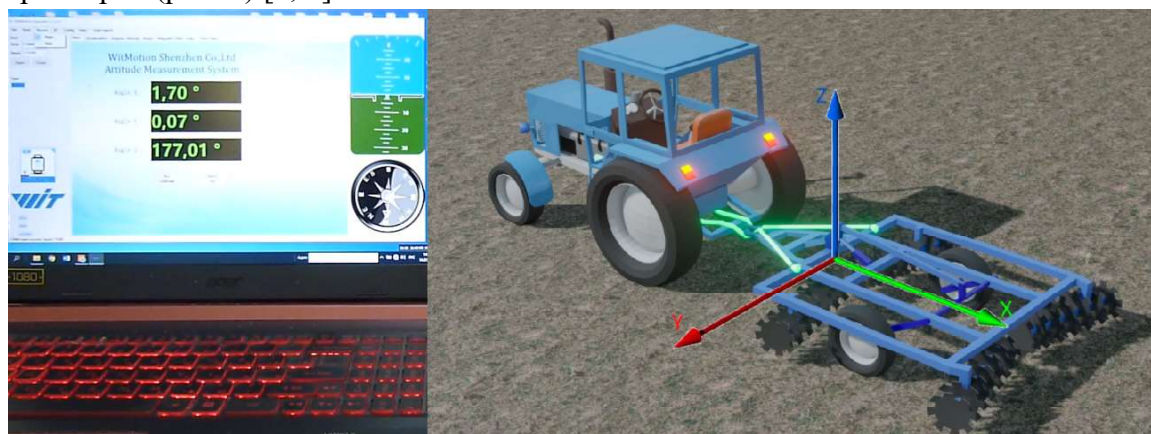


Рис. 2. Фирменное программное обеспечение для ЭВМ и кадр эмуляции движения экспериментального агрегата

Для подтверждения рабочей гипотезы, свидетельствующей об эффективности применения кватернионного аппарата цифрового инклинометра в виде приборного комплекса, приспособленного для определения конструктивно-технологических параметров технологического агрегата, проведён ряд экспериментальных исследований, которые были проведены с бороновальным машинно-тракторным агрегатом и тракторно-транспортным агрегатом при выполнении сельскохозяйственных работ.

Для лучшей визуализации принципа действия и положений фиксации параметров трактора средствами программного обеспечения в цифровой среде проведена эмуляция агрегата с наложением конструкции трактора на фиксируемые параметры кватерниона, представленные рис. 3–5. Предлагаемые примеры визуализации позволяют дать представление об осях движения и колебательных контурах, которые могут быть замерены возможностями предлагаемого приборного комплекса.

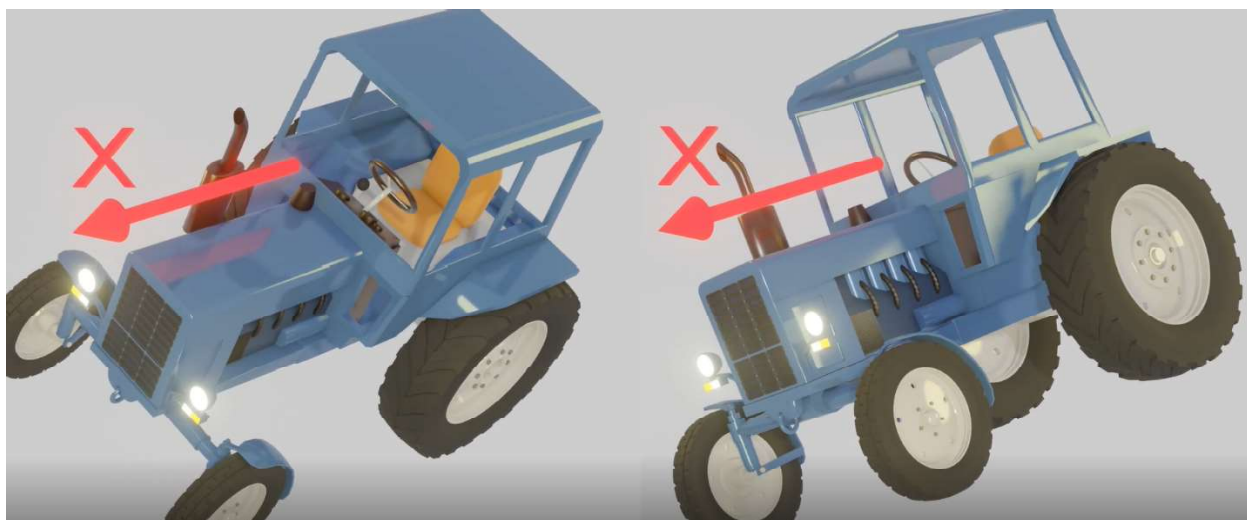


Рис. 3. Эмуляция отклонения трактора по оси X кватерниона





Рис. 4. Эмуляция отклонения трактора по оси Y кватерниона

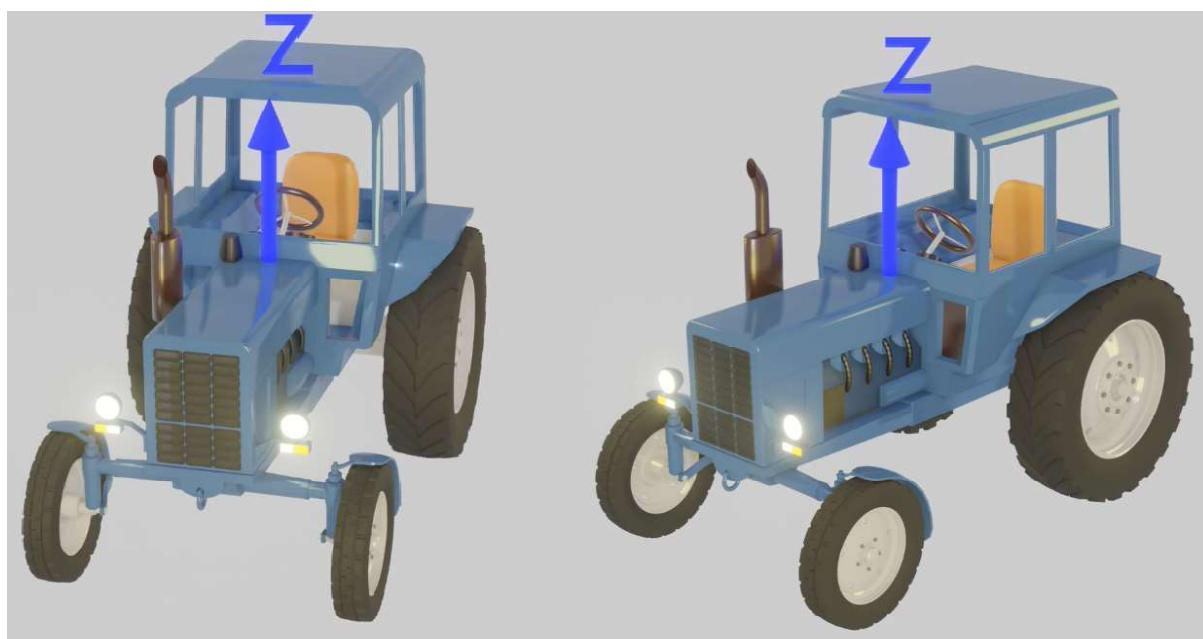


Рис. 5. Эмуляция отклонения трактора по оси Z кватерниона

Объектами исследования были выбраны в первом случае:

серийный машинно-тракторный агрегат (МТА), состоящий из колёсного трактора МТЗ-80 и дисковой бороны БДТ-3 со сроком эксплуатации 13 лет и экспериментальный МТА, с устройством стабилизации движения за счёт перераспределения сцепного веса в ходовой системе агрегата по патенту РФ № 196181 Регулятор сцепного веса бороновального агрегата (рис. 6).

Установка приборного комплекса инклинометра осуществлялась методом крепления датчика на раму дисковой бороны посредством клейкой ленты с установлением устойчивой беспроводной персональной сети между инклинометром и персональной ЭВМ (рис. 7). При этом подбор точки установки определялся массогабаритными характеристиками бороны и теоретическими условиями её стабилизации в транспортном положении.

Исследования проводились как в условиях производственной эксплуатации при выполнении боронования, так и во время транспортного перемещения МТА по дорогам с усовершенствованным покрытием.

Объектами исследования были выбраны во втором случае:

трактор МТЗ-82 серийный и трактор МТЗ-82 экспериментальный с перспективным буксирно-распределяющим устройством по патенту № 2753047 (патентообладатель ФГБОУ ВО Дальне-



восточный ГАУ) на транспортных работах при перевозке сельскохозяйственных грузов. Объекты исследований представлены на рис. 8.



Рис. 6. Объекты исследований первого экспериментального исследования: слева – серийный МТА; справа – экспериментальный МТА с регулятором сцепного веса бороновального агрегата



Рис. 7. Место установки приборного комплекса цифрового инклинометра первого экспериментального исследования



Рис. 8. Объекты исследований второго экспериментального исследования: слева – серийный тракторно-транспортный агрегат; справа – экспериментальный тракторно-транспортный агрегат с перспективным буксирно-распределющим устройством

Инклинометр устанавливался на три точки: поперечная траверса дышла прицепа, в кабине тракториста-машиниста в районе задней оси и непосредственно на передней оси, крепление датчика на точки происходило посредством клейкой ленты с установлением устойчивой беспроводной персональной сети между датчиком инклинометра и персональной ЭВМ (рис. 9).





Рис. 9. Места установки приборного комплекса цифрового инклинометра второго экспериментального исследования

Исследования проводились в условиях производственной эксплуатации при выполнении грузоперевозок, как по дорогам с усовершенствованным покрытием, так и по дорогам с грунтовым покрытием и непосредственно по местам уборки урожая. Полученные данные фиксировались и кодировались с целью проведения сличения опытных результатов.

Результаты исследований. Фрагмент матрицы планирования и результаты экспериментов, проведённых при помощи инклинометра BWT901CL для одной из установочных точек приводится на рис. 10.

Record Time:	ax :	ay :	az :	wx :	wy :	wz :	AngleX :	AngleY :	AngleZ :	hx :	hy :	hz :
2021-09-15 12:37:24	-0,072	0,133	0,883	-4,333	0,183	0,000	-5,08	8,39	141,39	130	-131	-724
2021-09-15 12:37:24	0,073	0,010	1,058	0,549	-1,404	-0,122	-4,63	8,51	141,71	136	-131	-718
2021-09-15 12:37:25	-0,525	0,409	0,820	-1,526	0,305	0,244	-4,76	8,33	141,10	130	-133	-719
2021-09-15 12:37:25	-0,309	-0,493	0,755	-1,465	-0,854	0,732	-4,89	8,37	141,90	130	-134	-718
2021-09-15 12:37:26	0,018	0,160	1,085	-0,488	0,122	-0,610	-5,27	7,84	141,27	132	-135	-719
2021-09-15 12:37:26	-0,174	0,111	1,285	-3,540	-1,526	0,610	-4,88	7,61	140,47	130	-139	-721
2021-09-15 12:37:27	0,165	0,037	0,792	1,221	0,671	-0,427	-4,74	8,22	141,36	131	-136	-719
2021-09-15 12:37:27	-0,034	-0,169	0,950	1,221	-1,282	0,061	-4,51	8,36	141,75	130	-137	-719
2021-09-15 12:37:28	0,012	0,045	1,065	1,587	0,244	-0,671	-4,69	8,28	141,16	136	-137	-719
2021-09-15 12:37:28	0,060	0,069	1,154	2,319	-0,977	-0,244	-4,78	7,87	140,39	133	-131	-725
2021-09-15 12:37:29	0,075	0,054	1,085	1,282	0,427	-0,427	-4,62	7,29	138,78	132	-137	-722
2021-09-15 12:37:29	0,210	-0,183	1,048	1,587	1,648	-1,099	-4,67	6,67	137,55	130	-130	-723
2021-09-15 12:37:30	0,518	-0,126	1,233	0,671	-0,305	-0,732	-4,65	6,68	136,05	133	-132	-722
2021-09-15 12:37:30	0,212	0,080	0,906	2,563	3,235	-0,061	-4,31	6,51	136,43	133	-137	-720
2021-09-15 12:37:31	0,227	0,060	1,052	-2,502	2,197	-0,488	-4,25	6,58	135,62	129	-132	-726
2021-09-15 12:37:31	0,067	0,092	1,248	1,160	0,244	-0,977	-4,33	6,39	134,19	133	-135	-725
2021-09-15 12:37:32	0,105	-0,218	0,971	1,465	1,343	1,709	-4,40	6,98	135,25	134	-135	-723
2021-09-15 12:37:32	-0,317	-0,038	0,548	-1,648	1,221	1,221	-4,30	6,64	136,05	132	-129	-722
2021-09-15 12:37:33	-0,084	0,012	0,722	-0,122	-0,610	0,244	-4,21	7,28	136,47	133	-127	-716
2021-09-15 12:37:33	-0,064	0,087	1,066	-1,282	-1,282	1,465	-3,98	6,49	134,88	132	-130	-720
2021-09-15 12:37:34	-1,240	0,190	0,662	-1,221	-1,099	0,366	-4,29	6,82	135,55	132	-132	-719
2021-09-15 12:37:34	-0,173	-0,162	1,126	0,183	-0,122	1,343	-4,99	6,91	136,21	131	-132	-722
2021-09-15 12:37:35	0,398	0,105	0,977	-3,174	0,610	1,343	-5,26	6,83	136,16	136	-134	-720
2021-09-15 12:37:35	-0,396	-0,271	0,723	-1,221	0,244	2,197	-5,15	6,36	136,41	131	-127	-722
2021-09-15 12:37:36	-0,127	-0,022	1,198	-0,122	0,732	0,793	-5,09	6,72	137,31	135	-131	-717
2021-09-15 12:37:36	-0,064	-0,025	1,270	2,869	0,793	-0,549	-5,43	6,87	137,65	132	-130	-716
2021-09-15 12:37:37	-0,116	0,049	1,197	-0,854	1,099	1,221	-4,95	7,03	137,93	126	-128	-720

Рис. 10. Фрагмент матрицы кодирования и результаты экспериментов, проведённых при помощи инклинометра, для одной из установочных точек

В результате обработки данных первого экспериментального исследования получены результаты, представленные на рис. 11 в виде графических зависимостей. Для оси X кватерниона – отклонение согласно прямолинейного вектора движения МТА.

Данные графика позволяют сделать вывод о том, что колебательные отклонения по оси X экспериментального МТА с бороной БДТ-3 ниже в сравнении с серийным трактором. Таким образом подтверждена работоспособность прибора для замера параметров работы МТА.



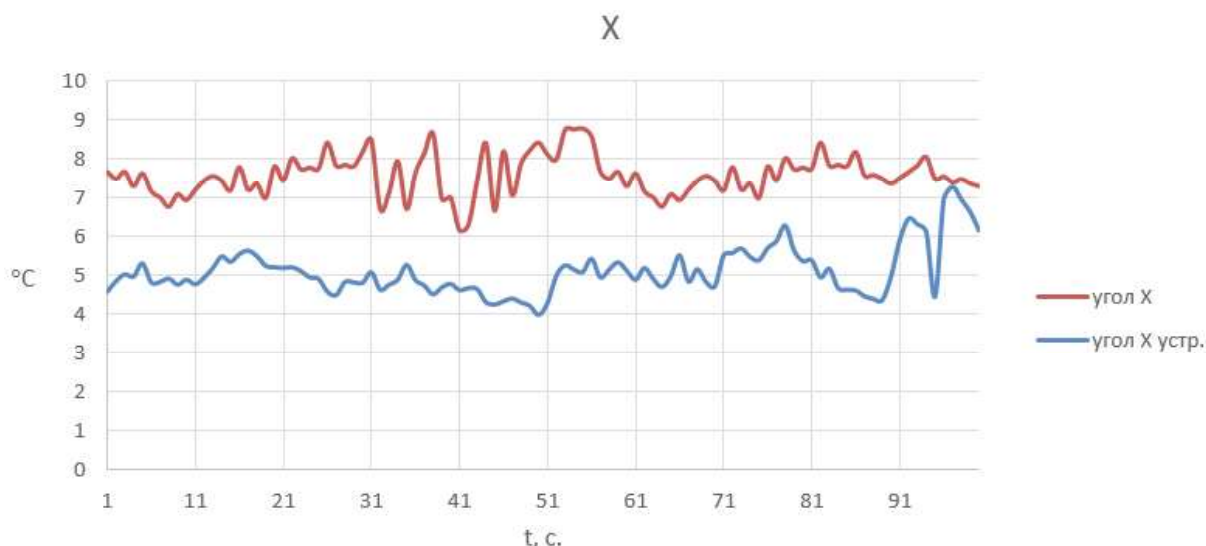


Рис. 11. График отклонения МТА по оси X кватерниона первого эксперимента (зависимость синего цвета - отклонения экспериментального трактора, зависимость красного цвета - отклонения серийного трактора)

После обработки данных второго экспериментального исследования получены следующие результаты, представленные в виде графических зависимостей на рис. 12. Для оси X кватерниона – отклонение согласно прямолинейного вектора движения МТА.

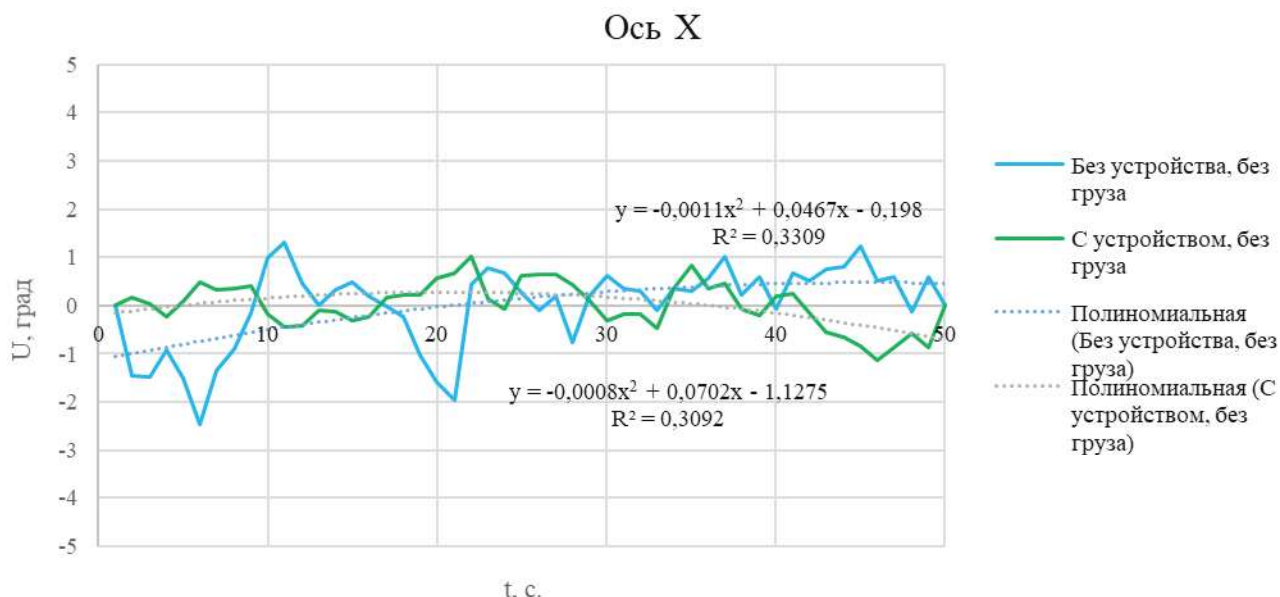


Рис. 12. График отклонения МТА по оси X кватерниона второго эксперимента

Анализируя графики, полученные в результате обработки данных экспериментальных исследований, отчетливо видно, что в процессе работы МТА происходит стабилизация движения агрегата, уменьшения его рыскания и осевого отклонения относительно вектора прямолинейной оси движения, такой результат мы видим в случае использования обоих экспериментальных МТА.

Кроме того отмечено, что существует принципиальная возможность внедрения инклинометра в прототипирование на базе 3Д-моделирования, за счёт переноса данных о реальных нагрузках, действующих на МТА или ТТА в движении или при сопротивлении отдельных элементов или систем внешним нагрузкам, на виртуальную 3Д-модель.

Заключение. Использование предложенного приборного комплекса, при его технологичности и конструкционной простоте, надёжности, низкой стоимости, невысокой трудоёмкости и качестве измерительных операций, проводимых в ходе производственного использования проверяемых объектов, обеспечивает высокую точность измерений, автоматическую фиксацию экспериментальных параметров, их хранение и последующее сли-



чение с эталонными показателями, быстрое получение результатов, что приведёт к экономии энергозатрат, расширению функциональности применения современных цифровых средств фиксации кватернионных показателей инклинометра для проведения безразборных испытаний, диагностики и оперативного контроля состояния сложных объектов и средств механизации, и увеличит экономический эффект от его применения в сельском хозяйстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2. Ус С.С., Кузнецов Е.Е. Применение цифровой инклинометрии при технической диагностике опор двигателя // Актуальные вопросы развития аграрного сектора экономики Байкальского региона: материалы Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., посвящ. Дню Российской науки, Улан-Удэ, 2021. С. 117–120.
2. Ус С.С., Щитков А.Н. Дисперсионно-статистический анализ опорных реакций экспериментального транспортного агрегата // Молодёжь XXI века: шаг в будущее: материалы XXI регион. науч.-практ. конф. Благовещенск, 2020. С. 170–171.
3. Ус С.С., Щитков А.Н. Применение прикладного программирования при решении задач экономико-математического обоснования и моделирования технических средств и процессов технологического обеспечения сельскохозяйственного производства // Молодёжь XXI века: шаг в будущее: материалы XXI регион. науч.-практ. конф. Благовещенск, 2020. С. 178–179.
4. Ус С.С., Черноус М.В. Применение цифровой инклинометрии для диагностики системы зажигания двигателя // Молодёжь XXI века: шаг в будущее: материалы XXII регион. науч.-практ. конф. Благовещенск, 2021. С. 827–828.
5. Ус С.С., Черноус М.В. Высокоточная цифровая инклинометрическая диагностика ходовой части легкового автомобиля // Молодёжь XXI века: шаг в будущее: материалы XXII регион. науч.-практ. конф. Благовещенск, 2021. С. 827–828.

REFERENCES

1. Us S.S., E.E. Kuznetsov The use of digital inclinometry in the technical diagnostics of engine mounts. *Actual issues of development of the agricultural sector of the economy of the Baikal region*. Ulan-Ude, 2021: 117–120.
2. Us S.S., Shchitkov A.N. Dispersion-statistical analysis of the support reactions of an experimental transport unit. *Youth of the XXI century: a step into the future*. Blagoveshchensk, 2020: 170–171.
3. Us S.S., Shchitkov A.N. The use of applied programming in solving problems of economic and mathematical justification and modeling of technical means and processes of technological support for agricultural production. *Youth of the XXI century: a step into the future*. Blagoveshchensk, 2020: 178–179.
4. Us S.S., Chernous M.V. The use of digital inclinometry for diagnosing the engine ignition system. *Youth of the XXI century: a step into the future*. Blagoveshchensk, 2021: 827–828.
5. Us S.S., Chernous M.V. High-precision digital inclinometric diagnostics of the undercarriage of a passenger car. *Youth of the XXI century: a step into the future*. Blagoveshchensk, 2021: 827–828.

*Статья поступила в редакцию 15.12.2022; одобрена после рецензирования 20.01.2023; принята к публикации 29.01.2023.
The article was submitted 15.12.2022; approved after reviewing 20.01.2023; accepted for publication 29.01.2023.*