УДК 6621.865:519.683.2

Н.В. Бабоченко, В.И. Токарев

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ СТРЕЛОВЫХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ СРЕДСТВ НА КОЛЕСНОМ ХОДУ

Бабоченко Наталья Владимировна, кандидат технических наук, окончила Волгоградскую государственную сельскохозяйственную академию, доцент кафедры «Механика» Волгоградского государственного аграрного университета. Имеет статьи, монографии и изобретения в области механизации и роботизации грузоподъемных средств. [e-mail: nat-krivelskaya@mail.ru].

Токарев Владимир Иванович, кандидат технических наук, окончил ВГСХА, заместитель директора по производству и общим вопросам Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук. Имеет статьи, монографии и изобретения в области автоматизации и роботизации грузоподъемных средств. [e-mail: tokarevvi1970@yandex.ru].

Аннотация

В статье рассматривается бортовая система информации, которая способна обеспечить безопасность и стабильность работы стрелового грузоподъемного средства на колесном ходу. Предложенная нами конфигурация панели информации способна наглядно представить все изменения угла наклона корпуса стрелового грузоподъемного средства в процессе выполнения производственно необходимых операций и вовремя предупредить предаварийные ситуации. Обработка результатов зарегистрированных характеристик показателей рабочего процесса – довольно кропотливый процесс, и с целью уменьшения временных затрат предлагается рассмотреть возможность использования программного обеспечения. Разработанный нами алгоритм последовательного сбора информации, блок-схема которого представлена в статье, с компонентов измерительной системы позволяет получить логическую цепочку поступающих информационных сведений для дальнейшей обработки. Представленные математические выражения способны рассчитать временные интервалы сбора информации и продолжительность регистрации экспериментальных данных для дальнейших исследований. Предложенный состав компонентов бортовой системы информации включает измерители угла наклона, измерители усилий, панель информации и устройство, поддерживающее напряжение. Данный состав компонентов бортовой системы информации не громоздкий и легко размещается на корпусе стрелового грузоподъемного средства. Представленные в статье рисунки и таблицы говорят об объеме проделанной работы по созданию и внедрению в эксплуатацию бортовой системы информации для стреловых грузоподъемных средств. В итоге отметим, что предложенная бортовая система информации способна обеспечить безопасность работы стрелового грузоподъемного средства на колесном ходу и её целесообразно применять на всех стреловых грузоподъемных средствах на колесном ходу, а также и на подъемном оборудовании.

Ключевые слова: стреловые грузоподъемные средства на колесном ходу, система информации, измеритель, математическое выражение, компонент.

doi: 10.35752/1991-2927-2021-3-65-19-25

AUTOMATION OF WHEEL-MOUNTED BOOM LIFTING EQUIPMENT

Natalia Vladimirovna Bobochenko, Candidate of Sciences in Engineering; graduated from Volgograd State Agricultural Academy; Associate Professor of the Department of Mechanics of Volgograd State Agrarian University; an author of articles, monographs, and inventions in the field of mechanization and robotization of lifting equipment. e-mail: nat-krivelskaya@mail.ru.

Vladimir Ivanovich Tokarev, Candidate of Sciences in Engineering; graduated from Volgograd State Agricultural Academy; Deputy Director for Production and General Issues of the Federal Research Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Safeguard Forecasting of the Russian Academy of Sciences; an author of articles, monographs and inventions in the field of automation and robotization of lifting equipment. e-mail: tokarevvi1970@yandex.ru.

Abstract

The article discusses the on-board information system that will ensure a safe and steady operation of a wheel-mounted boom lifting equipment. The proposed configuration of information panel clearly demonstrates all changes in the angle of boom-lift body orientation while performing necessary production operations and can prevent pre-emergency situations in time. The processing of logged performance values is a very complex and labor-intensive process. Therefore, authors propose to consider the possibility of using the software to reduce time required for performance analysis. The article deals with an algorithm presented here in the form of a block diagram for serial data acquisition, which allows processing logic chain data transferred from the measurement components. The presented mathematical expressions allow authors to calculate the time intervals required for data acquisition and the duration of experimental data recording for further analysis. The proposed combination of the measurement components of on-board information system includes tilt angle meters, force meters, an information panel, and a voltage maintenance unit. All that measurement components of the on-board information system are space saver and can be easily placed on the body of the boom lifting equipment. The figures and tables presented in the article indicate efforts at the creation and commissioning of the on-board information system for boom lifting equipment. As a result, it should be noted that the proposed on-board information system ensures the reliability of a wheel-mounted boom lifting equipment and it is also reasonable to use it for almost all wheel-mounted boom lifting machines as well as for hoisting equipment.

Keywords: wheel-mounted boom lifting equipment, information system, measuring instruments, mathematical expression, component.

ВВЕДЕНИЕ

Исследуя вопрос автоматизации процесса управления работой стреловых грузоподъемных средств на колесном шасси, провели обзор литературы [1–11], из которой выяснили, что контроль и оценка эксплуатационной и технологической информации является залогом результативной системы составления транспортных и погрузочно-разгрузочных работ, совершаемых стреловыми грузоподъемными средствами. Так в работе [3] предложена система информации управления техническим обслуживанием и ремонтом строительных машин, опирающаяся на оценку характеристик работы машин и качественное техническое обслуживание. Рассмотренная в работе [3] система информации включает следующие компоненты: техобслуживание, каталог, склад, документооборот, администратор. Однако данная система информации хорошо подходит для крупных дорожно-строительных предприятий. Мы же рассматриваем работу стреловых грузоподъемных средств на колесном ходу, и для них система информации должна быть простой и скомпонованной, способной оценивать загруженность на конкретных операциях, определять производительность различных видов работ и сравнивать с технической производительностью, контролировать техническое обслуживание. Так как при совершении движения стреловые грузоподъемные средства на колесном ходу из-за своей массивности имеют возможность нестабильно работать, при этом возникают механические колебания, то необходимо разработать такую бортовую систему информации, которая могла бы обеспечить безопасность работы стрелового грузоподъемного средства на колесном ходу. Над созданием бортовой системы информации велись работы и ранее [2–6].

Однако мы рассматриваем безопасность работы стреловых грузоподъемных средств на колесном ходу и, исходя из этого, определили, что целью нашего исследования, будет создание бортовой системы информации для обеспечения стабильности и безопасности работы стреловых грузоподъемных средств на колесном ходу. Для достижения поставленной цели разработали программное обеспечение, позволяющее оценивать критерии работы стреловых грузоподъемных средств на колесном ходу.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Базируясь на методах теоретической механики и математической логики, разработали модель бортовой системы информации, состоящую из системы взаимосвязанных компонентов, обеспечивающих безопасность работы мобильного стрелового грузоподъемного средства на колесном ходу.

Конфигурация панели информации позволяет наглядно пронаблюдать все изменения угла наклона корпуса стрелового грузоподъемного средства в процессе выполнения заданной операции и вовремя предупредить предаварийные случаи. Для обработки результатов зарегистрированных характеристик показателей рабочего процесса разработали программное обеспечение с использованием языка программирования *VisualBasicver.6*. Создав алгоритм последовательности сбора информации с компонентов измерительной системы, получили логическую цепочку поступающих информационных сведений для дальнейшей обработки. Для расчета интервала времени сбора информации использовали математические выражения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

О возможности создания бортовой системы информации для грузоподъемных средств говорилось и на конференциях [8].

Предлагаем бортовую систему информации, которую возможно разместить на стреловом грузоподъемном средстве на колесном ходу (рис. 1).

Бортовая система информации способна обеспечить безопасность работы стрелового грузоподъемного средства на колесном ходу. В состав бортовой системы информации входят измерители угла наклона 1 и 2, измерители усилий 3 и 4, панель информации 5 и устройство, поддерживающее напряжение 6. Измерители угла наклона 1 и 2 расположены на корпусе стрелы грузоподъемного средства соответственно в осевой и диаметральной плоскостях, как представлено на рисунке 1.

Рис. 1. Стреловое грузоподъемное средство на колесном ходу со схемой расположения основных компонентов бортовой системы информации

На панели информации, представленной на рисунке 2, можно увидеть угол наклона корпуса стрелового грузоподъемного средства по отношению к вертикали в осевой плоскости – это центральная часть панели

Рис. 2. Конфигурация панели информации

информации, в частности область «А» на рисунке 3. Наклон корпуса стрелового грузоподъемного средства относительно вертикали в диаметральной плоскости представляется областью «Б» панели информации. Случаи повышения нагрузки на опоры и предаварийные случаи, отрывы опоры от поверхности и последующее опрокидывание стрелового грузоподъемного средства отразятся в области панели информации «В». Устойчивое положение стрелового грузоподъемного средства отразится областью «Г», загорится зеленый цвет указателей.

Рассматривая указатели панели информации, отметим, что указатели с цифрой 10 (рис. 3) говорят об отклонении от горизонтального положения, но в пределах допустимых значений, указатели с цифрой 20 – приближение к критическим значениям, служат сигналом к принятию необходимых действий по предотвращению аварийной ситуации.

Продолжая рассматривать работу системы информации, отметим, что в случае горизонтального положения корпуса стрелового грузоподъемного средства как в осевой, так и в диаметральной плоскостях, и корпуса измерителей 1 и 2 находятся в вертикальном положении, на панели информации в этот момент увидим указатели с цифрой 0, что говорит об устойчивом положении стрелового грузоподъемного средства.

Для случая, когда корпус стрелового грузоподъемного средства займет положение 1 (рис. 4), то есть наклон относительно продольной оси назад, корпус измерителя 1 наклонится и подаст сигнал о критическом угле наклона и необходимости принятия срочного решения о недопущении опрокидывания. Для случая, когда корпус стрелового грузоподъемного средства займет положение 2 (рис. 4), то есть имеет место быть небольшой наклон относительно диаметральной оси и наклон корпуса измерителя 2, то начнут светиться указатели (рис. 4). Возможно и свечение указателей, говорящее о недопущении дальнейшего наклона корпуса стрелового грузоподъемного средства. Для случая, когда корпус стрелового грузоподъемного средства займет

Рис. 3. Области панели информации

№	Положение корпуса грузоподъемного средства	Указатели на информационной панели
1	Горизонтальное положение как в продольной, так и в поперечной плоскостях	
2	Наклон относительно продольной оси y (Положение 1)	
3	Наклон относительно поперечной x	
4	Наклон относительно поперечной (x) и продольной (y) осей (Положение 1 + Положение 2)	

Рис. 4. Варианты изменения изображения указателей на информационной панели

положение с одновременным наклоном как в осевой, так и в диаметральной плоскостях, сочетания положения 1 и положения 2 (п. 4 таблицы), то в этом случае на панели информации загорятся указатели, указывающие на дальнейшее продолжение работы или изменение положения агрегата.

Работа стрелового грузоподъемного средства приводит к изменению давления на опоры. Пределы изменения давления на опоры имеют широкий диапазон, связанный с положением стрелового грузоподъемного средства, изменением длины рабочей части стрелы, положением стрелы относительно продольной оси и массы перемещаемых грузов.

Чтобы обработать результаты зарегистрированных полученных показателей, было разработано программное обеспечение на языке *VisualBasic ver.6*. Указанное

программное обеспечение дает возможность по полученным сведениям с панели информации увидеть на компьютере путем запуска программы время «холостой» работы действующего снаряжения, время холостых переездов стрелового грузоподъемного средства, показатели использования гидропривода, показатели полезного использования стрелового грузоподъемного средства, показатели простоя стрелового грузоподъемного средства, показатели использования стрелового грузоподъемного средства по грузоподъемности, показатели использования по производительности, эксплуатационную и сменную производительности и ряд других показателей.

Применив программу для определения показателей эффективности использования погрузчика, выявили необходимые расчетные значения для стрелового грузо-

Эффективность использования погрузчика

С прибора регистрации

1123	Время работы двигателя, с
87	Время простоя при включенном двигателе, с
822	Время работы гидропривода, с
235	Время движения агрегата, с
0	Время движения с грузом, с
730	Время нагруженного грузом рабочего оборудования, с
4	Средняя скорость при движении, м/с
54	Пройденный погрузочным агрегатом путь, м
185	средняя масса груза за цикл операции, кг

Исходные данные

Длительность смены, час	8.2	Грузоподъемность погрузчика, т	0.6
-------------------------	-----	--------------------------------	-----

Расчетные параметры

92	Время холостого позиционирования рабочего оборудования, с
235	Время холостых переездов, с
0.73196	Коэффициент использования гидропривода
0.88807	Коэффициент полезного использования погрузочного агрегата на погрузочно-разгрузочных работах
7.74710	Коэффициент простоя агрегата
0.30833	Коэффициент использования погрузчика по грузоподъемности
1.92341	Теоретическая производительность, т/час
0.52188	Техническая производительность, т/час
2.56768	Эксплуатационная сменная производительность, т/смену
0.74908	коэффициент использования по производительности

Загрузить данные

Расчитать

Выход

Рис. 5. Скриншот работы программы

подъемного средства. Скриншот работы представлен вниманию на рисунке 5.

Изменение состояния указателей происходит в процессе сбора информации с компонентов при обработке прерываний, источником которых является переполнение таймеров $TMR0$ и $TMR1$ микронаблюдателей. Частота опроса составляет 50 Гц.

Для расчета интервала времени сбора информации использовали следующее математическое выражение:

$$\Delta t \leq \frac{1}{2\pi f_{\max}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2} \approx 0,08 \text{ с}, \quad (1)$$

где $f_{\max} = 2$ Гц – предполагаемая максимальная частота колебаний анализируемого сигнала.

Продолжительность регистрации экспериментальных данных определили из следующего выражения:

$$T_0 \geq \frac{10}{f_{\min f}} = \frac{10}{1} = 10 \text{ с}, \quad (2)$$

где $f_{\min} = 1$ Гц – предполагаемая минимальная частота колебаний анализируемого сигнала.

Скорость заполнения экранной формы примем $V_{\text{пр}} = 20$ мм/с, тогда получаем, что минимальная длина экрана для изображения происходящих процессов будет равна:

$$L = V_{\text{пр}} \cdot T_0 = 20 \cdot 10 = 200 \text{ мм}. \quad (3)$$

Алгоритм последовательности сбора информации с компонентов измерительной системы представлен на рисунке 6. Алгоритм последовательности сбора информации с компонентов измерительной системы построен на процедурах прерываний и реализован на трансляторе программы из текста на языке ассемблера в программу на машинном языке. Получив сигнал прерывания, процессор приостанавливает выполнение ос-

новной программы и выполняет процедуру обработки сигнала от измерителей сигнала генератора, контактов гидрораспределителя, измерителя данных движения, измерителя грузоподъемности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Считаем, что цель нашего исследования достигнута созданием бортовой системы информации с цветовыми указателями, которая обеспечит стабильность работы стреловых грузоподъемных средств на колесном ходу. Предложенная бортовая система информации способна обеспечить безопасность работы стрелового грузоподъемного средства, на колесном ходу. Рекомендуем применение рассмотренной системы информации практически на всех стреловых грузоподъемных средствах на колесном ходу а также на подъемном оборудовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабоченко Н.В. Обоснование применения подъемного оборудования для перемещения грузов // Парадигма аграрного образования в условиях цифровой экономики : матер. Международной науч.-практ. конф. ВОЛГАУ. Волгоград. 2019. С. 275–280.
2. Герасун В.М., Несмиянов И.А., Фомин С.Д. Исследование устойчивости транспортного агрегата с манипулятором // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 1 (29). С. 204–211.
3. Калеватых И.А., Лесков И.А., Калеватых, А.Г. Исследование устойчивости системы управления двурукного манипуляционного робота // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2013. № 1. С. 84–95.
4. Петухов И.В. К вопросу обеспечения надежности эргатических систем управления // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 1. С. 25–30.

5. Программно-аппаратный комплекс мониторинга эксплуатационно-технологических параметров погрузочного агрегата / И.А. Несмиянов, А.П. Евдокимов, В.И. Токарев, Е.Н. Захаров // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 4 (36). С. 227–231.

6. Несмиянов И.А., Токарев В.И. Направления развития роботизированных погрузочных манипуляторов для агропромышленного комплекса // Современная техника и технологии. 2012. № 11. URL: <http://technology.snauka.ru/2012/11/1382> (дата обращения: 09.02.2021).

7. Пат. 140869 U1 РФ, МПК G01C 9/00, B66F 9/06. Бортовая информационная система контроля положения погрузочного агрегата / Несмиянов И.А., Токарев В.И., Захаров Е.Н. Заявка 2014102338/28 ; заявл. 24.01.2014 ; опубл. 20.05.2014. Бюл. 14.

8. Токарев В.И., Несмиянов И.А. Бортовая информационная система погрузочного агрегата // Пути реализации Федеральной научно-технологической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы : матер. междунар. науч.-практ. конф. Курган : Изд-во Курганской ГСХА. 2018. С. 1094–1098.

9. Driessen B.J.F., van Woerden J.A. Enhancing the usability of the MANUS manipulator by using visual servoing. URL : <http://citeseerx.ist.psu.edu/> (дата обращения: 09.02.2021).

10. Filaretov V.F., Zuev A.V. Adaptive Force/Position Control of Robot Manipulators // Proc. of the 2008 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, July 2–5, 2008. Xi'an, China. pp. 96–101.

11. Dynamic Creation of the Optimum Program Motion of a Manipulator-Tripod / V.V. Zhoga, V.M. Gerasun, I.A. Nesmiyanov, N.S. Vorob'eva, V.V. Dyashkin-Titov // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2015. Vol. 44, no. 2. pp. 181–186.

REFERENCES

1. Babochenko N.V. Obosnovanie primeneniia podiomnogo oborudovaniia dlia peremeshcheniia грузов [Arguments for the Use of Hoisting Facilities for Cargo Transfer]. *Paradigma agrarnogo obrazovaniia v usloviakh tsifrovoy ekonomiki. Mater. Mezhdunarodnoi nauch.-prakt. konf. VOLGAU* [Proc. of Int. Sci. Workshop VOLGAU on the Agricultural Education Paradigm under Conditions of Digital Economy]. Volgograd, 2019, pp. 275–280.

2. Gerasun V.M., Nesmiianov I.A., Fomin S.D. Issledovanie ustoichivosti transportnogo agregata s manipulatorom [Investigation of the Stability of a Transport Unit with a Manipulator]. *Izvestiia Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie* [Bulletin of the Nizhnevolzhskii Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education], 2013, no. 1 (29), pp. 204–211.

3. Kalevatykh I.A., Leskov I.A., Kalevatykh A.G. Issledovanie ustoichivosti sistemy upravleniia dvurukogo manipuliatsionnogo robota [Stability Analysis of a Control System for a Two-Handed Manipulation Robot]. *Vestnik*

MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Instrument Engineering Series], 2013, no. 1, pp. 84–95.

4. Petukhov I.V. K voprosu obespecheniia nadezhnosti ergaticheskikh sistem upravleniia [To the Question of Maintenance of Reliability Human-Machine System]. *Mekhatronika, avtomatizatsiia, upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], 2011, no. 1, pp. 25–30.

5. Nesmiianov I.A., Evdokimov A.P., Tokarev V.I., Zakharov E.N. Programmno-apparatnyi kompleks monitoringa ekspluatatsionno-tehnologicheskikh parametrov pogruzochnogo agregata [Hardware and Software Complex for Monitoring the Operational and Technological Parameters of a Submersible Unit]. *Izvestiia Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie* [Bulletin of the Nizhnevolzhskii Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education], 2014, no. 4 (36), pp. 227–231.

6. Nesmiianov I.A., Tokarev V.I. Napravleniia razvitiia robotizirovannykh pogruzochnykh manipulatorov dlia agropromyshlennogo kompleksa [Directions of the Development of Robotic Loading Manipulators for the Agro-Industrial Complex]. *Sovremennaiia tekhnika i tekhnologii* [Modern Technics and Technologies], 2012, no. 11. Available at: <http://technology.snauka.ru/2012/11/1382> (accessed 09.02.2021).

7. Russian Federation Patent. 140869 U1 RF, Int. Cl.: G01C 9/00, B66F 9/06. *Bortovaia informatsionnaia sistema kontrolya polozheniia pogruzochnogo agregata* [On-Board Information System for Positional Checking of a Loading Machine]. Inventors: I.A. Nesmiianov, V.I. Tokarev, E.N. Zakharov. Application: 2014102338/28. Date of filing: 24 January, 2014. Date of publication: 20 Mai, 2014. Bull. No. 14.

8. Tokarev V.I., Nesmiianov I.A. Bortovaia informatsionnaia sistema pogruzochnogo agregata [Onboard Information System of a Submersible Unit]. *Puti realizatsii Federalnoi nauchno-tehnologicheskoi programmy razvitiia selskogo khoziaistva na 2017–2025 gody. Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Proc. of the Int. Research-to-Practical Conf. on Ways of Implementation of the Federal Research and Technological Program for the Development of an Agricultural Sector for 2017–2025]. Kurgan, Kurgan State Agricultural Academy Publ., 2018, pp. 1094–1098.

9. Driessen B.J.F., van Woerden J.A. *Enhancing the Usability of the MANUS Manipulator by Using Visual Servoing*. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/> (accessed 09.02.2021).

10. Filaretov V.F., Zuev A.V. Adaptive Force/Position Control of Robot Manipulators. *Proc. of the 2008 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*. Xi'an, China, July 2-5, 2008, pp. 96–101.

11. Zhoga V.V., Gerasun V.M., Nesmiianov I.A., N.S. Vorobeva, V.V. Diashkin-Titov Dynamic Creation of the Optimum Program Motion of a Manipulator-Tripod. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2015, vol. 44, no. 2, pp. 181–186.