

УДК 621.314.3

DOI:10.25729/ESI.2025.37.1.015

Автоматизированное программное управление механизмами перемещения подъемного крана

Дунаев Михаил Павлович, Саушкин Алексей Анатольевич

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Россия, Иркутск, *mdunaev10@mail.ru*

Аннотация. В статье проведен анализ конструкции электрического консольного крана с магнитным захватом. Разработаны циклограммы работы механизма перемещения крана, алгоритм работы программируемого логического контроллера (ПЛК) системы управления механизмом перемещения крана, программа работы ПЛК системы управления механизмом перемещения крана. Предложена техническая реализация способа управления механизмом перемещения подъемного крана. Определена экспериментальная осциллограмма угловой скорости двигателя механизма горизонтального перемещения консольного крана с магнитным захватом, подтверждающая работоспособность разработанных алгоритмов и программ.

Ключевые слова: подъемный кран, преобразователь частоты, электропривод, управление.

Цитирование: Дунаев М.П. Автоматизированное программное управление механизмом перемещения подъемного крана / М.П. Дунаев, А.А. Саушкин // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2025. – № 1(37). – С. 153-160. – DOI:10.25729/ESI.2025.37.1.015.

Введение. Грузоподъемный кран – машина, предназначенная для подъема и перемещения груза, подвешенного с помощью грузового крюка или другого грузозахватного органа [1]. Рабочий цикл крана состоит из трёх этапов: 1) захват груза; 2) рабочий ход (перемещение груза, разгрузка); 3) холостой ход (возврат грузоподъемного механизма в исходное положение).

Рабочий и холостой ход на диаграммах движения имеют также три характерных участка: разгон, установившееся движение и торможение. Очень важное значение имеют участки разгона и торможения, так как именно в эти моменты и возникают динамические нагрузки [2-6].

Классификация подъемных кранов может быть проведена по следующим показателям.

1. По конструкции: стреловые, мостовые, козловые, консольные.
2. По возможности перемещения: стационарные, передвижные.
3. По типу привода: ручные, электрические, гидравлические, пневматические, с двигателем внутреннего сгорания.
4. По типу грузозахватного органа: крюковые, грейферные, магнитные, клещевые, контейнерные.

В настоящее время весьма актуальной становится автоматизация работы подъемно-транспортного оборудования, что позволяет не только сократить время ручного труда машиниста крана, тем самым облегчив условия его труда, но и улучшить производительность процесса погрузочно-разгрузочных работ.

Целью работы является разработка системы автоматизированного управления механизмом перемещения подъемного крана.

Для реализации данной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ конструкции объекта управления;
- разработать циклограммы работы механизмов перемещения;
- разработать алгоритм работы ПЛК системы управления;
- разработать программу работы ПЛК системы управления;
- предложить техническую реализацию системы управления;

– определить экспериментальные циклограммы работы.

Анализ объекта управления. На рис. 1 представлен внешний вид электрического консольного крана с магнитным захватом. Основные узлы крана:

- А – рама для установки манипулятора,
- В – механизм горизонтального перемещения (вдоль оси X),
- С – механизм горизонтального перемещения (вдоль оси Y),
- Д – механизм вертикального перемещения (вдоль оси Z),
- Е – механизма захвата (электромагнит).

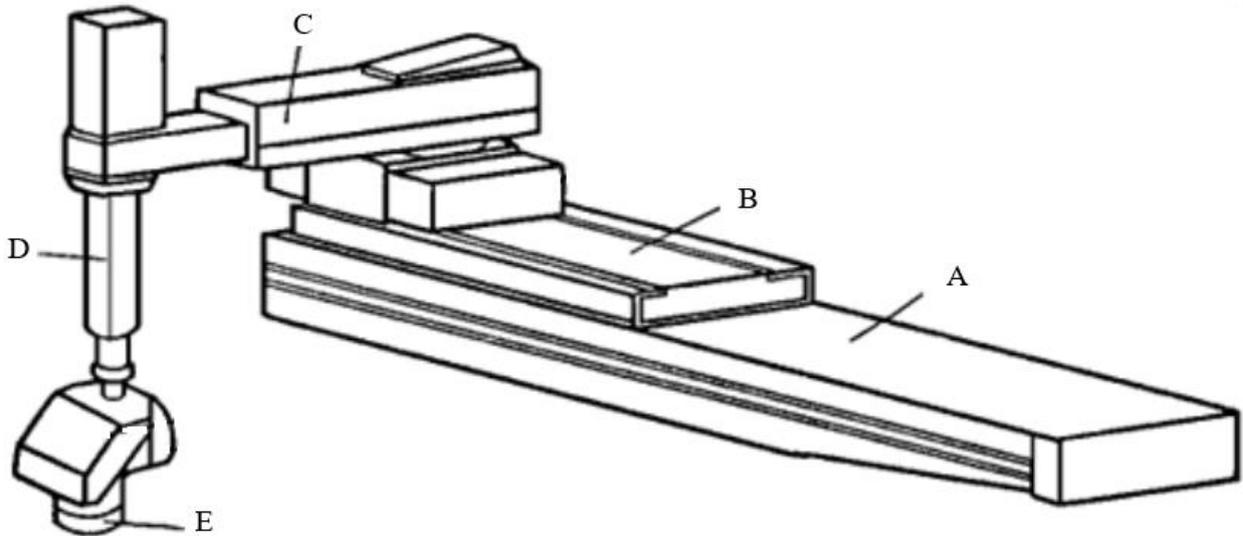


Рис. 1. Внешний вид электрического консольного крана с магнитным захватом

На рис. 2 представлена функциональная система управления электрического консольного крана с магнитным захватом, отражающая техническую реализацию системы управления механизмами перемещения крана.

Общее управление движением и координация отдельных частей крана производится посредством программируемого логического контроллера (ПЛК). Команды управления, идущие от ПЛК [7-15] по общей шине управления, поступают на все локальные системы управления механизмами перемещения крана. Механизмы В и С приводятся в движение двумя двигателями переменного тока серии 4А [16] при управлении от двух преобразователей частоты [17] Danfoss FC302 (ПЧ-1 и ПЧ-2). Механизм Д приводится в движение двигателем постоянного тока типа ДПМ-35-Н1-ОД при управлении от преобразователя В1. Механизм Е приводится в действие подачей напряжения в катушку электромагнита от преобразователя В2.

Циклограммы работы механизмов перемещения подъемного крана. На рис. 3 представлены циклограммы работы механизмов перемещения электромеханического крана-манипулятора.

Для сокращения общего времени перемещения груза и увеличения производительности работы крана целесообразно проектировать циклограммы работы механизмов перемещения таким образом, чтобы некоторые их участки шли одновременно, т.е. с наложением по времени. Реализация именно такого подхода проиллюстрирована на рис. 3, где обратный ход механизмов В и С максимально совмещен по времени.

Алгоритмы работы системы управления подъемного крана. Функция общей системы управления краном была возложена на ПЛК (см. рис. 2). Для увеличения функциональных возможностей данный ПЛК был реализован в виде двух частей (ПЛК-1 и ПЛК-2), штатно имеющихся в системах управления ПЧ-1 и ПЧ-2.



Рис. 2. Функциональная схема системы управления консольного крана с магнитным захватом

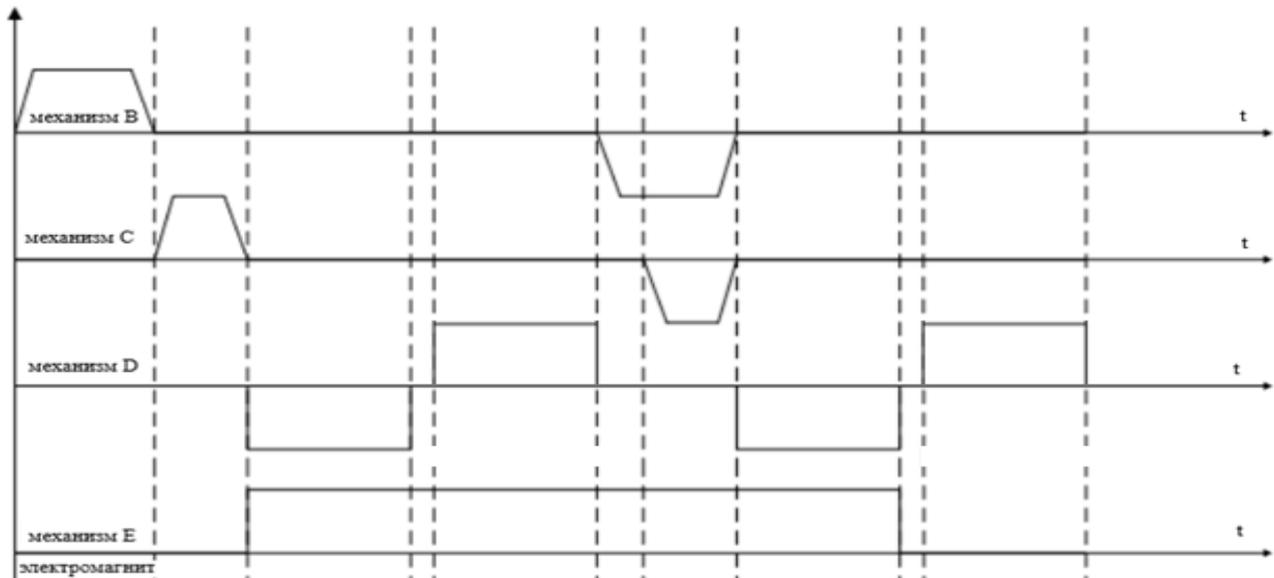


Рис. 3. Циклограммы работы перемещения консольного крана с магнитным захватом

На рис. 4 представлены алгоритмы работы системы управления консольного крана с магнитным захватом. Графическое изображение алгоритмов представлено в оригинальном виде, сгенерированном служебной программой Danfoss MCT10 [18]. С помощью программы Danfoss MCT10 осуществлялись удаленный доступ к параметрам систем управления ПЧ, а также их программирование и вывод информации, в том числе в графическом виде.

Программы работы ПЛК системы управления. На рис. 5 представлены программы работы системы управления консольного крана с магнитным захватом. Эти программы соответствуют алгоритмам работы системы управления консольного крана с магнитным захватом, показанным на рис. 4. Табличное изображение программы работы системы управления представлено в оригинальном виде, также сгенерированном служебной программой Danfoss MCT10.

Столбец ID включает идентификатор ячейки памяти, в которой хранится команда; столбец Name иллюстрирует текущее состояние ПЛК (SL Controller Event или SL Controller

Action); столбец Setup 1 указывает состоявшееся событие (SL Controller Event) или действие (SL Controller Action), производимое ПЛК.

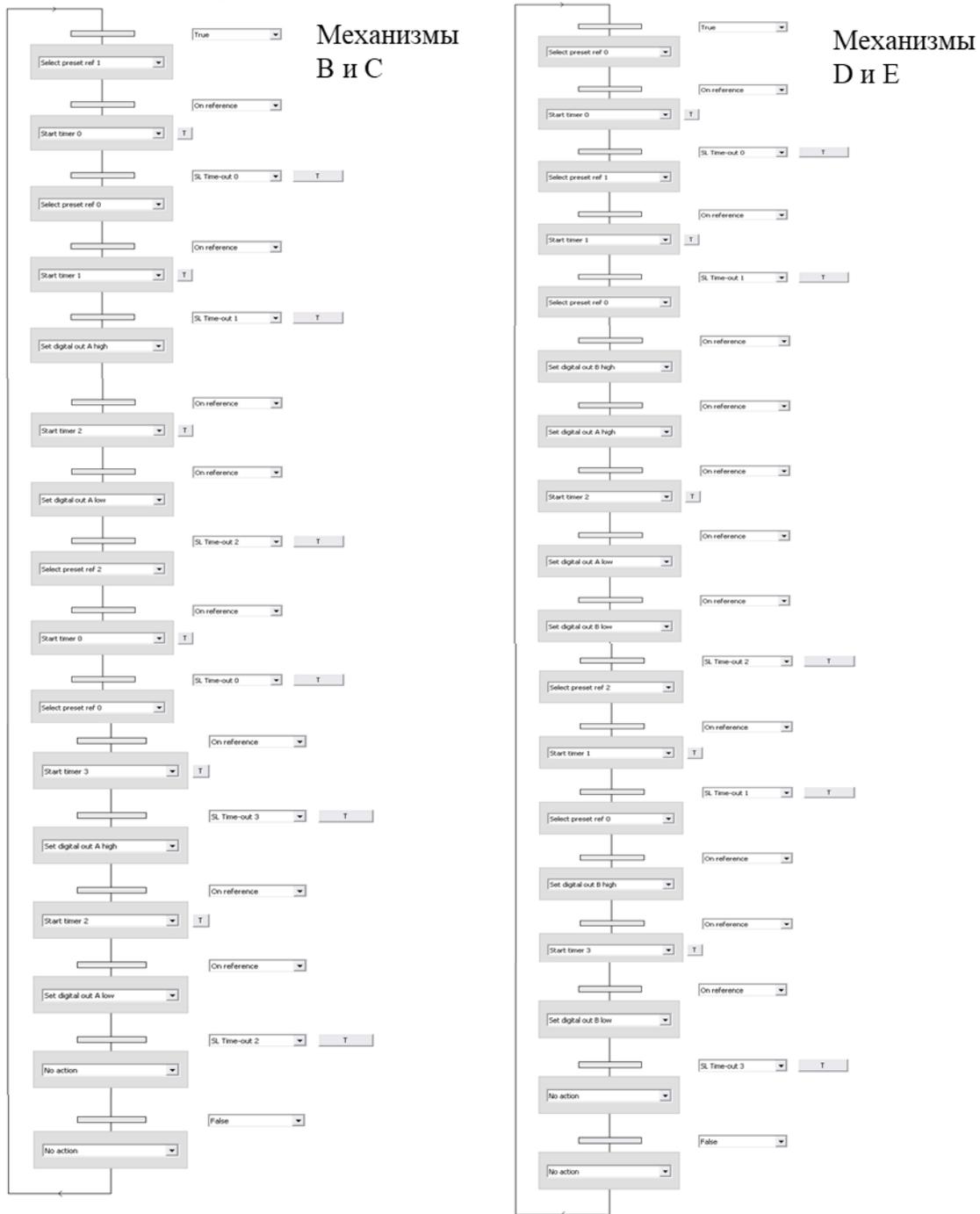


Рис. 4. Алгоритмы работы системы управления консольного крана с магнитным захватом

Экспериментальная циклограмма работы механизма перемещения подъемного крана. Экспериментальная проверка работоспособности и согласованности функционирования разработанных алгоритмов и программ проводилась на лабораторном макете консольного крана с магнитным захватом, система управления которого была построена согласно функциональной схеме рис. 2, а программа составлена в соответствии с рис. 5. В ходе экспериментальных исследований была полностью подтверждена работоспособность и согласованность работы механизмов перемещения крана, правильность функционирования разработанных алгоритмов и программ.

Программа ПЛК-1

ID	Name	Setup 1
1351.0	SL Controller Event	True
1351.1	SL Controller Event	On reference
1351.2	SL Controller Event	SL Time-out 0
1351.3	SL Controller Event	On reference
1351.4	SL Controller Event	SL Time-out 1
1351.5	SL Controller Event	On reference
1351.6	SL Controller Event	On reference
1351.7	SL Controller Event	SL Time-out 2
1351.8	SL Controller Event	On reference
1351.9	SL Controller Event	SL Time-out 0
1351.10	SL Controller Event	On reference
1351.11	SL Controller Event	SL Time-out 3
1351.12	SL Controller Event	On reference
1351.13	SL Controller Event	On reference
1351.14	SL Controller Event	SL Time-out 2
1351.15	SL Controller Event	False
1351.16	SL Controller Event	False
1351.17	SL Controller Event	False
1351.18	SL Controller Event	False
1351.19	SL Controller Event	False
1352.0	SL Controller Action	Select preset ref 1
1352.1	SL Controller Action	Start timer 0
1352.2	SL Controller Action	Select preset ref 0
1352.3	SL Controller Action	Start timer 1
1352.4	SL Controller Action	Set digital out A high
1352.5	SL Controller Action	Start timer 2
1352.6	SL Controller Action	Set digital out A low
1352.7	SL Controller Action	Select preset ref 2
1352.8	SL Controller Action	Start timer 0
1352.9	SL Controller Action	Select preset ref 0
1352.10	SL Controller Action	Start timer 3
1352.11	SL Controller Action	Set digital out A high
1352.12	SL Controller Action	Start timer 2
1352.13	SL Controller Action	Set digital out A low
1352.14	SL Controller Action	No action
1352.15	SL Controller Action	No action
1352.16	SL Controller Action	DISABLED
1352.17	SL Controller Action	No action
1352.18	SL Controller Action	No action
1352.19	SL Controller Action	No action

Программа ПЛК-2

ID	Name	Setup 1
1351.0	SL Controller Event	True
1351.1	SL Controller Event	On reference
1351.2	SL Controller Event	SL Time-out 0
1351.3	SL Controller Event	On reference
1351.4	SL Controller Event	SL Time-out 1
1351.5	SL Controller Event	On reference
1351.6	SL Controller Event	On reference
1351.7	SL Controller Event	On reference
1351.8	SL Controller Event	On reference
1351.9	SL Controller Event	On reference
1351.10	SL Controller Event	SL Time-out 2
1351.11	SL Controller Event	On reference
1351.12	SL Controller Event	SL Time-out 1
1351.13	SL Controller Event	On reference
1351.14	SL Controller Event	On reference
1351.15	SL Controller Event	On reference
1351.16	SL Controller Event	SL Time-out 3
1351.17	SL Controller Event	False
1351.18	SL Controller Event	False
1351.19	SL Controller Event	False
1352.0	SL Controller Action	Select preset ref 0
1352.1	SL Controller Action	Start timer 0
1352.2	SL Controller Action	Select preset ref 1
1352.3	SL Controller Action	Start timer 1
1352.4	SL Controller Action	Select preset ref 0
1352.5	SL Controller Action	Set digital out B high
1352.6	SL Controller Action	Set digital out A high
1352.7	SL Controller Action	Start timer 2
1352.8	SL Controller Action	Set digital out A low
1352.9	SL Controller Action	Set digital out B low
1352.10	SL Controller Action	Select preset ref 2
1352.11	SL Controller Action	Start timer 1
1352.12	SL Controller Action	Select preset ref 0
1352.13	SL Controller Action	Set digital out B high
1352.14	SL Controller Action	Start timer 3
1352.15	SL Controller Action	Set digital out B low
1352.16	SL Controller Action	No action
1352.17	SL Controller Action	No action
1352.18	SL Controller Action	DISABLED
1352.19	SL Controller Action	No action

Рис. 5. Программы работы ПЛК системы управления консольного крана с магнитным захватом

На рис. 6 представлена экспериментальная осциллограмма угловой скорости двигателя механизма В перемещения консольного крана с магнитным захватом. Данная экспериментальная осциллограмма угловой скорости соответствует циклограмме работы механизма В (рис. 1), показанной на рис. 3, что подтверждает сделанный выше вывод.

Следует тем не менее отметить, что у применяемых методов программного управления имеются ограничения, поскольку они применимы только для кранового оборудования, работающего на однотипных погрузочно-разгрузочных операциях.

Заключение. Проведен анализ конструкции электрического консольного крана с магнитным захватом. Разработаны циклограммы работы механизма перемещения крана, алгоритм работы ПЛК системы управления механизмом перемещения крана, программа работы ПЛК системы управления механизмом перемещения крана. Предложена техническая реализация способа управления механизмом перемещения подъемного крана. Определена

экспериментальная осциллограмма угловой скорости двигателя механизма В (рис.1) перемещения консольного крана с магнитным захватом, подтверждающая работоспособность разработанных алгоритмов и программ. Сделан вывод об ограничении применяемых методов программного управления, поскольку они применимы только для кранового оборудования, работающего на однотипных погрузочно-разгрузочных операциях.

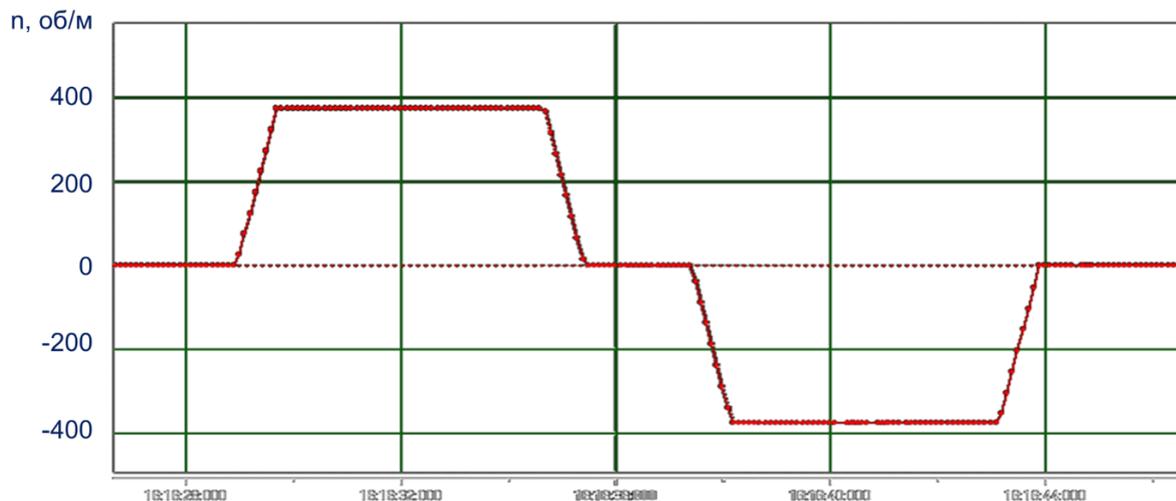


Рис. 6. Экспериментальная циклограмма работы механизма Е перемещения крана

Список источников

1. Фельдман Ю.И. Состояние и перспективы развития автоматизированных электроприводов с преобразователями частоты для крановых и судовых грузоподъемных механизмов / Ю.И. Фельдман, Л.М. Миронов, А.Д. Машихин и др. // *Электротехника*, 1995. – № 10. – С. 2-5.
2. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / А.Б. Виноградов. – Иваново: ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2008. – 298 с.
3. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: учеб. для вузов / А.С. Анучин. – М.: Изд. дом МЭИ, 2015. – 373 с.
4. Сандлер А.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями / А.С. Сандлер, Р.С. Сарбатов. – М.: Энергия, 1974. – 328 с.
5. Герман-Галкин С.Г. Цифровые электроприводы с транзисторными преобразователями / С.Г. Герман-Галкин. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 248 с.
6. Сабинин Ю.А. Частотно-регулируемые асинхронные электроприводы / Ю.А. Сабинин, В.Л. Грузов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1985. – 240 с.
7. Peña J.M., Díaz E.V., Implementation of V/f scalar control for speed regulation of a three-phase induction motor, 2016 IEEE ANDESCON, 2016, pp. 1-4, DOI:10.1109/ANDESCON.2016.7836196.
8. Isidori A. Nonlinear control systems (3rd edition). Berlin Springer-Verlag, 1995, 549 p.
9. Novotny D.W., Lipo T.A. Vector control and dynamics of AC drives. Oxford: Clarendon press, 1996, 456 p.
10. Kohlrusz G., Fodor D. Comparison of scalar and vector control strategies of induction motors. Hungarian journal of industrial chemistry, 2011, pp. 265-270.
11. Jisha L.K., Powly Thomas A.A. A comparative study on scalar and vector control of Induction motor drives. 2013 International conference on circuits, controls and communications (CCUBE), 2013, pp. 1-5, DOI:10.1109/CCUBE.2013.6718554.
12. Marino R., Tomei P., Verrelli C.M. Induction motor control design. London: Springer, 2010, 351 p.
13. Asnil, Husnaini I., Astrit E. Microcontroller based 120° and 180° conduction modes of three-phase inverter for photovoltaic generation. ARPN journal of engineering and applied sciences, 2018, 13, 3579-3586.
14. Gulyamov K., Yunusov R., Dovudov S., et al. Study of the DC/DC boost converter physical model. Proceedings of the 2021 Ural-siberian smart energy conference, USSEC 2021, Novosibirsk, 13–15 November 2021, Novosibirsk, 2021, pp. 77-80.
15. Gulyamov K., Sharifov B., Dovudov S., et al. Increase in power of DC/DC converters with increased number of conversion channels. Proceedings of the 2020 Ural smart energy conference, USEC 2020, Ekaterinburg, 13–15 November 2020, Ekaterinburg, 2020, pp. 59-62.

16. Кравчик А.Э. Асинхронные двигателя серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982.
17. Дунаев М.П. Силовые электронные преобразователи электростанций: Учеб. Пособие / М.П. Дунаев. – Иркутск, Изд-во ИРНИТУ, 2016. – 116 с.
18. Руководство по программированию FC-302. – Москва, 2010. – 207 с.

Дунаев Михаил Павлович. Доктор технических наук, профессор, профессор Иркутского национального исследовательского технического университета. AuthorID: 315898, ORCID: 0000-0002-1523-5553, mdunaev10@mail.ru, 664074, Россия, Иркутская обл., Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Саушкин Алексей Анатольевич. Аспирант Иркутского национального исследовательского технического университета. ORCID: 0000-0001-5600-4615, leha-34714@inbox.ru, 664074, Россия, Иркутская обл., Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

UDC 621.314.3

DOI:10.25729/ESI.2025.37.1.015

Automated program control of crane travel mechanisms

Mikhail P. Dunaev, Aleksei A. Saushkin

National research irkutsk state technical university,
Russia, Irkutsk, *mdunaev10@mail.ru*

Abstract. The article analyzes the design of an electric jib crane with a magnetic gripper. Cyclograms of the crane movement mechanism operation have been developed. An algorithm for the operation of the PLC of the crane travel mechanism control system has been developed. The work program of the PLC of the crane travel mechanism control system has been developed. A technical implementation of the method of controlling the mechanism of movement of a crane is proposed. An experimental oscillogram of the angular velocity motor of the movement mechanism B of a jib crane with a magnetic gripper is determined, confirming the operability of the developed algorithms and programs.

Keywords: crane, frequency converter, electric drive, control

References

1. Feldman U.I., Mironov L.M., Mashihin A.D. et al. Sostoianie i perspektivi razvitiia avtomatizirovanih elektroprivodov s preobrazovateliami chastoti dlia kranovih i sudovih gruzopodemnih mehanizmov [Status and development prospects of automated electric drives with frequency converters for crane and marine lifting mechanisms]. Elektrotehnika [Electrical engineering], 1995, no. 10, pp. 2-5.
2. Vinogradov A.B. Vektornoe upravlenie elektroprivodami peremennogo toka [Vector control of AC electric drives]. Ivanovo: GOU VPO "Ivanovskii gosudarstvenii energeticheskii universitet imeni V.I. Lenina" [Ivanovo: State educational institution of higher professional education "Ivanovo State power engineering university named after V.I. Lenin"], 2008, 298 p.
3. Anuchin A.S. Sistemi upravleniia elektroprivodov: ucheb. dlia vuzov [Electric drive control systems: textbook for universities]. M.: Izd. dom MEI [Moscow: MPEI Publishing house], 2015, 373 p.
4. Sandler A.S., Sarbatov R.S. Avtomaticheskoe chastotnoe upravlenie asinhronimi dvigateliami [Automatic frequency control of asynchronous motors]. M.: Energia [M.: Energy], 1974, 328 p.
5. German-Galkin, S.G. Cifrovie elektroprivodi s tranzistornimi preobrazovateliami [Digital electric drives with transistor converters]. L.: Energoatomizdat, 1986, 248 p.
6. Sabinin U.A., Gruzov V.L. Chastotno-reguliruemie asinhronie dvigateliami elektroprivodi [Frequency-controlled asynchronous electric drives]. L.: Energoatomizdat. Leningr. Otdelenie [L.: Energoatomizdat. Leningrad branch], 1985, 240 p.
7. Peña J.M., Díaz E.V., Implementation of V/f scalar control for speed regulation of a three-phase induction motor, 2016 IEEE ANDESCON, 2016, pp. 1-4, DOI:10.1109/ANDESCON.2016.7836196.
8. Isidori A. Nonlinear control systems (3rd edition). Berlin Springer-Verlag, 1995, 549 p.
9. Novotny D.W., Lipo T.A. Vector control and dynamics of AC drives. Oxford: Clarendon press, 1996, 456 p.
10. Kohlrusz G., Fodor D. Comparison of scalar and vector control strategies of induction motors. Hungarian journal of industrial chemistry, 2011, pp. 265-270.

11. Jisha L.K., Powly Thomas A.A. A comparative study on scalar and vector control of Induction motor drives. 2013 International conference on circuits, controls and communications (CCUBE), 2013, pp. 1-5, DOI:10.1109/CCUBE.2013.6718554.
12. Marino R., Tomei P., Verrelli C.M. Induction motor control design. London: Springer, 2010, 351 p.
13. Asnil, Husnaini I., Astrit E. Microcontroller based 120° and 180° conduction modes of three-phase inverter for photovoltaic generation. ARPN journal of engineering and applied sciences, 2018, 13, 3579-3586.
14. Gulyamov K., Yunusov R., Dovudov S., et al. Study of the DC/DC boost converter physical model. Proceedings of the 2021 Ural-siberian smart energy conference, USSEC 2021, Novosibirsk, 13–15 November 2021, Novosibirsk, 2021, pp. 77-80.
15. Gulyamov K., Sharifov B., Dovudov S., et al. Increase in power of DC/DC converters with increased number of conversion channels. Proceedings of the 2020 Ural smart energy conference, USEC 2020, Ekaterinburg, 13–15 November 2020, Ekaterinburg, 2020, pp. 59-62.
16. Kravchik A.E., Shlaf M.M., Afonin V.I., et al. Asinhronie elektrodvigateli serii 4A: Spravochnik [Asynchronous motors of the 4A series: Handbook]. M.: Energoizdat, 1982.
17. Dunaev M.P. Silovie elektronie preobrazovateli elektrostancii: Ucheb. posobie. [Power electronic converters of power plants: Textbook. Manual]. Irkutsk, Izd-vo IRNITU [Irkutsk, Publishing house of IRNITU], 2016, 116 p.
18. Rukovodstvo po programirovaniu FC-302 [Programming guide FC-302]. Moskva [Moscow], 2010, 207 p.

Dunaev Mikhail Pavlovich. Doctor of technical sciences, professor, Irkutsk national research technical university. AuthorID: 315898, ORCID: 0000-0002-1523-5553, mdunaev10@mail.ru, 664074, Russia, Irkutsk region, Irkutsk, Lermontov str., 83.

Saushkin Aleksei Anatolyevich. Aspirant, Irkutsk national research technical university. ORCID: 0000-0001-5600-4615, leha-34714@inbox.ru, 664074, Russia, Irkutsk region, Irkutsk, Lermontov str., 83.

Статья поступила в редакцию 29.06.2024; одобрена после рецензирования 26.02.2025; принята к публикации 26.02.2025.

The article was submitted 06/29/2024; approved after reviewing 02/26/2025; accepted for publication 02/26/2025.