

4.3.2. ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 621.423.31

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2025_1_96

EDN: LWJDXI

Совершенствование защиты асинхронных электроприводов

Наталья Анатольевна Мазуха^{1✉}, Дмитрий Николаевич Афоничев²^{1, 2} Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,
Воронеж, Россия¹ nat052005@yandex.ru✉

Аннотация. Благодаря высокой надежности, простоте конструкции, сравнительно невысокой стоимости асинхронные электродвигатели находят все более широкое применение в сельском хозяйстве. Они обычно рассчитаны на срок службы 15–20 лет без капитального ремонта при условии их правильной эксплуатации. В реальных условиях возможны значительные отступления от предполагаемых режимов эксплуатации (например плохое качество питающего напряжения, перегрузки, снижение сопротивления изоляции, нарушение охлаждения). Такие отклонения приводят к авариям и большому материальному ущербу, обусловленному остановкой технологического процесса в связи с устранением последствий аварий, ремонтом вышедшего из строя электропривода. Применение современных аппаратов и схем защиты позволяет значительно сократить количество и частоту сбоев в работе оборудования, продлить срок службы электроприводов, сократить эксплуатационные расходы. Предлагаемая защита срабатывает при заклинивании, примерзании, обрыве фазы с отстройкой от кратковременного броска пускового тока за счет использования реле времени. В существующую схему группового электропривода добавлены токовые реле, реле контроля изоляции, а также реле обрыва фаз. В рекомендуемой авторами схеме затяжной пуск транспортера, например при проскальзывании ленты на приводном барабане или ее обрыве, будет замечен защитой. При перегреве подшипников приводных барабанов и при образовании завала в местах подачи груза схема управления также обеспечивает остановку транспортеров из нескольких точек участка. Реле минимального тока позволит для экономии электрической энергии исключить ненужную работу линии при разгрузившихся транспортерах. В отличие от традиционных, все еще распространенных схем защиты использование дополнительных устройств защиты поможет обеспечить более эффективную работу электродвигателей, а значит, исключить собой технологических процессов.

Ключевые слова: электродвигатель, электропривод, реле обрыва фаз, реле контроля изоляции, токовое реле, реле времени, магнитный пускатель, поточная линия

Для цитирования: Мазуха Н.А., Афоничев Д.Н. Совершенствование защиты асинхронных электроприводов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2025. Т. 18, № 1(84). С. 96–102. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2025_1_96–102.

4.3.2. ELECTROTECHNICS, ELECTRICAL EQUIPMENT AND ELECTRICAL POWER SUPPLY FOR AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

Improving the protection of asynchronous electric drives

Natalya A. Mazukha^{1✉}, Dmitriy N. Afonichev²^{1, 2} Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia¹ nat052005@yandex.ru✉

Abstract. Due to high reliability, simplicity of design, and relatively low cost, asynchronous electric motors are increasingly being used in agriculture. They are usually designed for a service life of 15–20 years without major repairs, provided they are operated correctly. In real conditions, significant deviations from the expected operating modes are possible (for example, poor supply voltage quality, overloads, reduced insulation resistance, and breakdown of cooling). Such deviations lead to accidents and large material damage caused by technological process shutdown in connection with the elimination of the consequences of accidents, repair of a failed electric drive. The use of modern devices and protection schemes can significantly reduce the number and frequency of equipment failures, extend the service life of electric drives, and reduce operating costs. The proposed protection is triggered by jamming, freezing, phase interruption with offset from a short-term surge of in-rush current due to the use of a time relay. Current relays, isolation monitoring relays, and phase break relays have been added to the existing circuit of the group electric drive. In the scheme recommended by the authors, a prolonged start of the conveyor, for example, when the belt on the drive drum slips or breaks, will be registered by the protection. When the bearings of the drive drums overheat and blockage forms at the loading points, the control circuit also ensures that the conveyors stop from several points on the site. The minimum current relay will allow saving electrical energy and eliminating unnecessary line operation when the conveyors are unloaded. Unlike traditional protection schemes that are still widespread, the use of additional protection devices will provide more efficient operation of electric motors, which means that technological processes cannot fail.

Keywords: electric motor, electric drive, phase break relay, isolation monitoring relay, current relay, time relay, magnetic starter, flow line

For citation: Mazukha N.A., Afonichev D.N. Improving the protection of asynchronous electric drives. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2025;18(1):96-102. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2025_1_96-102.

Введение
Надежная работа электрооборудования является одним из условий нормального функционирования сельскохозяйственного производства за счет своевременного контроля и сохранения работоспособности машин и оборудования. При этом необходимость повышения эффективности защиты асинхронных электроприводов является очевидной, если учесть реальную возможность нештатных ситуаций в сельскохозяйственном производстве [1, 4, 6]. Факторами, вызывающими аварийные режимы, могут являться: перегрузка по моменту, снижение напряжения, несимметрия трехфазного напряжения, обрыв одной из фаз и др. [2, 3, 10].

Поточные линии все шире используются в сельскохозяйственном производстве. Использование поточных линий при производстве и раздаче кормов, уборке навоза и помета, сортировке и хранении зерна и в других процессах позволяет сократить численность работников, улучшить качество продукции, значительно повысить производительность труда и облегчить труд персонала. Концентрация рабочих машин, размещение их в разных местах по территории участков, строгое регламентирование режимов предъявляют ряд обязательных требований к схемам управления поточными линиями, в том числе требуют простоты и надежности этих схем [5, 7].

Описание усовершенствованной схемы

Для защиты электроприводов от различных аварийных и нештатных ситуаций усовершенствована схема группового электропривода поточной линии. Для сохранения требуемых размеров элементов по требованиям ГОСТ схема разделена на два рисунка (рис. 1 и 2).

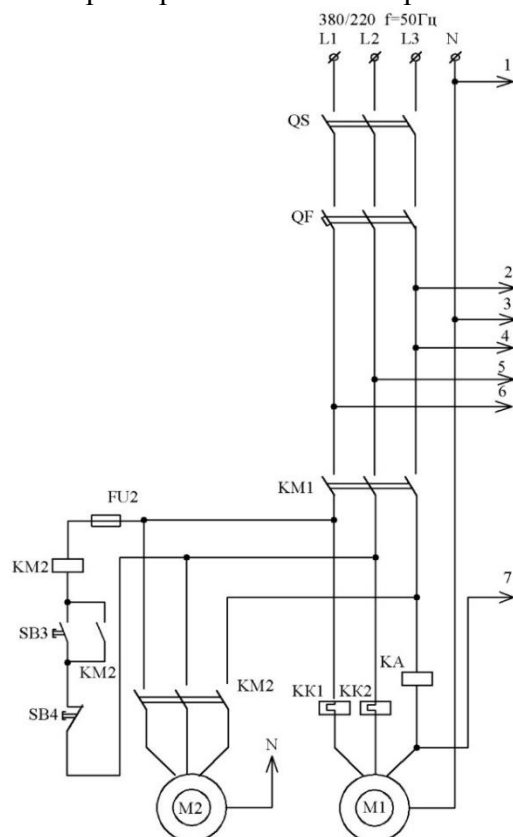


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема группового электропривода (силовая цепь)

На схеме используются следующие буквенные обозначения:

- L1, L2, L3 – фазы питающей сети;
- N – нулевой провод;
- QF – автоматический выключатель;
- QS – разъединитель;
- KM1, KM2 – магнитные пускатели;
- KK1, KK2 – электротепловые реле;
- KA – максимальное токовое реле;
- M1, M2 – электродвигатели;
- FU1, FU2 – предохранители;
- KT – реле времени;
- KV – реле напряжения;
- SB1–SB4 – кнопочные выключатели;
- R1, R2 – резисторы;
- HL1, HL2 – сигнальные лампочки;
- A1 – реле контроля изоляции;
- A2 – реле обрыва фаз.

В существующую схему добавлены максимальное токовое реле КА, реле контроля изоляции А1, а также реле обрыва фаз А2.

Реле обрыва фаз А2 защищает от следующих аварийных ситуаций: обрыв одной из фаз до пуска, обрыв фазы на ходу, неправильный порядок следования фаз, симметричное снижение напряжения, несимметричное снижение напряжения. При токовой перегрузке (заклинивание, примерзание, обрыв фазы L1 или L2) защита срабатывает с отстройкой от кратковременного броска пускового тока (за счет реле времени с использованием промежуточного реле при необходимости для усиления контактов, если в схеме используется малогабаритное реле времени).

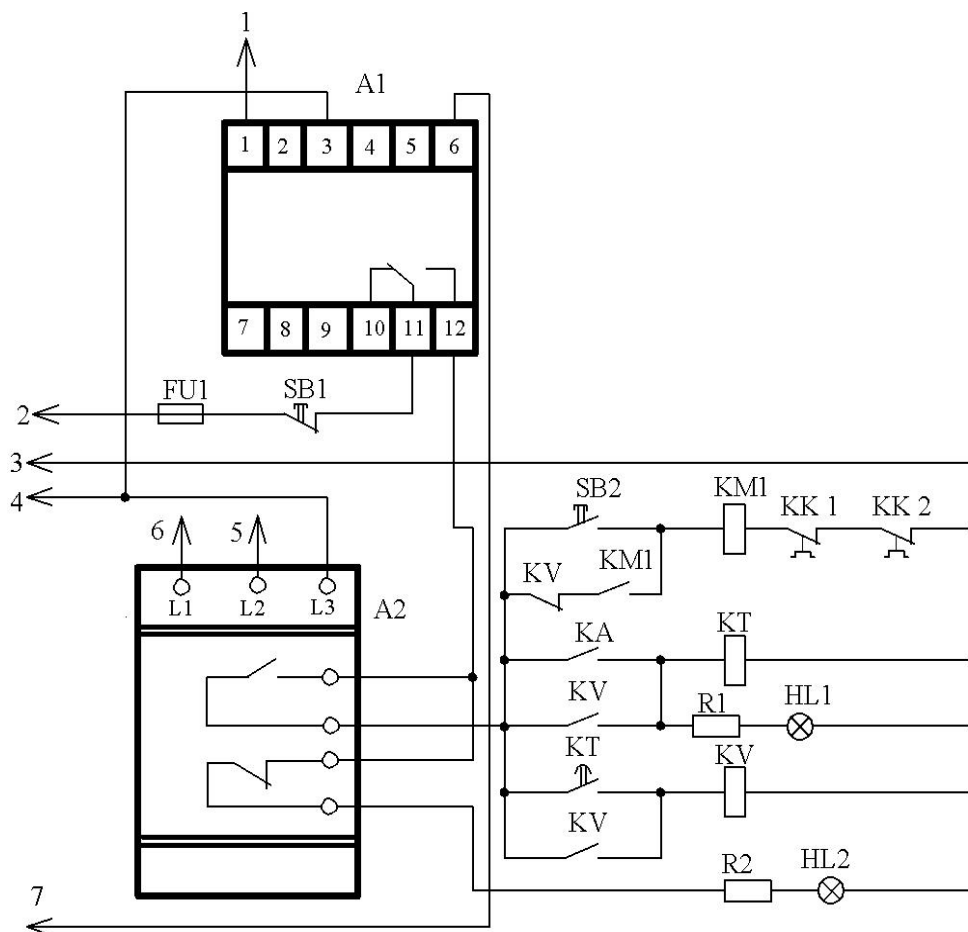


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема группового электропривода (цепь управления общая)

Реле контроля изоляции А1 предназначено для контроля сопротивления изоляции в обмотках электродвигателей в одно- и трехфазных сетях переменного тока. Особенности реле являются: диапазон контроля сопротивления изоляции 0,5...1 мОм; гальваническая развязка между исполнительными реле и цепью питания; максимальный ток нагрузки 16 А. Если сопротивление изоляции электродвигателя в норме, то есть в пределах допустимого, то замыкается контакт 11-12 реле А1 и пуск двигателя разрешен. В противном случае, если сопротивление изоляции ниже нормы, то контакт 11-12 разомкнут, следовательно, пуск двигателя осуществлен не будет.

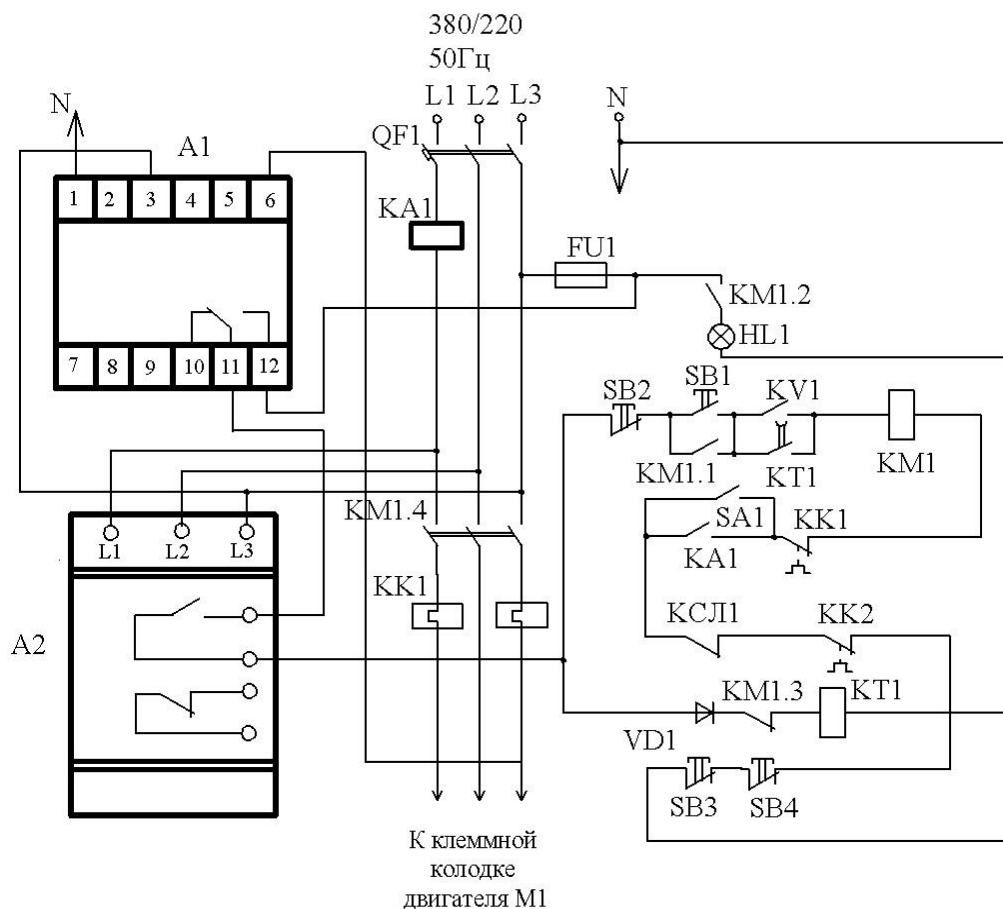
Рассмотрим работу схемы. Для включения электродвигателя необходимо включить разъединитель QS, автоматический выключатель QF, нажать кнопку SB2 «Пуск». Если сопротивление изоляции электродвигателя в норме, то замыкается контакт 11-12 устройства А1. При полнофазном трехфазном питании на устройстве А2 его замыкающий контакт замыкается, при нажатии на кнопку SB2 подается питание на катушку магнитного пускателя KM1, запускается двигатель M1.

Пусковой ток заставляет срабатывать реле максимального тока КА, замыкается контакт КА в цепи катушки реле времени КТ, загорается лампочка HL1. Выдержка времени контакта КТ настроена на время несколько большее, чем время протекания пускового тока, следовательно, при пуске он не замкнется. После того, как ток уменьшится и контакт КА разомкнется, лампочка HL1 погаснет, что указывает на нормальный запуск электродвигателя. Благодаря световой индикации оператор может следить за контролем запуска асинхронного двигателя и своевременно вносить коррективы в работу схемы.

Работа двигателя М2 зависит от работы двигателя М1. Если изоляция двигателя М1 ухудшилась, то контакт 11-12 устройства А1 размыкается, отключается пускатель КМ1 и автоматически отключается пускатель КМ2.

На практике при построении разных вариантов схем управления поточными линиями по аналогии можно использовать дополнительную защиту при плохой изоляции и второго двигателя [8, 9]. При токовой перегрузке во время работы двигателя с выдержкой времени замыкается контакт КТ, подается питание на катушку КV, размыкается контакт КV в цепи катушки КМ1, отключается двигатель М1. Лампочка HL2 загорается в случае аварийной ситуации, на которую среагировало устройство А2. Современные аппараты, выпускаемые электротехническими фирмами, позволяют в электрических схемах управления поточными линиями автоматизировать ряд операций и одновременно обеспечить нужную защиту оборудования и асинхронных электродвигателей.

Предлагаемая схема управления поточной линией может быть использована для различных технологических процессов в животноводстве и растениеводстве. Рассмотрим вариант использования дополнительной защиты двигателей в схеме управления поточной линией с двумя двигателями М1 и М2 на примере двигателя М1 (рис. 3).



В схеме, показанной на рисунке 3, приняты такие буквенные обозначения:

QF1 – автоматический выключатель;

KM1 – пускатель;

M1 – электродвигатель;

FU1 – предохранитель;

A1 – реле контроля изоляции;

A2 – реле контроля напряжения;

KA1 – реле минимального тока;

SB1–SB4 – кнопки;

KK1 – тепловое реле;

SA1 – выключатель;

KV1 – реле напряжения;

HL1 – сигнальная лампа;

КСЛ1 – контакт защиты для контроля схода ленты;

VD1 – диод;

KT1 – реле времени;

KK2 – реле контроля перегрева подшипников приводных барабанов.

Выключатель SA1 надо включить перед пуском и выключить после пуска двигателя M1.

Затянувшийся пуск транспортера в случае, например, неисправности электродвигателя, проскальзывания ленты на приводном барабане или ее обрыва будет замечен защитой. Схема управления также обеспечивает остановку транспортеров из нескольких точек участка (при перегреве подшипников приводных барабанов и при образовании завала в местах подачи груза).

При подаче питания на катушку пускателя KM1 переключаются его контакты KM1.2, KM1.3. Контакт KM1.1 шунтирует кнопку SB1, а контакт KM1.2 включает лампу сигнализации HL1. Разомкнувшийся контакт KM1.3 отключает катушку реле времени KT1. При этом пришедший в движение шкив транспортера приводит, в свою очередь, в движение якорь Я1, поэтому растет напряжение на катушке реле KV1. При достижении транспортером рабочей скорости реле KV1 своим контактом шунтирует контакт KT1, при этом последний к этому времени должен еще оставаться замкнутым. С выдержкой времени размыкается контакт KT1 в цепи катушки KM1, но катушка KM1 продолжает получать питание через контакт KV1. Если за время, необходимое для разгона, первый транспортер не разгонится, то контакт KT1 разомкнется до того, как замкнется контакт KV1, поэтому двигатель M1 остановится, то есть пуск поточной линии не состоится. При этом реле KV1 отключится. Отметим, что такой прием использования реле времени важен также и при проскальзывании, например, ленты по шкиву, что может привести к загоранию ленты.

Пуск двигателей поточной линии должен осуществляться в направлении против хода продукта.

Для остановки поточной линии можно нажать кнопки SB3 или SB4, которые расположены специально в разных местах участка. При этом сначала пускатель KM1 отключает двигатель M1, а после остановки первого транспортера отключается пускатель KM2 (эта часть схемы не приводится).

Рассмотрим несколько подробнее работу различных защит в представленной схеме. На рисунке 3 показана защита от токов перегрузки с использованием теплового реле в пускателе и теплового расцепителя в автоматическом выключателе и защита от токов короткого замыкания с использованием электромагнитного расцепителя в автоматическом выключателе. Реле контроля изоляции A1 является современным устройством защиты, его применение в электроприводах сельскохозяйственного назначения с

возможной технологической перегрузкой просто необходимо. Для защиты электродвигателей при обрыве фазы сети, неправильном порядке следования фаз, пониженном напряжении в сети и асимметрии фазных напряжений в схеме предусмотрено реле А2. Например, при обрыве одной из фаз на ходу выше точек подключения реле размыкается замыкающий контакт реле А2, снимается питание с катушки пускателя КМ1, а значит, двигатель М1 отключается. При сходе ленты первого или второго транспортера контакт реле КСЛ1 отключит пускатель КМ1.

Реле минимального тока КА1, а также выключатель SA1 позволяют для экономии электрической энергии исключить ненужную работу линии при разгрузившихся транспортерах и при заранее разомкнутом оператором выключателе SA1. В режиме наладки или при пуске транспортеров в холостом режиме для включения пускателя КМ1 выключатель SA1 надо включить.

Выводы

1. В существующую схему группового электропривода добавлены реле нового поколения: контроля изоляции, контроля фаз, а также реле максимального и минимального тока для более комплексного использования защиты в различных аварийных ситуациях. Предложено одновременно использовать защиту для контроля схода ленты транспортера. Схема позволяет использовать защиту при перегреве подшипников приводных барабанов и при образовании завала в местах подачи груза.

2. Реле контроля изоляции позволяет обнаружить потерю изоляцией своих свойств еще на ранних этапах ее разрушения. Использование этого устройства позволяет решить проблемы, связанные с ложными срабатываниями и аварийными отключениями рабочих машин. Реле контроля фаз используется для обеспечения контроля за наличием и симметрией напряжения, порядком следования фаз, оно обеспечивает защиту от асимметричности фазных напряжений и при обрыве фазы. Максимальная токовая защита срабатывает при заклинивании, примерзании, обрыве фазы (она также реагирует на пусковой ток), поэтому реле времени в данном случае используется для исключения отключения двигателя во время пуска. Реле минимального тока позволит исключить ненужную работу линии при разгрузившихся транспортерах для экономии электрической энергии.

3. В схеме предусмотрена защита при проскальзывании (обрыве) ленты на приводном барабане. Также возможна остановка транспортеров из нескольких точек участка, например при перегреве подшипников приводных барабанов и при образовании завала в местах подачи груза.

Список источников

1. Епифанов А.П., Гущинский А.Г., Малайчук Л.М. Электропривод в сельском хозяйстве: учебное пособие. 2-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2016. 224 с.
 2. Кабдин Н.Е., Сторчевой В.Ф. Электропривод: учебник. Москва: МЭСХ Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2021. 284 с.
 3. Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г. и др. Управление качеством электроэнергии. Москва: Издательский дом МЭИ, 2017. 347 с.
-

4. Коломиец А.П., Кондратьева Н.П., Владыкин И.Р. и др. Электропривод и электрооборудование: учебник. Москва: Колос, 2008. 328 с.
5. Мазуха Н.А., Бочарников Н.А., Лебединский А.А. Защита асинхронных электродвигателей // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы международной научно-практической конференции (Воронеж, 24–25 ноября 2020 г.). Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. С. 247–250.
6. Мазуха Н.А. Защита двигателей навозоуборочных транспортеров в коровниках // Ремонт, восстановление, модернизация. 2016. № 8. С. 12–15.
7. Онищенко Г.Б. Электрический привод: учебник для вузов. Москва: РАСХН, 2003. 320 с.
8. Оськин С.В., Моргун С.М., Богатырев Н.И. Автоматизированный электропривод: учебное пособие. Краснодар: ОАО «Кубанское полиграфическое издание», 2014. 212 с.
9. Сеньков А.Г., Дайнеко В.А. Электропривод и электроавтоматика: учебное пособие. Минск: Республиканский институт профессионального образования РИПО, 2020. 177 с.
10. Bollen M.H.J. Understanding power quality problems. Voltage Sags and Interruptions. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2000. 551 p.

References

1. Epifanov A.P., Guschinsky A.G., Malaychuk L.M. Electric drive in agriculture: textbook. 2nd edition, stereotyped. Saint Petersburg: Lan' Publishers; 2016. 224 p. (In Russ.).
2. Kabdin N.E., Storchevoy V.F. Electric drive: textbook. Moscow: Mechanization and electrification of agriculture Publishers; 2021. 284 p. (In Russ.).
3. Kartashev I.I., Tulsy V.N., Shamonov R.G. et al. Electricity quality management. Moscow: Moscow Power Engineering Institute Publishers; 2017. 347 p. (In Russ.).
4. Kolomiets A.P., Kondratieva N.P., Vladykin I.R. et al. Electric drive and electrical equipment: textbook. Moscow: Kolos Publishers; 2008. 328 p. (In Russ.).
5. Mazukha N.A., Bocharnikov N.A., Lebedinsky A.A. Protection of asynchronous electric motors. In: Science and Education at the Present Stage of Development: Experience, Problems and Ways to Solve them: Proceedings of the International Research-to-Practice Conference (Voronezh, November 24-25, 2020). Voronezh: Voronezh State Agrarian University Publishers; 2020:247-250. (In Russ.).
6. Mazukha N.A. Protection of manure-cleaning conveyors motors in barns. *Repair, Reconditioning, Modernization*. 2016;8:12-15. (In Russ.).
7. Onishchenko G.B. Electric drive: textbook for universities. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences Publishers; 2003. 320 p. (In Russ.).
8. Oskin S.V., Morgun S.M., Bogatyrev N.I. Automated electric drive: textbook. Krasnodar: Kuban Polygraphic Publishing House; 2014. 212 p. (In Russ.).
9. Senkov A.G., Daineko V.A. Electric drive and electroautomatics: textbook. Minsk: Republican Institute of Professional Education Publishers; 2020. 177 p. (In Russ.).
10. Bollen M.H.J. Understanding power quality problems. Voltage Sags and Interruptions. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.; 2000. 551 p.

Информация об авторах

Н.А. Мазуха – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», nat052005@yandex.ru.

Д.Н. Афоничев – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», dmafonichev@yandex.ru.

Information about the authors

N.A. Mazukha, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, nat052005@yandex.ru.

D.N. Afonichev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, dmafonichev@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 11.12.2024; одобрена после рецензирования 20.01.2025; принята к публикации 02.02.2025.

The article was submitted 11.12.2024; approved after reviewing 20.01.2025; accepted for publication 02.02.2025.

© Мазуха Н.А., Афоничев Д.Н., 2025