ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЯРОСЛАВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сборник научных трудов по материалам Национальной научно-практической конференции

Ярославль, 18 ноября 2021 г.

Ярославль
Издательство ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА
2022

© ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2022
© Авторы статей, 2022

ISBN 978-5-98914-249-1

УДК 631.171:621.31
ББК 40.7
П 76

Печатается по решению редакционно-издательского совета инженерного факультета ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА.

Приоритетные направления электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства : сборник научных трудов по материалам Национальной научно-практической конференции. Ярославль, 18 ноября 2021 г. / ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА. – Ярославль : Изд-во ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2022. – 61 с. – ISBN 978-5-98914-249-1.

В материалах конференции представлены результаты исследований ученых, преподавателей и обучающихся высших учебных заведений Российской Федерации.

Сборник предназначен для научных работников, преподавателей высших учебных заведений, а также для работников агропромышленного комплекса. Может использоваться в учебном процессе в целях углубленного рассмотрения соответствующих проблем.

УДК 631.3-192
ББК 40.72

Редакционно-издательский совет

Шешунова Е.В. – редактор, декан инженерного факультета, канд. техн. наук, доцент;

Морозов В.В. – член совета, и.о. заведующего кафедрой «Электрификация», канд. физ.-мат. наук;

Соцкая И.М. – член совета, заведующий кафедрой «Технический сервис», канд. техн. наук, доцент;

Орлов П.С. – член совета, профессор кафедры «Электрификация», д-р техн. наук, доцент;

Шмигель В.В. – член совета, профессор кафедры «Электрификация», д-р техн. наук, профессор;

Ананьин Г.Е. – ответственный секретарь, специалист по учебно-методической работе деканата инженерного факультета, канд. пед. наук.

Текстовое электронное издание

Минимальные системные требования: процессор Intel Pentium 1,3 ГГц и выше; оперативная память 256 Мб и более; операционная система Microsoft Windows XP/Vista/7/10; разрешение экрана 1024x768 и выше; привод CD-ROM, мышь; дополнительные программные средства: Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше.

ISBN 978-5-98914-249-1

© ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2022
© Авторы статей, 2022

УДК 629.1-46

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕЛЬСОВОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА (НА ПРИМЕРЕ г. ЯРОСЛАВЛЯ)

К.п.н. Ананьин Г.Е.
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: рельсовый электротранспорт, трамвай, трамвайное движение, трамвайная сеть, перспективы развития.

В данной статье рассмотрены перспективы развития трамвайного движения в Ярославле. Сделан вывод о том, что, несмотря на все трудности, вряд ли стоит ожидать упразднения трамвая в Ярославле или дальнейшего сокращения трамвайных путей. Возможное расширение трамвайной сети наиболее целесообразно осуществлять вдоль Ленинградского проспекта на север и далее до поселка Норское.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ELECTRIC RAIL TRANSPORT (ON THE EXAMPLE OF YAROSLAVL)

Candidate of Pedagogical Sciences Ananjin G.E.
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia)

Keywords: electric rail transport, tram, tram traffic, tram network, development prospects.

This article discusses the prospects for the development of tram traffic in Yaroslavl. This article discusses the prospects for the development of tram traffic in Yaroslavl. It is concluded that, despite all the difficulties, it is unlikely to expect the abolition of the tram in Yaroslavl or further reduction of tram tracks. The possible expansion of the tram network is most expedient to be carried out along Leningradsky Prospekt to the north and further to the village of Norskoye.

Рельсовым электрическим транспортом в городе Ярославле является трамвай. Ярославский трамвай появился значительно раньше, чем в других городах нашей страны. Первые вагоны были пущены в 1900 году (сама идея пустить в Ярославле трамвай возникла еще раньше), причем особенность ярославского трамвая заключалась в том, что он создавался сразу электрическим, и конка

ему не предшествовала [1]. Как и многие другие российские города, Ярославль активно развивался и рос в XX веке – как до революции, так и при советской власти, следствием чего стало развитие и расширение трамвайной сети. Разумеется, этот процесс не был равномерным; в частности, большой ущерб трамвайному хозяйству нанес известный мятеж 1918 года. Другой трудный период для ярославского трамвая пришелся на постперестроечное время, причем проблемы 1990-х годов существенно отличались от проблем следующего десятилетия. Общий экономический упадок, начавшийся еще в 1980-е годы и усугубившийся после распада СССР, затронул, естественно, и Ярославскую область, хотя она перенесла это непростое время в целом легче, чем многие другие российские регионы. Недостаток финансовых средств в 1990-е годы привел к фактическому прекращению закупок новых вагонов, а капитальный ремонт старых также практически сошел на нет (прежде он осуществлялся в Воронеже, однако экономические связи между этим городом и Ярославлем значительно ослабли в то время). Доходило до того, что на запчасти приходилось разбирать наиболее изношенные вагоны. Столь же проблемным было и состояние трамвайных путей, причем трамвайные пробки обычно возникали даже не столько из-за поломки самих трамваев, сколько именно из-за неисправности путей. Тем не менее, о сокращении трамвайной сети на серьезном уровне речь тогда не заходила. Низкий уровень доходов населения и недостаток средств в городском бюджете вынуждали беречь трамвай как самый дешевый вид общественного транспорта, чему способствовал также невысокий уровень автомобилизации и практическое отсутствие конкуренции со стороны маршрутных такси.

Ситуация изменилась в следующее десятилетие. К 2000 году в Ярославле функционировало 7 трамвайных маршрутов:

- № 1: Мукомольный переулок – ул. Чкалова;
- № 2: Мукомольный переулок – Комсомольская площадь;
- № 3: Мукомольный переулок – Ярославль-Главный;
- № 4: Комсомольская площадь – Московский проспект;
- № 6: Моторный завод – ул. Блюхера;
- № 7: Мукомольный переулок – ул. Волгоградская;
- № 9: Моторный завод – Больница №9.

Это количество начало сокращаться еще в 2004 году, когда маршрут № 4 был ликвидирован. Двумя годами позже та же судьба постигла маршрут № 2, а в 2009 году был закрыт марш-

рут № 3, а маршруты № 1 и № 7 были сокращены до остановки «Ул. Свердлова», то есть из исторического центра города трамвай был полностью убран. В общей сложности было демонтировано около половины всех трамвайных путей. Аналогичные процессы происходили в других городах России: так, с 2004 по 2013 год число городов, имеющих собственную трамвайную сеть, сократилось на 9% [2]. Однако следует принять во внимание, что сокращению в Ярославле подверглись преимущественно те маршруты, для которых не было выделено специализированных полос движения, и ликвидация трамвайных рельс позволила увеличить пропускную способность некоторых улиц (в частности, Большой Октябрьской). Кроме того, осуществлялся ремонт оставшихся трамвайных путей, происходило обновление трамвайного парка: вместо устаревших вагонов КТМ-5 на линии выходили более современные вагоны КТМ 71-619.

Рисунок 1 – Вагон КТМ-5 в Ярославле

Рисунок 2 – Вагон КТМ 71-619 в Ярославле

Таким образом, на наш взгляд, о полной ликвидации трамвая в Ярославле не может идти и речи: поскольку на существующих линиях осуществляется модернизация, городские власти заинтересованы в их сохранении. Очевидно, причина кроется в известных достоинствах трамвая как вида городского транспорта. К числу этих достоинств относятся большая провозная способность, дешевизна перевозок, безопасность пассажиров, а также то, что трамвай не загрязняет воздух селитебной зоны. Кроме того, важность трамвайных перевозок возросла из-за проведенной в 2021 году в Ярославле транспортной реформы, следствием которой стало исчезновение с городских улиц большей части маршрутных такси.

Однако для того, чтобы упомянутые преимущества трамвая были использованы в полной мере, необходимо проведение ряда мероприятий. Прежде всего, к ним относится поддержание в надлежащем состоянии подвижного состава и трамвайных путей. Как мы уже сказали, на сохраненных маршрутах ситуация в настоящее время с этим лучше, чем была в 1990-е годы. Разумеется, не все ярославские трамвайные линии находятся в идеальном состоянии. Например, раздавались жалобы на значительную изношенность путей на перегоне между улицей Елены Колесовой и улицей Урицкого, по которому перемещаются трамваи двух маршрутов со значительной интенсивностью движения. Также, по мнению части жителей Ленинского района, целесообразно было бы заасфальтировать пространство между рельсами на улице Чкалова, чтобы избежать образования пыли в жаркое время года. Другим и более масштабным мероприятием является строительство новых путей и (при необходимости) создание новых маршрутов. Предлагались – как на официальном уровне, так и в Интернете – разные проекты расширения трамвайного движения в Ярославле [3], однако не все они, на наш взгляд, являются осуществимыми. Так, по нашему мнению, едва ли после того, как трамвай убрали из Красноперекопского района, этим видом транспорта снабдят Фрунзенский район (обсуждалась идея организации трамвайной линии вдоль проспекта Фрунзе). Так же вряд ли трамвайное движение будет возобновлено в исторической части города, ибо пришлось бы встраивать линии в существующую застройку, что затруднит движение транспорта и сопряжено со значительными расходами. В Заволжском районе Ярославля трамвая никогда не было, и сооружение там трамвайных линий потребует расшире-

ния одного из двух мостов через Волгу, а на столь радикальную реконструкцию, скорее всего, городские власти не решатся.

Таким образом, строительство новых трамвайных линий на настоящий момент представляется наиболее возможным в Дзержинском районе, где трамвай вполне успешно эксплуатируется и теперь и вполне привычен жителям. К тому же значительное количество неиспользуемой земли позволит проложить рельсовые пути со сравнительно небольшими расходами. Предлагаемый некоторыми проект закольцевания маршрутов № 6 и № 7, то есть соединения их конечных остановок, является, по-видимому, технически реализуемым (хотя, конечно, требуются дополнительные изыскания). Однако это фактически означает продление маршрута № 6, а он по сравнению с другими маршрутами не очень активно используется населением Дзержинского района, и едва ли увеличение его протяженности изменит ситуацию (то есть срок окупаемости следует принять значительным). Более перспективным, по нашему мнению, является сооружение линии параллельно Ленинградскому проспекту между трамвайной остановкой «ТРК Альтаир» и остановкой общественного транспорта «15-й микрорайон», расположенной несколько севернее. Микрорайон, примыкающий к линии, является весьма густонаселенным, и предлагаемая мера позволит непосредственно связать трамваем его с такими объектами, как торговый центр «Победа» и корпус Ярославской сельскохозяйственной академии на улице Елены Колесовой (в рамках удлинения маршрута № 7). Также возможно продление упомянутого отрезка трамвайных путей до поселка Норское, который на протяжении всей своей истории был лишен электрического транспорта. Но окончательное решение, разумеется, останется за ярославскими властями.

Выводы

Несмотря на непростое время, которое рельсовый электрический транспорт в Ярославле, то есть ярославский трамвай, переживает с начала 1990-х годов, вряд ли следует в обозримом будущем ожидать сокращения трамвайных путей в Ярославле. Если же городские власти захотят расширить существующую трамвайную сеть, наиболее перспективным, на наш взгляд, является продление трамвайных путей вдоль Ленинградского проспекта в северном направлении и, возможно, последующее строительство трамвайной ветки до поселка Норское.

Литература

1. Воробьева, Н.И. Формирование городской среды Ярославля в конце XIX – начале XX вв.: дис. канд. ист. наук: 07.00.02 / Н.И. Воробьева. – Ярославль, 2014. – 228 с.

2. Савчук, В. Состояние трамвайной системы в России / Владимир Савчук, Александр Поликарпов, Игорь Скок // Техника железных дорог. – 2015. – № 1(29). – URL: http://www.ipem.ru/news/publications/914.html.

3. Перспективные трамвайные маршруты в Ярославле. – URL: https://zen.yandex.ru/media/id/5d0149f3d9d3d300b0559b14/perspektivnye-tramvainye-marshruty-v-iaroslavle-602d66eb5f462a3bfd33b529.

УДК 631.331.85

СТЕНДОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

Д.т.н. Балашов А.В.; к.т.н. Пустоваров Н.Ю.
(ФГБНУ ВНИИТиН, Тамбов, Россия)

Ключевые слова: электропривод, высевающий аппарат, стенд, управление.

В статье рассмотрены результаты исследований высевающего аппарата с электрическим приводом на стенде, в результате которых определены оптимальные параметры высевающего аппарата, предложен вариант модернизации электрического привода.

BENCH TESTS OF SOWING UNIT WITH ELECTRIC DRIVE

Doctor of Technical Sciences Balashov A.V.;
Candidate of Technical Sciences Pustovarov N.Yu.
(FGBNU VNIITiN, Tambov, Russia)

Keywords: electric drive, seeding device, test bench, control.

The article discusses the results of research of the sowing unit with an electric drive at the bench stand which resulted in the optimal parameters of the sowing unit and a variant of the modernization of the electric drive.

В настоящее время ведущие отечественные и зарубежные производители сельскохозяйственной техники уделяют внимание разработке пропашных сеялок с электрическими приводами рабочих органов, которые позволяют управлять их работой в зависимости от

складывающихся производственных условий [1–3]. Например, отключать отдельные посевные секции при обработке полей не правильной конфигурации, дистанционно регулировать норму высева семян, в том числе, с помощью спутниковых систем управления. Электрический привод с успехом может применяться при модернизации сеялок с механическим приводом высевающих аппаратов, что значительно повысит качество работы посевных агрегатов. Поэтому актуальной задачей исследований качественных показателей высевающих аппаратов с электрическим приводом является выявление конструктивно-режимных параметров и управление их работой при лабораторных исследованиях аппарата на специально разработанном стенде (рисунок 1).

Рисунок 1 – Общий вид испытательного стенда

Методика

Сотрудниками лаборатории «Использования машинно-тракторных агрегатов» института был разработан и изготовлен стенд

для исследования высевающих аппаратов с электрическим приводом, состоящий из рамы с установленным на ней исследуемым высевающим аппаратом и источником вакуума. Питание стенда осуществляется через источник питания (АКБ) с номинальным выходным напряжением 12 В, подключенный к трансформатору, который поддерживает стабильное питание электродвигателя не зависимо от текущего уровня заряда аккумулятора. На исследуемом высевающем аппарате сеялки ТС-М-4150 установлен электродвигатель, от которого передается вращение на вал высевающего аппарата от электродвигателя через редуктор и цепную передачу. Управление электродвигателем осуществляется с помощью драйвера, путем изменения параметров питания электродвигателя.

Для определения текущих значений силы тока в каждом конкретном измерении используются амперметры, а величины разрежения – вакуумметр. Качество работы высевающего аппарата, характеризующего равномерностью выбросов семян из аппарата и регистрирующих с помощью емкостного датчика высева семян установленного в полости сошника.

Работа стенда осуществляется следующим образом. Семена загружаются в бункер, запускается источник вакуума, устанавливается требуемая частота вращения вала электродвигателя с помощью драйвера, регистрируемая тахометром ТмМП-100УЗ. Значения силы тока при установленной частоте вращения вала электрического двигателя регистрируются с помощью амперметров. В процессе работы стенда электрический сигнал, полученный при пролете семян между пластинами датчика высева, от платы сбора и обработки данных передается через LPT-порт на компьютер.

Оценка качества работы высевающего аппарата осуществляется подсчетом количества выпавших семян, коэффициента вариации распределения их выпадения и нормы высева с помощью разработанного программного обеспечения [4].

Результаты исследований

Исследованиями выявлено, что при изменении числа оборотов электродвигателя от 1000 до 4500 об/мин потребляемая мощность варьировала в пределах от 57,69 до 107,95 Вт. При этом частота вращения высевающего диска изменялась от 15,56 до 70 об/мин (рисунок 2).

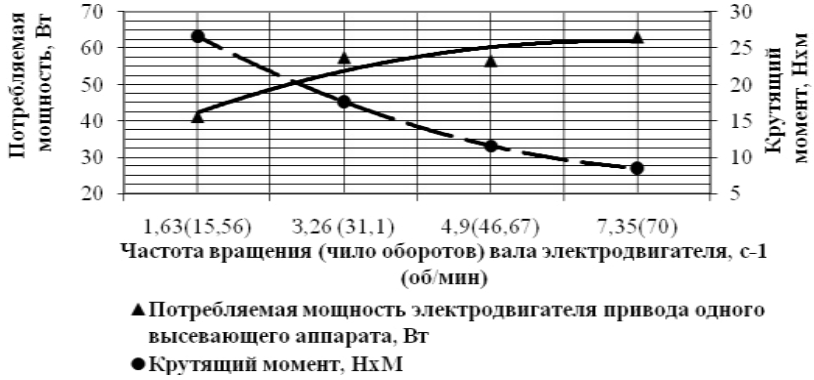

Рисунок 2 – Графики потребляемой мощности электродвигателя и крутящего момента в зависимости от частоты вращения вала

Наибольший крутящий момент, передаваемый на высевающий диск составил 27.7 Н*м при 1000 об/мин на валу электродвигателя, минимальный – 7,9 Н*м при 4500 об/мин. При этом минимальные значения (30–35%) коэффициента вариации выбросов семян из высевающего аппарата достигалось при 1000–2000 об/мин вала электродвигателя, при которых обеспечивалось полное присасывание семян к отверстиям на диске (рисунок 3).

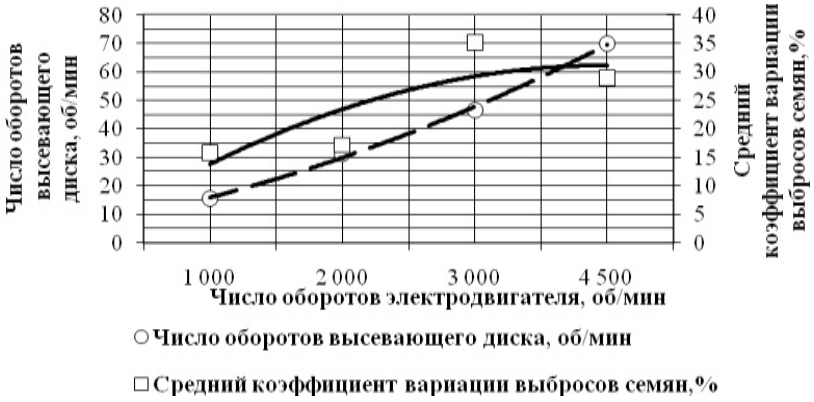

Рисунок 3 – Графики частоты вращения высевающего диска и среднего коэффициента вариации выбросов семян в зависимости от числа оборотов электродвигателя

Для обеспечения агротехнически допустимой скорости движения посевного агрегата (1,5–2,0 м/с) при качественном высеве

семян необходимо правильно выбрать передаточные отношения привода.

Выводы

На основании проведенных исследований можно определить суммарную потребляемую мощность электрических двигателей, установленных на высевающие аппараты 8-ми рядной сеялки, которая составляет754 Вт. При использовании бортовой сети питания трактора с номинальным напряжением 12 В необходимая сила тока для обеспечения работы всех высевающих аппаратов составит около 63А.

Кроме того, в ходе исследований было установлено, что управление двигателем с помощью изменения параметров питания не является рациональным, вследствие изменения состояния источника питания в процессе работы (разряд АКБ, падение напряжения с увеличением нагрузки и т.д.). Для стабильной работы электропривода высевающих аппаратов управление его электродвигателями предлагается осуществлять с помощью специального блока управления бесколлекторным двигателем с разработанным программным обеспечением, а для его питания использовать импульсный источник питания с требуемыми характеристиками. Это позволит сохранять стабильные показатели работы высевающих аппаратов при условии обеспечения необходимых параметров питания системы.

Литература

1. Вагин, И.В. Повышение качества высева семян зерновых культур пневмосеялкой с электроприводом высевающего аппарата и вентилятора: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 / И.В. Вагин. – Пенза, 2010. – 19 с.

2. Ловкис, В.Б. Обоснование и расчет схемы электропривода пневмосеялки агрегата комбинированного почвообрабатывающе-посевного / В.Б. Ловкис, А.В. Захаров, Н.Н. Стасюкевич, А.Н. Стасюкевич // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Межведомственный тематический сборник. Выпуск 50. – Минск, 2016. – С. 193–199.

3. Киреев, И.М. Оценка неравномерности высева семян / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Техника и оборудование для села. – 2018. – №7. – С. 17–20.

4. Оценка качества работы высевающего аппарата. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ RU 2020660672 Рос. Федерация № 2020619942, заявл. 03.09.20; опубл. 09.09.20.

УДК 637.133.3

ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ИНДУКЦИОННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ

Ассистент Бобровский С.О.; д.т.н. Багаев А.А.;
к.т.н. Куницын Р.А.
(ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, Барнаул, Россия)

Ключевые слова: молочное сырье, пастеризация, качество молока, индукционный нагрев, токи высокой частоты, энергоэффективность.

В статье рассмотрены перспективы применения высокочастотных индукционных установок для пастеризации молочного сырья. Создание индукционных пастеризационных установок позволит сократить энергозатраты на процесс производства сырья, увеличить срок службы нагревателя, обеспечить высокое быстродействие и автоматизацию технологического процесса, повысить термический КПД.

PREREQUISITES FOR THE USEOF HIGH-FREQUENCY INDUCTION INSTALLATION FOR HEAT TREATMENT OF DAIRY RAW MATERIALS

Assistant Bobrovskiy S.O.;
Doctor of Technical Sciences Bagaev; A.A.
Candidate of Technical Sciences Kunitsyn R.A.
(FSBEI HE Altai SAU, Barnaul, Russia)

Keywords: dairy raw materials, pasteurization, quality of milk, induction heating, high frequency currents, energy efficiency.

The article describes the prospects for the use of high-frequency induction installations for pasteurization of dairy raw materials. The development of induction pasteurization installations will reduce energy costs for the production of raw materials, increase the service life of the heater, ensure high performance and automation of the technological process, increase the thermal efficiency.

Приоритетным направлением технической политики в агропромышленном комплексе в настоящий момент является разра-

ботка системы оперативных и перспективных мер по насыщению сельскохозяйственных товаропроизводителей высококачественной, экологически чистой, безопасной и высоконадежной энергоэффективной техникой и технологиями. Связано это с тем, что основными поставщиками сельскохозяйственного сырья, в частности молочного, на перерабатывающие предприятия являются фермерские хозяйства, которые чаще всего имеют удаленное местонахождение от рынков сбыта и сталкиваются с проблемой транспортировки и краткосрочности хранения. В таких условиях в молочном сыре могут достаточно быстро развиваться многие виды микроорганизмов, в том числе болезнетворных.

В связи с этим необходима обработка молока, направленная на улучшение санитарно-гигиенических качеств, стойкости в хранении и неизменности свойства и качества.

Для решения этой проблемы создание малогабаритной, энергоэффективной, мобильной высоконадежной техники для организации первичной обработки и переработки молочного сырья у его производителя – ближайший и наиболее эффективный резерв развития производственных сельскохозяйственных предприятий.

Одним из наиболее распространенных способов сохранения качества молока и других пищевых продуктов является их пастеризации. Она широко применяется в пищевой и перерабатывающей промышленности. Пастеризация обеспечивает снижение количества микроорганизмов и разрушение ферментов, способствует значительному повышению сроков хранения и реализации продукта. Эффективность пастеризации зависит от температуры и времени выдержки продукта. При определенном сочетании температуры и выдержки разрушается фермент фосфатаза (рисунок 1), гибель которого считается критерием успешно проведенного процесса пастеризации.

Основным оборудованием для пастеризации молочного сырья преимущественно являются пастеризационно-охладительные установки пластинчатого или кожухо-трубноготипа косвенного нагрева, в которых роль теплоносителя выполняет водяной пар, горячая вода или нагретый газ. Вопросы, связанные с обоснованием параметров и режимов работы пастеризационных установок, решены в работах отечественных и зарубежных ученых [2, 3, 4]: Березина А.Н., Бредихина С.А., Голубевой Л.В., Емельянова С.А., Здановской В.С., Кука Г.А., Радаевой И.А., Свириденко А.К., Тешева А.Ш., Храмцова А.Г., Robe K.T., Rowe M.T. и др.

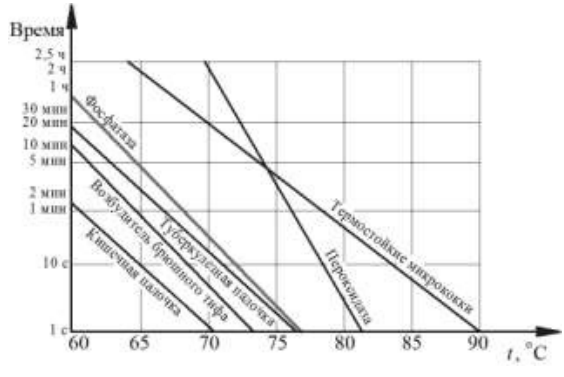

Рисунок 1 – Графики летального воздействия и комбинаций времени и температуры, разрушающих некоторые ферменты и микроорганизмы [1]

В данных нагревателях передача тепла осуществляется через промежуточный теплоноситель. Это связано с усложнением конструкции, дополнительными затратами и потерями энергии, и создает определенные неудобства в эксплуатации.

К альтернативным способам обработки молока можно отнести следующие [5, 6, 7, 8]: обработка ультрафиолетом, ультразвуком, инфракрасным электронагревом, электрообработки (электрохимической обработки), сверхвысоким давлением, бактофугирование, импульсным электронным пучком, стерилизация, СВЧ нагрев, мембранный метод и др.

В связи с недостаточной изученностью, со сложностью и невысокой надежностью конструкций, что приводит к затратам на ремонт и потребности в высококвалифицированном обслуживающем персонале, они не нашли широкого применения.

Общепризнанным способом пастеризации по-прежнему остается термическая обработка молока при условии повышения энергоэффективности. Одним из направлений повышения энергоэффективности рассматриваемых процессов является исключение затрат энергии на нагрев первичного теплоносителя (воды или пара). При применении в качестве источника теплоты в пастеризаторах косвенного нагрева индукционного нагревателя промежуточный теплоноситель не требуется, что открывает возможности для повышения тепловой эффективности таких установок. Ряду отечественных и зарубежных ученых удалось применить технологию индукционного нагрева в пищевом производстве, в частности для пастеризации молочного сырья. Исследования в данной области проводились такими учеными как [9, 10, 11, 12] Макарова Г.В., Науменко О.В., Неверов Е.Н., Новикова Г.В., Со-

ловьев С.В., Başaran A., Lucia O., Rapoport E., Razak R.A., Shilin Wu, Sweeney M., Tsai W.-T., Vairamohan B. и др.

Существенным недостатком данных установок является то, что индукционный нагрев пищевых продуктов, в том числе и молока, осуществляется промышленной частотой (50 Гц).

На основе выше сказанного в статье и анализа работ [13, 14], перспективным является термическая обработка молока в индукционных установках высокой частоты, позволяющая организовать теплообмен между поверхностью теплообменника и нагреваемой средой без использования первичного теплоносителя, обеспечить высокое быстродействие и автоматизацию технологического процесса.

Литература

1. Теплообменники. – Электрон. текстовые данные. – URL: https://pro-machine.ru/teploobmenniki/.

2. Бредихин, С.А. Технология и техника переработки молока / С.А. Бредихин, Ю.В. Космодемьянский, В.Н. Юрин. – М.: Колос, 2003. – 400 с.

3. Свириденко, А.К. Технологическое оборудование для переработки молока и молочных продуктов / А.К. Свириденко, А.Н. Березин. – Саратов: Саратовская с.-х академия, 1996. – 338 с.

4. Rowe, M.T. Bacteriological quality of row milk effect on the quality of dairy products / M.T. Rowe // 7-th Agr. North. Irel. 1985. –V.60. – №8. –P. 178-210.

5. Гроголь, В. Бактофугирование / В. Гроголь // Переработка молока. – 2004. – № 2. – С. 11.

6. Мянд, А.Э. Пастеризация молока с помощью инфракрасного излучения / А.Э. Мянд, Д.В. Овдиенко, В.И. Магда, Е.И. Герцен, Б.П. Симонов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – № 4. – 1974. – С. 23–25.

7. Пономарев, А.Н. Обоснование параметров и режимов работы системы СВЧ обеззараживания молока на фермах: дис. … канд. техн. наук / А.Н. Пономарев. – Москва, 2011. – 164 с.

8. Резник, Н.Е. Процесс воздействия звуковых и ультразвуковых колебаний в жидкости на микробиологические объекты / Н.Е. Резник // Теоретические и экспериментальные исследования аппаратов для обработки молока на фермах. – М., 1969. Вып. 59 – С. 91–119.

9. Патент на полезную модель РФ 137709 U1. Индукционный нагреватель жидкости с выдерживателем / Г.В. Макарова, С.В. Соловьев, В.А. Шилин. – Заявл. 10.07.2013; опубл. 27.02.2014. Бюл. № 6.

10. Başaran, A. Energy and exergy analysis of induction-assisted batch processing in food production: a case study–strawberry jam

production / A. Başaran, T. Yilmaz, C. Çivi // J Therm Anal Calorim. – 2020. – Vol. 140. –P. 1871–1882.

11. Development of an innovative induction heating technique for the treatment of liquid food: Principle, experimental validation and application / Shilin Wu, Na Yang, Yamei Jin [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2020. – Vol. 271.

12. Induction Heating as Cleaner Alternative Approach in Food Processing Industry / R.A. Razak, N.M. Ibrahim, A.S. F. Rahman [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2021.

13. Багаев, А.А. Сравнительный анализ установок для термической обработки молока / А.А. Багаев, С.О. Бобровский // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. материалов XV Международной научно-практической конференции: в 2 кн. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2020. – Кн. 2. – С. 8-11.

14. Бобровский, С.О. Перспективы применения индукционного нагрева для пастеризации молока / С.О. Бобровский, А.А. Багаев // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. материалов XV Международной научно-практической конференции: в 2 кн. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2021. – Кн. 2. – С. 6-7.

УДК 621.311

СОЦИАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И НАДЕЖНОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Аспирант Грищенко Д.Н.; д.т.н. Богдан А.В.;
к.т.н. Лозовский В.В.
(ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ, Краснодар, Россия)

Ключевые слова: СЭС, надежность, человек, социальная инженерия.

К вопросу социальной инженерии необходимо подходить в контексте надежности энергосистемы и рассматривать человека как один из факторов, от которого зависит надежность СЭС.

SOCIAL ENGINEERING AND RELIABILITY OF POWER SYSTEM

Postgraduate Bobrovskiy S.O.,
Doctor of Technical Sciences Bogdan A.V.,
Candidate of Technical Sciences Lozovskiy V.V.
(FSBEI HE Kuban SAU, Krasnodar, Russia)

Keywords: Power system, reliability, human, social engineering.

On the issue of social engineering need to approach in context reliability of power system and consider human as one of the factors which depends on reliability of power system.

Энергосистема – это сложная взаимосвязанная структура, которая состоит из источников электрической энергии, кабельных и воздушных сетей, пунктов повышения и/или понижения (трансформации) напряжения и тока, а также потребителей электрической энергии. В пределах любой страны существует своя собственная энергосистема, для управления энергосистемой существует оперативно-диспетчерская служба (оперативно-диспетчерский персонал). Одними из основных и, в то же время, важнейшими задачами, возложенными на оперативно-диспетчерский персонал, являются:

• надежность системы электроснабжения;

• синхронность работы подстанций в распределительной системе.

Надежность энергосистемы – это способность выполнять функции по производству, передаче, распределению и снабжению потребителей электрической энергией в требуемом количестве и нормированного качества. К общепринятым мероприятиям по поддержанию надежности энергосистемы на заданном уровне относятся: резервирование источников электрической энергии, рационализация размещения энергообъектов, совершенствование автоматизированных систем управления и т.д. Однако, человеческому фактору в этих мероприятиях уделяется весьма мало внимания, хотя человека можно и нужно рассматривать как один из факторов, влияющих на надежности энергосистемы.

Научно-технический прогресс не стоит на месте, активное развитие нейронных сетей началось еще в середине прошлого века, а уже с начала 2000-х годов мы наблюдаем скачок активности такого явления как кибератаки. Как показывает практика, системв1 безопасности, алгоритмах управления и контроля систем, программное обеспечение и прочее, являются практически идеальными «работниками» – они не подаются никаким атакам и диверсиям, если в их работу не вмешивается человек. Как правило, использующееся в электроэнергетике программное обеспечение редко когда обладает таким недостатком, как «уязвимость нулевого дня», то есть уже на этапе использования ПО большинство дефектов и недостатков известны и они либо исправлены, либо разработчик с ними знаком и знает, как их решить. Поэтому с начала 21-го века при кибератакаках, как средство достижения

цели, используется человек. Вредоносные ПО могут быть внедрены в систему одними из нескольких путей: через флэш-носители, по электронной почте (в прикрепленных файлах) и др. Так 23 декабря 2015 года энергосистема западной части Украины подверглась кибератаке, в течение нескольких месяцев вредоносное ПО частями рассылалось на электронную почту оперативно-диспетчерского персонала электросетей и внедрялось в систему, в результате система безопасности (которая по мнению многих экспертов по надежности превосходила систему безопасности энергосистемы США) не справилась с атакой и оперативно-диспетчерский персонал потерял контроль за энергосистемой целых районов страны. В связи с этим, не так давно появилось такое понятие как **социальная инженерия** – это метод (атак) несанкционированного доступа к информации или системам хранения информации без использования технических средств [1].

Самый основной способ защиты от социальной инженерии – это обучение. По мнению авторов, к вопросу социальной инженерии необходимо подходить в контексте надежности энергосистемы и рассматривать человека как один из факторов, от которого зависит надежность системы энергоснабжения. Многие компании тратятся огромные финансовые средства на обеспечение информационной безопасности техническими методами, однако эти технические средства могут быть нивелированы, если сотрудники не будут применять меры по противодействию социальным инженерам.

Литература

1. Прохода, В.А. Энергосберегающее поведение населения России и других европейских стран / В.А. Прохода // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2018. – № 3. – С. 30–35.

УДК 532

АСИМПТОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИПОЛЬНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НЕЗАРЯЖЕННОЙ СФЕРОИДАЛЬНОЙ КАПЛИ, НЕЛИНЕЙНО ОСЦИЛЛИРУЮЩЕЙ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

К.ф.-м.н. Колбнева Н.Ю.
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, ФГБОУ ВО ЯрГУ им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: нелинейные осцилляции, дипольный мо-

мент, электростатическое поле, незаряженная капля, дипольное электромагнитное излучение.

Рассмотрены капиллярные осцилляции незаряженной сфероидальной капли идеальной несжимаемой электропроводной жидкости во внешнем электростатическом поле во втором порядке малости по отношению амплитуды осцилляций к радиусу капли. Построена математическая модель дипольного электромагнитного излучения от единичной осциллирующей в электростатическом поле незаряженной капли и проведена оценка его интенсивности.

ASYMPTOTIC ANALYSIS OF DIPOLE RADIATION BY SPHEROIDAL UNCHARGED DROP NONLINEAR OSCILLATING IN ELECTROSTATIC FIELD

Candidate of Physical and Mathematical Sciences Kolbneva N.Yu.
(Yaroslavl State Agricultural Academy, P.G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia)

Keywords: nonlinear oscillations, dipole moment, electrostatic field, uncharged drop, dipole electromagnetic radiation.

Capillary oscillations of an uncharged drop of perfect uncompressible conducting liquid in the presence of electric field are analyzed in the second order of smallness with respect to the ratio of the oscillation amplitude to radius of the drop. A mathematical model of the dipole electromagnetic radiation of an uncharged drop that oscillates in the presence of electrostatic field is constructed, and the radiation intensity is estimated.

Исследование заряженных (собственным или индуцированным внешним электрическим полем зарядами) капель, осциллирующих во внешних электростатических полях, и физических закономерностей реализации их неустойчивости актуально в связи с многочисленными приложениями капиллярного распада капель в академическом знании, технике и технологии. При этом капиллярные осцилляции заряженной капли во внешнем электрическом поле делают ее источником радиоизлучения. Наличие радиоизлучения от осциллирующих во внешних полях заряженных капель жидкости представляет интерес в связи с проблемами радиолокационного зондирования облаков и туманов, проблемой радиопомех от огней Св. Эльма, появляющихся на обшивке самолетов.

Задача о возникающем при капиллярных осцилляциях заряженной капли идеальной проводящей жидкости в отсутствии внешнего электрического поля радиоизлучении впервые опубликована в 1982 году В.И. Калечицем, И.Е. Нахутиным, П.П. Полуэктов [1], там же выведено дисперсионное уравнение, из которого следовало наличие затухания капиллярных осцилляций капли. В модели идеальной жидкости вязкого затухания быть не может, поэтому согласно закону сохранения энергии затухание можно связать только с потерями энергии осцилляций на излучение электромагнитных волн.

Согласно общей теории излучения интенсивность электромагнитного излучения системы ускоренно движущихся зарядов состоит из суперпозиции дипольной, квадрупольной и магнитно-дипольной компонент. Разделение общего излучения на мультипольные компоненты ведется по малому параметру δ – квадрату отношения радиуса капли к длине излучаемой волны. Порядок величины этого параметра δ~10–15. При этом дипольная компонента излучения обнаруживается в расчетах первого порядка малости по δ, квадрупольная – второго.

На основе общей теории излучения в линейных расчетах по ε (отношению амплитуды осцилляций к характерному линейному размеру капли) обнаружено дипольное электромагнитное излучение [2].

В настоящей работе выполнен аналитический асимптотический расчет во втором порядке малости по ε капиллярных осцилляций незаряженной капли идеальной несжимаемой идеально проводящей жидкости во внешнем однородном электростатическом поле и интенсивность дипольного электромагнитного излучения.

Во внешнем электрическом поле капля вытягивается в сфероид и на ее поверхности индуцируются заряды. Капля смоделирована в виде диполя: разноименным индуцированным зарядам поставлены в соответствие равновеликие точечные заряды, помещенные в положениях эффективных центров положительного и отрицательного зарядов. При капиллярных осцилляциях поверхности сфероида осциллируют положения эффективных зарядов и величина индуцированного заряда, в результате этого генерируются электромагнитные волны дипольного типа.

Математическая модель поставленной задачи включает основные уравнения электрогидродинамики идеальной несжимаемой

идеально проводящей жидкости с граничными условиями. Кроме этого введены дополнительные интегральные условия: неизменности полного объема капли, неподвижности центра масс капли и условие незаряженности капли. Начальные условия заданы в виде начальной деформации равновесной формы капли и равенства нулю скорости движения поверхности капли.

Рассмотрение задачи ограничено вторым порядком по безразмерной амплитуде осцилляций ε и расчеты задачи выполнены с сохранением слагаемых, учитывающих взаимодействие возбужденных колебательных мод со стационарной деформацией капли и учитывающих взаимодействие возбужденных колебательных мод между собой. Для упрощения математических расчетов принято, что квадрат эксцентриситета капли e2 порядка безразмерной амплитуды осцилляций, таким образом, сведя задачу к одному малому параметру ε.

Решение поставленной нелинейной задачи проведено в рамках метода многих масштабов. Ограничиваясь точностью до второго порядка малости, искомые функции представлены в виде рядов по степеням ε, учитывая, что их эволюция во времени определяется основным и более медленным масштабами времени. Поскольку величина напряженности электрического поля порядка ε1/2, то разложение для электрического потенциала проведено по полуцелым степеням параметра ε с точностью до порядка 5/2.

В расчетах нулевого порядка малости по ε найдена форма равновесной поверхности капли, которая с точностью до e2 совпала с уравнением вытянутого сфероида.

Равновесный электрический потенциал получен в виде суперпозиции электрических потенциалов в окрестности незаряженной сферы во внешнем поле и добавки, связанной с вытянутостью капли.

В электрогидродинамических расчетах первого и второго порядков малости по ε найдены последовательные поправки к возмущению поверхности капли. В расчетах 3/2 и 5/2 по ε найдены поправки к электрическому потенциалу, вызванные взаимодействием возбужденных колебательных мод со стационарной деформацией капли и взаимодействием возбужденных колебательных мод между собой и со стационарной деформацией капли.

В электрогидродинамической математической асимптотической процедуре рассчитан вектор нормали к возмущенной волновым движением поверхности капли, поверхностная плотность

индуцированного внешним электростатическим полем заряда, дипольный момент возмущенной сфероидальной капли, нелинейно осциллирующий во времени и генерирующий излучение дипольного типа, интенсивность которого оценена по известным соотношениям общей теории излучения.

Для типичных размеров внутриоблачных капель и напряженностей внешних электрических полей получено, что уединенная капля при возбуждении двух соседних колебательных мод (второй и третьей) излучает мощность ~2·10–30 эрг/с.

Показано, что интенсивность дипольного излучения, генерируемого нелинейными осцилляциями незаряженной капли во внешнем электростатическом поле, по порядку величины совпадает с интенсивностью дипольного излучения, найденного в расчетах первого порядка малости по ε [2].

Литература

1. Полуэктов, П.П. О возможном механизме радиоизлучения конвективных облаков / В.И. Калечиц, И.Е. Нахутин, П.П. Полуэктов // ДАН СССР. – 1982. – Т. 262. № 6. – С. 1344–1347.

2. Ширяева, С.О. Асимптотический расчет интенсивности дипольного электромагнитного излучения от осциллирующей в электростатическом поле незаряженной капли / С.О. Ширяева, А.И. Григорьев, Н.Ю. Колбнева // Электронная обработка материалов. – 2017. Т. 53. – №4. – С. 28–38.

УДК 631.37

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНОЙ ПОДАЧИ ЗЕРНА И ВРЕМЕНИ ЕГО ВЫГРУЗКИ ИЗ КОМБАЙНА

Д.т.н. Николаев В.А.
(ФГБОУ ВО Технический университет, Ярославль, Россия);
к.т.н. Кряклина И.В.
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, объемная подача зерна, время выгрузки, контактная сушилка, контактно-конвективная сушилка.

Для энергосбережения при сушке зерна предлагается осуществлять его предварительную сушку в самом зерноуборочном комбайне. В новой конструкции зерноуборочного комбайна представлены контактная и контактно-конвективная сушилка, через

которые проходит последовательно зерновая масса. Одной из задач исследования является определение объемной подачи зерна и времени его выгрузки из комбайна.

DETERMINATION OF VOLUME SUPPLY OF GRAIN AND TIME OF ITS UNLOADING FROM COMBINE

Doctor of Technical Sciences Nikolaev V.A.
(FSBEI HE Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia);
Candidate of Technical Sciences Kryaklina I.V.
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia)

Keywords: combine harvester, volume feed of grain, unloading time, contact dryer, contact-convective dryer.

For energy saving during grain drying it is proposed to perform its preliminary drying in the combine harvester itself. In the new design of the combine harvester, a contact and contact-convective dryer is presented, through which a grain mass passes sequentially. One of the tasks of the study is to determine the volume supply of grain and the time of its unloading from the combine.

Для выгрузки зерна из бункера зерноуборочного комбайна новой конструкции предложен пневматический способ [1]. Разработана последовательность операций, выполняемых комбайнером для осуществления выгрузки зерна из комбайна. Произведены расчеты для определения времени выгрузки.

Методика

При выгрузке зерна из комбайна шторка, установленная на делителе потока, перекрывает поток воздуха в контактно-конвективную сушилку, направляя его в трубу возврата (на рисунке 1 – положение «шторка выдвинута»).

При приближении транспортного средства механизатор переводит рычаг переключения режима выгрузки из положения «Полуавтоматическая» в положение «Подготовка». При этом блок управления комбайном:

– отключает нижний вентилятор;

– открывает поток рабочей жидкости в гидроцилиндры управления зернопроводом, и зернопровод, задний лоток, штанга датчика поднимаются из положения I в положение II (рисунок 1); при этом зернопровод поворачивает заслонку, которая перекрывает верхнюю часть трубы возврата и стыкуется с нижней частью трубы возврата;

– на емкостной датчик, установленный на конце штанги, подает электропитание.

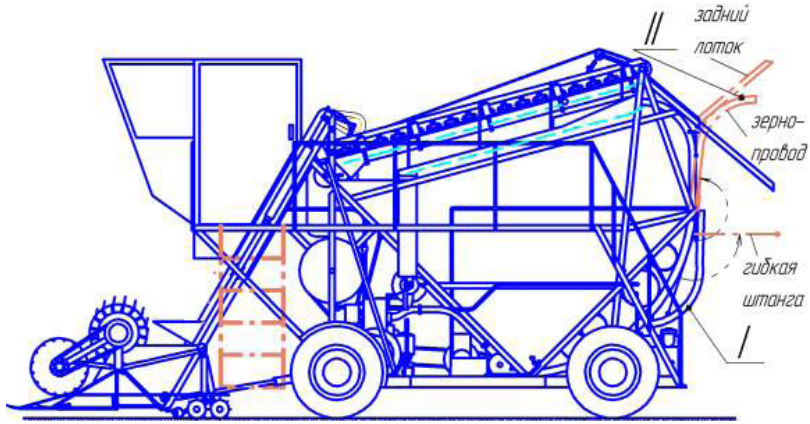

Рисунок 1 – Изменение положения зернопровода, заднего лотка и гибкой штанги при выгрузке зерна:
I – положение в режиме «работа»; II – положение в режиме «выгрузка»

Когда сзади подъедет транспортное средство, механизатор переводит рычаг переключения режима выгрузки из положения «Подготовка» в положение «Выгрузка», при этом блок управления комбайном включает нижний вентилятор. Если транспортное средство приблизится к комбайну на недопустимое расстояние, сработает емкостной датчик. Раздастся звуковой сигнал, тональность и громкость которого будут увеличиваться по мере сближения транспортного средства и комбайна. При этом рычаг переключения режима выгрузки из положения «Подготовка» в положение «Выгрузка» перевести невозможно.

Так как при выгрузке верхний датчик нажимного действия контактной сушилки заблокирован, то при понижении уровня зерна ниже датчика разгрузка контактной сушилки продолжится до полного ее опорожнения. Этим предотвращается перегрев зерна. Когда прекращается воздействие зерна на нижний датчик нажимного действия контактной сушилки, с некоторой задержкой на дисплее высвечивается надпись «Контактная сушилка пуста».

Когда начнется выгрузка зерна из контактно-конвективной сушилки в транспортное средство, подается напряжение на

электромагнит большой сыпи контактно-конвективной сушилки. Происходит выгрузка зерна из контактно-конвективной сушилки. При понижении уровня зерна до среднего датчика нажимного действия отключается разравнивающий транспортер и гаснет сигнализатор «разравнивающий транспортер».

Когда прекращается воздействие зерна на нижний датчик нажимного действия контактно-конвективной сушилки, с некоторой задержкой на дисплее высвечивается надпись «Контактно-конвективная сушилка пуста». Блок управления комбайном:

– отключает нижний вентилятор;

– открывает поток рабочей жидкости из полостей гидроцилиндров управления зернопроводом на слив в бак гидросистемы; зернопровод, задний лоток и штанга емкостного датчика опустятся в положение I;

– включает нижний вентилятор.

После этого механизатор переводит рычаг переключения режима выгрузки из положения «Выгрузка» в положение «Полуавтоматическая» или «Полуавтоматическая с задержкой».

Так как весь воздух от нижнего диаметрального вентилятора при выгрузке зерна направлен в трубу возврата, объемный расход воздуха, движущегося по трубе возврата и приводящего в движение зерно, равен производительности нижнего диаметрального вентилятора:

$$V_{тр\ в} = Q_{н\ в} = 1{,}92\ м^3/с..$$

Если оставить угловую скорость вала вентилятора неизменной, то скорость потока воздуха в трубе возврата при выгрузке зерна будет

$$v_{выг} = \frac{Q_{н\ в}}{S_{тр\ в}},, \qquad (1)$$

где площадь сечения трубы возврата $S_{тр\ в} = 0{,}08$ м².

$$v_{выг} = \frac{1{,}92}{0{,}08} = 24\ м/с..$$

Длина нижней части трубы возврата с зернопроводом из конструктивной компоновки $L_{тр\ в+зп} = 4{,}2\ м..$ Допустимая концентрация твердой фазы при пневматической транспортировке зерна [2] $\sigma = 0{,}1\frac{м^3}{м^3}$.

Тогда допустимый объем зерна, проходящего через трубу возврата при его выгрузке,

$$V_{з\,тр\,в} = \sigma V_{тр\,в};; \quad (2)$$

$$V_{з\,тр\,в} = 0{,}1 \cdot 1{,}92 \approx 0{,}19\ м^3/с;;$$

Допустимая масса зерна, поступающего за 1 секунду в трубу возврата,

$$m_{д\,з\,тр\,в} = \rho_з V_{з\,тр\,в},, \quad (3)$$

где плотность тритикале $1340\ кг/м^3$..

$$m_{д\,з\,тр\,в} = 1340 \cdot 0{,}19 \approx 255\ кг/с.$$

Сначала происходит выгрузка зерна из контактной сушилки. Общий объем зерна в контактной сушилке $V_{з\,к} \approx 0{,}18\ м^3$.. Если бы время выгрузки контактной сушилки ограничивала только допустимая концентрация твердой фазы при пневматической транспортировке зерна,

$$\tau_{к\,с} = \frac{V_{з\,к}}{V_{з\,тр\,в}};; \quad (4)$$

$$\tau_{к\,с} = \frac{0{,}18}{0{,}19} = 0{,}96\ с.$$

Затем происходит выгрузка зерна из контактно-конвективной сушилки. Общий объем зерна в контактно-конвективной сушилке из конструктивной компоновки комбайна $V_{з\,к-к} = 10\ м^3$.. Если бы время выгрузки контактно-конвективной сушилки ограничивала только допустимая концентрация твердой фазы при пневматической транспортировке зерна,

$$\tau_{к-к\,с} = \frac{V_{з\,к-к}}{V_{з\,тр\,в}};; \quad (5)$$

$$\tau_{к-к\,с} = \frac{10}{0{,}19} = 52{,}63\ с.$$

Однако время выгрузки из контактной сушилки ограничивает проходное сечение ее активной части и проходное сечение на выходе из нижней части контактной сушилки. Проходное сечение активной части контактной сушилки:

$$S_{пр\,к} = (n_{тр} + 1)S_з \cdot 10^{-6}, \quad (6)$$

где $n_{тр}$ – количество трубок в контактной сушилке;

$n_{тр} = 58$;$S_з$ – площадь сечения ABCDEFGH, в котором находится зерно;

$S_з = 1628\ мм^2$.

$$S_{пр\,к} = (58 + 1) \cdot 1628 \cdot 10^{-6} \approx 0{,}096\ м^2.$$

Проходное сечение на выходе из нижней части контактной сушилки $S_{тр\,в} = 2 \times 0{,}033 = 0{,}066\ м^2$. До начала выгрузки из контактной сушилки скорость зерна в ее активной части была равномерной: $v_{к\,с\,н} = 0{,}12\ м/с$, а в нижней части контактной сушилки скорость увеличивалась до $v_{к\,с} = 1{,}44\ м/с$. Поэтому проходное сечение на выходе из нижней части контактной сушилки обеспечит беспрепятственный выход зерна.

При выгрузке клапан контактной сушилки открывается полностью, не ограничивая поток зерна из нее. Поэтому поток зерна при выходе из контактной сушилки разгоняется от воздействия силы тяжести сначала в активной части, а затем в нижней части контактной сушилки. Зерновки, находившиеся до выгрузки около заслонки контактной сушилки, при выгрузке по-прежнему будут иметь скорость на выходе из нижней части $v_{к\,с} = 1{,}44\ м/с$, а время их перемещения от клапана до выхода из нижней части $\tau_{к\,с} = 0{,}638\ с$.

Зерновки, находившиеся до выгрузки на входе в контактную сушилку, при выгрузке на выходе из активной части контактной сушилки будут иметь скорость $v_{а\,к\,с}$. Так как силы, действующие на зерновку в активной части контактной сушилки, аналогичны силам, действующим на зерновку в нижней части контактной сушилки, ускорение зерновки в активной части контактной сушилки равно ускорению зерновки в нижней части контактной сушилки:. $a_{к\,с} = 2{,}07\ \frac{м}{с^2}$.

Составим систему уравнений, описывающих перемещение зерновок, находившиеся до выгрузки на входе в контактную сушилку, на основе известных зависимостей теоретической механики:

$$\begin{cases} v_{а\,к\,с} = v_{к\,с\,н} + a_{а\,к\,с}\tau_{а\,к\,с} \\ l_{акс} = v_{к\,с\,н}\tau_{а\,к\,с} + \frac{a_{а\,к\,с}\tau_{а\,к\,с}{}^2}{2}, \end{cases} \quad (7)$$

где $v_{ксн}$ – скорость зерна в активной части контактной сушилки до начала выгрузки;

$v_{ксн} = 0{,}12\ м/с$;$\tau_{акс}$ – время перемещения зерновки в активной части контактной сушилки;

$l_{акс}$ – длина активной части контактной сушилки, $l_{акс} = 1{,}9\ м$.

$$\begin{cases} v_{акс} = 0{,}12 + 2{,}07\tau_{акс} \\ 1{,}9 = 0{,}12\tau_{акс} + \frac{2{,}07{\tau_{акс}}^2}{2}. \end{cases}$$

Из второго уравнения вычислим время перемещения зерновки по активной части контактной сушилки:

$$\frac{2{,}07{\tau_{нкс}}^2}{2} + 0{,}12\tau_{нкс} = 1{,}9;$$

$$1{,}035{\tau_{нкс}}^2 + 0{,}12\tau_{нкс} - 1{,}9 = 0$$

$$\tau_{кс} = \frac{-0{,}12 \pm \sqrt{0{,}12^2 - 4 \cdot 1{,}035 \cdot (-1{,}9)}}{2 \cdot 1{,}035} = \frac{-0{,}12 \pm \sqrt{0{,}0144 + 7{,}866}}{2{,}07} = \frac{-0{,}12 \pm 2{,}81}{2{,}07}.$$

Время отрицательным быть не может, поэтому

$$\tau_{кс} = \frac{-0{,}12 + 2{,}81}{2{,}07} \approx 1{,}3\ с.$$

Из первого уравнения скорость зерна на выходе из активной части контактной сушилки $v_{акс} = 0{,}12 + 2{,}07 \cdot 1{,}3 = 2{,}8\ м/с$.

Так как при выгрузке клапан контактной сушилки открыт полностью, не ограничивая поток зерна из ее активной части, определим аналогично максимальное время перемещения зерновки по всей контактной сушилке и скорость зерна на выходе из контактной сушилки. Длина контактной сушилки 2,6 м, поэтому система уравнений (7) будет иметь вид:

$$\begin{cases} v_{кс} = 0{,}12 + 2{,}07\tau_{кс} \\ 2{,}6 = 0{,}12\tau_{кс} + \frac{2{,}07{\tau_{кс}}^2}{2}. \end{cases}$$

Из второго уравнения максимальное время перемещения зерновки по контактной сушилке: $\frac{2{,}07{\tau_{нкс}}^2}{2} + 0{,}12\tau_{нкс} = 2{,}6;$;

$$1{,}035{\tau_{нкс}}^2 + 0{,}12\tau_{нкс} - 2{,}6 = 0;$$

$$\tau_{кс} = \frac{-0{,}12 \pm \sqrt{0{,}12^2 - 4 \cdot 1{,}035 \cdot (-2{,}6)}}{2 \cdot 1{,}035} = \frac{-0{,}12 \pm \sqrt{0{,}0144 + 10{,}764}}{2{,}07} = \frac{-0{,}12 \pm 3{,}28}{2{,}07}.$$

Время отрицательным быть не может, поэтому время опорожнения контактной сушилки

$$\tau_{к\,с} = \frac{-0{,}12+3{,}28}{2{,}07} \approx 1{,}53\,с.$$

Учитывая задержку начала ускорения зерновок, находившихся до выгрузки на входе в контактную сушилку, примем время выгрузки зерна из контактной сушилки $\tau_{к\,с} = 2\,с$.

Из первого уравнения максимальная скорость зерна на выходе из активной части контактной сушилки

$$v_{к\,с} = 0{,}12 + 2{,}07 \cdot 1{,}53 = 3{,}28\,м/с.$$

Время выгрузки зерна из контактно-конвективной сушилки ограничивает проходное сечение ее выгрузного окна. Чтобы зерно не засыпало трубу возврата, проходное сечение выгрузного окна контактно-конвективной сушилки не может быть больше проходного сечения трубы возврата. Сечение трубы возврата $S_{тр\,в} = 2 \times 0{,}04 = 0{,}08\,м^2$. Примем их равными $S_{пр\,к-к} = S_{тр\,в}$, то есть толщину слоя зерна, проходящего через проходное сечение выгрузного окна контактно-конвективной сушилки $\delta_{пр\,к-к} = 0{,}04\,м$.

Объем зерна, выходящего в единицу времени из контактно-конвективной сушилки,

$$V_{пр\,к-к} = S_{пр\,к-к} v_{пр\,к-к}, \qquad (8)$$

где $S_{пр\,к-к}$ – проходное сечение выгрузного окна контактно-конвективной сушилки, $S_{пр\,к-к} = 0{,}08\ м^2$;

$v_{пр\,к-к}$ – скорость истечения зерна из контактно-конвективной сушилки.

Скорость истечения зерна из контактно-конвективной сушилки зависит от многих факторов: угла естественного откоса, степени засоренности зерна, его влажности и других факторов. Ее можно определить лишь экспериментальным путем. Для расчета примем $v_{пр\,к-к} = 0{,}5\,м/с$.

Тогда $V_{пр\,к-к} = 0{,}08 \cdot 0{,}5 = 0{,}04\,м^3/с$.

Объем зерна, выходящего в единицу времени из контактно-конвективной сушилки меньше допустимого объема зерна, проходящего через трубу возврата при его выгрузке: $V_{пр\,к-к} < V_{з\,тр\,в} = 0{,}19\,м^3/с$. Следовательно, труба воз-

врата обеспечит прохождение зерна из контактно-конвективной сушилки. Общий объем зерна в контактно-конвективной сушилке из конструктивной компоновки комбайна $V_{з\,к-к} = 10\,м^3$. Время выгрузки зерна из контактно-конвективной сушилки

$$\tau_{к-к\,с} = \frac{V_{з\,к-к}}{V_{пр\,к-к}};\ \tau_{к-к\,с} = \frac{10}{0{,}04} = 250\,с.$$

Общее время выгрузки зерна из комбайна

$$\tau_{к\,с+к-к\,с} = \tau_{к\,с} + \tau_{к-к\,с};\ \tau_{к\,с+к-к\,с} = 252\,с = 4{,}2\,мин.$$

Выводы

1. Для выгрузки зерна из бункера комбайна предложен пневматический способ. Произведены расчеты, в результате которых определено время выгрузки зерна из комбайна.

2. Время выгрузки зерна из нового зерноуборочного комбайна не превышает время выгрузки из зерноуборочного комбайна традиционной конструкции, в котором не предусмотрена предварительная сушка зерна.

Литература

1. Николаев В.А. Очистка зерна от примесей и его предварительная сушка: монография / В.А. Николаев, И.В. Кряклина. – Ярославль: Изд-во ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2017. – 212 с.

2. Муштаев В.И., Ульянов В.М., Тимонин А.С. Сушка в условиях пневмотранспорта / В.И. Муштаев, В.М. Ульянов, А.С. Тимонин. – М.: Химия, 1984. – 232 с.

УДК 638.382

СНИЖЕНИЕ АВАРИЙНОСТИ И ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПУТЕМ СИММЕТРИЧНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ

Д.т.н. Орлов П.С.; к.ф.-м.н. Морозов В.В.; к.п.н. Ананьин Г.Е.; аспирант Круду О.Н.
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: трехфазная система, трансформатор, несимметричная нагрузка.

В данной статье рассмотрены мероприятия по борьбе с несимметричной нагрузкой в электросетях. Предложено устрой-

ство для симметричного распределения однофазной нагрузки по фазам трехфазной системы.

REDUCTION OF ACCIDENTS AND ELECTRICAL INJURIES IN ELECTRICAL NETWORKS BY SYMMETRICAL LOAD DISTRIBUTION

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor Orlov P.S.;
Candidate of Physical and Mathematical Sciences Morozov V.V.;
Candidate of Pedagogical Sciences Ananjin G.E.;
Postgraduate Krudu O.N.
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia)

Keywords: three-phase system, transformer, unbalanced load.

This article discusses measures to combat asymmetric load in power grids. A device for symmetrical distribution of a single-phase load over the phases of a three-phase system is proposed.

Энергопотребление имеет ту особенность, что нельзя совершенно равномерно распределить однофазные (и не полнофазные) электроприемники по трем фазам четырехпроводной и пятипроводной систем. Также невозможно добиться равномерного графика потребления по фазам. Осветительная нагрузка предприятий при наличии электронного балласта люминесцентных ламп связана с высшими гармониками и импульсными нагрузками высокого напряжения (до 2 кВ). Поэтому всегда наблюдается неравномерная загрузка сети по фазам. Из-за этого искажаются фазные и линейные напряжения у потребителя и нарушается симметрия токов в фазных проводах, а в нулевом проводе (в нейтрали) появляется ток, равный геометрической (векторной) сумме фазных токов.

В случае асимметрии появляющийся ток в нулевом проводе вызывает падение напряжения ΔUN и смещение нейтрали, что приводит (при несимметричной нагрузке) к потерям фазного напряжения на участках сети. В большинстве случаев несимметричная нагрузка на присоединении приводит к искажению симметрии напряжений у всех потребителей этого присоединения. По мере приближения от потребителя с несимметричной нагрузкой к источнику неограниченной мощности искажения напряжения уменьшаются.

Отрицательное влияние подобного рода несимметричной нагрузки зависит от потребителей электрической энергии. Она ска-

зывается на потерях энергии и мощности в линии, которые как минимум вдвое больше потерь электроэнергии сравнительно с сетями, которые работают в симметричных режимах [1, 2]. Если отсутствует симметрия вторичных напряжений трансформаторов, это негативно сказывается на потребителях. Питание асинхронных электродвигателей несимметричными напряжениями ведет к появлению симметричных составляющих токов обратной последовательности, магнитный поток становится эллипсным и на валу машины появляется обратный крутящий момент. Это снижает вращающий момент на валу двигателя, возникает повышенный ток и перегрев машины. Если повышенным напряжением запита лампа накаливания, резко снижается срок ее службы, а также существенно уменьшается световой поток.

Бороться с асимметричностью нагрузки можно простым путем: созданием равномерного физического подключения нагрузки к фазам трехфазной сети, что именуется также симметричным распределением нагрузки по фазам (и до настоящего времени этот способ оставался практически единственным). Однако так нельзя обеспечить постоянную симметрию нагрузки сетей и силовых трансформаторов. Причина тому – как разная потребляемая мощность однофазных потребителей, так и несовпадение графиков их нагрузки по фазам во времени. Из-за этого снижается пропускная способность силовых сетей и трансформаторов, увеличиваются потери в сети (поскольку по нулевому проводу течет ток), падает надежность электроснабжения потребителей, так как в одной из фаз вследствие перегрузки может сработать защитное устройство. Чтобы обеспечить требуемое напряжение, традиционно используют стабилизаторы напряжения, которые ставят в каждую фазу сети.

Чтобы симметрично распределить нагрузку по фазам трехфазной сети, в Белоруссии было разработано особое симметрирующее устройство (рисунок 1). Оно представляет собою дополнительную обмотку, которая наматывается поверх фазных обмоток трансформатора Y/YH и включается в разрыв нулевого провода. Данная обмотка рассчитана на то, чтобы номинальный ток трансформатора мог протекать по ней долгое время. Также она включена так, что магнитные потоки F0K нулевой последовательности, которые она создает в магнитопроводе трансформатора, полностью компенсируют магнитные потоки нулевой последовательности F0P в рабочих обмотках трансформатора, направленные

противоположно. Тем самым предотвращается перекос фазных напряжений [3].

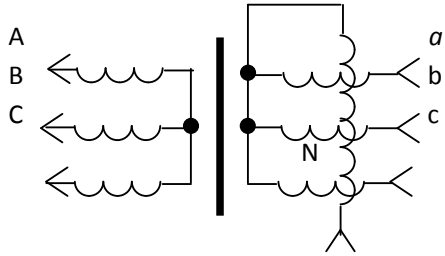

Рисунок 1 − Симметрирующее устройство

Однако это решение следует, по нашему мнению, признать полумерой. Действительно, при использовании данного устройства, как и трансформатора с обмотками, включенными по схеме зигзаг, всего лишь уменьшается генерирование магнитных потоков нулевой последовательности. Перекос фазных напряжений при этом несколько снижается, но асимметрия нагрузки остается.

Также есть устройство симметрирования неполнофазных режимов, созданное для линии 10 кВ и удаленных потребителей. При его использовании повышается надежность функционирования упомянутой линии, происходит восстановление неполнофазных режимов в случае выпадения одной фазы или при однофазном металлическом замыкании на землю, а нагрузка равномерно распределяется по фазам. Достоинством устройства является и то, что оно мобильно и автономно. Для эффективного функционирования в состав устройства включен токоограничивающий реактор, разрядники и преобразующий блок. Последний состоит из трехфазного выпрямителя, подключенного к трехпроводной сети через разрядники и токоограничивающий реактор. К выходам преобразующего блока подсоединен емкостной делитель, а параллельно с ним включен трехфазный пятиуровневый инвертор, с управляющими электродами, соединенными с блоком управления, который, в свою очередь, подключен через батарею к фотоэлектрическому преобразователю (рисунок 2).

Таким образом, мы видим, что даже лучшие из имеющихся на настоящий момент устройств для борьбы с влиянием несимметричной нагрузки не свободны от существенных недостатков. Поэтому авторы предлагают для повышения пропускной способности распределительных электрических сетей, надежности электроснабже-

ния и безопасности однофазных потребителей электрического тока использовать устройство для симметричного распределения однофазной нагрузки по фазам трехфазной системы.

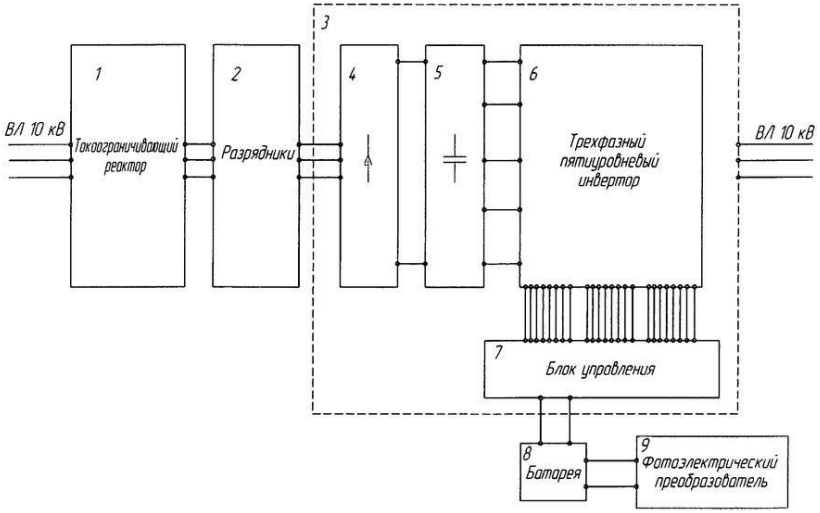

Рисунок 2 – Устройство симметрирования неполнофазных режимов

Данное устройство представляет собою трехфазный разделительный трансформатор потребителя, который может быть одно- или многообмоточным (последний ставится во вторичную цепь). Каждая из вторичных обмоток этого трансформатора снабжена независимыми от основной обмотки дополнительными витками, назначение которых –компенсировать падение напряжения на линии. Если трансформатор однообмоточный, для запитывания потребителей используется общая вторичная обмотка, если многообмоточный – индивидуальная. Как показано на рисунке 3, соединение катушек осуществляется последовательно, при этом любые две из них включаются согласованно, а третья – встречно. Это дает возможность для получении получить однофазного переменного напряжения, когда нагрузка по фазам трехфазной сети распределяется равномерно. Также обеспечивается абсолютная симметрия нагрузки линии и трансформатора подстанции независимо от того, отбирает однофазную нагрузку один или несколько потребителей, или все потребители одновременно потребляют различную мощность.

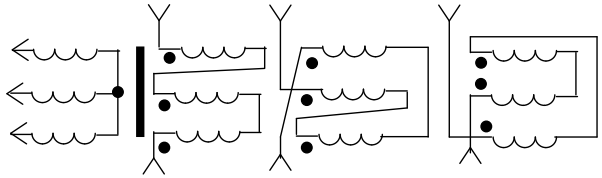

Рисунок 3 – Устройство для симметричного распределения однофазной нагрузки

При симметричной нагрузке линии и трансформатора подстанции возможно увеличение пропускной способности электрической сети при пиках нагрузки, исключение перегрузки фазы и предотвращение протекания тока по нулевому проводу. Благодаря этому возрастает надежность защитных мероприятий в целом, поскольку обеспечивает защиту сети от «отгорания» нулевого провода.

Дополнительные витки, которыми снабжена каждая из вторичных обмоток и которые независимы от основных обмоток, позволяют получить три ступени регулирования напряжения вверх и (если будет нужно) три ступени вниз, что способствует повышению качества электроснабжения.

Полное исключение гальванической связи между потребителями (поскольку каждый из них запитан от своей обмотки многообмоточного трансформатора) способствует росту качества и повышению безопасности электроснабжения.

Благодаря использованию разделительного трансформатора для питания потребителя обеспечивается гальваническая развязка от внешней мощной сети и повышается безопасность электроснабжения.

Перекос фаз исключается, так как нагрузка по фазам симметрична. Также у асинхронных машин не может возникнуть обратный крутящий момент.

Питание каждой однофазной обмотки осуществляется сразу от трех фаз, и поэтому угол сдвига тока по всем фазам оказывается одинаковым. Также снижаются расходы на счетчики электрической энергии и повышается точность ее учета.

Если же при использовании упомянутого устройства ток в нулевом проводе все-таки появляется, это является признаком аварийной ситуации. Либо же у потребителя имеется импульсная нагрузка, что вполне эквивалентно возникновению аварии.

Выводы

Предлагаемое устройство для симметричного распределения однофазной нагрузки по фазам трехфазной системы позволяет

«отрабатывать» изменения нагрузки трансформаторами без вмешательства сложных управляющих систем. Благодаря этому исключается оперативное вмешательство в работу энергосистемы и предотвращается возникновение несчастных случаев.

Литература

1. Косоухов, Ф.Д. Снижение потерь электроэнергии в сельских сетях 0,38 кВт при несимметричной нагрузке / Ф.Д. Косоухов, В.Ф. Петров, М.Ю. Теремецкий, Н.Ю. Криштопа // Техника в сельском хозяйстве. – 2013. – № 5. С.14–17.

2. Косоухов, Ф.Д. Симметрирование однофазных нагрузок в сельских электрических сетях / Ф.Д. Косоухов, А.О. Филиппов, Н.В. Васильев, Б.Н. Борошнин // Механизация и электрификация сельского хозяйства – 2013. –№ 2. – С. 9−3.

3. Сердешнов, А. Симметрирующее устройство для трансформаторов − средство стабилизации напряжения и снижения потерь в сетях 0,4 кВ / А. Сердешнов // Новости электротехники. – 2005. – № 3 (81) – С. 1−5.

4. Орлов П.С., Голдобина Л.А., В.С Шкрабак В.С., Казиловка Н.Р., Орлов С.П., Парамонов С.А., Челышев К.А. Устройство для симметричного распределения однофазной нагрузки по фазам трехфазной сети. Патент РФ № 2506676 H02J 3/00. Бюл. № 4. от 10.02.14.

УДК 658.264.621.482

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ В MASTERSCADA 4D ПО АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ УПРАВЛЕНИЮ ГЕОТЕРМАЛЬНЫМ ОТОПЛЕНИЕМ КОТТЕДЖЕЙ И УПРАВЛЕНИЕМ ДЕКОРАТИВНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ САДА

Доцент Адакин Р.Д., к.т.н. Соцкая И.М.,
обучающийся Хотько И.А.
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: тепловой насос, геотермальное управления, вентиляция, освещение, автоматизация.

Авторы предлагают разработанную комплексную программу АСУ (автоматизированная система управления) по автоматизированному одновременному управлению отоплением, вентиляцией и различными видами освещения на территории участка. Данный

подход позволит сократить расходы объединенной системы автоматизации данных систем по сравнению с существующей раздельной автоматизацией, за счет уменьшения числа контроллеров и числа обслуживающего персонала разрабатывающих программы для функционирования описанных систем. Программа имеет более согласованные алгоритмы управления, поскольку контроль температур идет по увеличенному числу датчиков температур как во всех комнатах так и каналах вентиляции. Поддержание заданной температуры теперь идет за счет одновременного, согласованного управления подачей тепла в комнаты и управление подогревом входящего воздуха в вентиляционной системе от одной системы ГВС (горячего водоснабжения). Новая программа позволяет наглядно посмотреть работу всех систем на любом компьютере по сети, в красиво оформленных программных окнах. В старом варианте, необходимо спуститься в подвал или котельную, для того чтобы посмотреть настройки на контроллерах, и по необходимости скорректировать, изменить параметры работы систем. Авторы статьи разработали данную программу и представляют ее описание в этой статье, а также на youtube канале автора.

DEVELOPMENT OF A PROGRAM IN MASTERSCADA 4D FOR AUTOMATED CONTROL OF GEOTHERMAL HEATING OF COTTAGES AND CONTROL OF DECORATIVE LIGHTING OF THE GARDEN

Docent Adakin R.D.;
Candidate of Technical Sciences Sotskaya I.M.;
student Chotko I.A.
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia)

Keywords: heat pump, geothermal control, ventilation, lighting, automation.

The authors propose a developed comprehensive automated control system (automated control system) program for automated simultaneous control of heating, ventilation and various types of lighting on the territory of the site. This approach will reduce the costs of the combined automation system of these systems in comparison with the existing separate automation, by reducing the number of controllers and the number of service personnel

developing programs for the operation of the described systems. The program has more consistent control algorithms, since temperature control is carried out by an increased number of temperature sensors in all rooms and ventilation channels. Maintaining the set temperature now comes at the expense of simultaneous, coordinated control of the heat supply to the rooms and control of the heating of the incoming air in the ventilation system from a single hot water system (hot water supply). The new program allows you to visually view the operation of all systems on any computer over the network, in beautifully designed program windows. In the old version, you need to go down to the basement or boiler room in order to view the settings on the controllers, and if necessary, adjust, change the parameters of the systems. The authors of the article have developed this program and present its description in this article, as well as on the author's YouTube channel.

Существуют системы геотермального отопления домов тепловым насосом [1–3], системы вентиляции, и системы освещения с автоматизированными процессами, но раздельно работающие друг от друга. Авторы программы предлагают объединить управление этих систем в одну АСУ. Это позволит сократить большую часть затрат связанных с большим числом контроллеров, панелей управления, заработной платы работников занимающихся написанием программного кода для этих систем. Соответственно необходимо разработать и написать программный код, который бы отвечал современным требованиям по безопасному и эффективному управлению исполнительными механизмами.

Данный проект рассчитан для загородных домов сельхоз работников, к которым не подведено центральное отопление (новострой), и не подведен газ, поэтому нет возможности отапливать помещения газом. Альтернативный вариант отопления – это геотермальный тепловой насос, который использует тепло земли для испарения фреона. Стоимость системы сопоставима со стоимостью подведения газа, а расходы на производство тепла у теплового насоса меньше, чем при потреблении газа для отопления домов.

Преимущества проекта:

Комплексное управление объектом, программа отвечающая современным требованиям, уменьшенное число контроллеров, сокращенные расходы на программирование систем, более четкое управление сосредоточенное на одном компьютере (нежели

разбросанные по подвальному помещению контроллеры в старой схеме), улучшенная взаимосвязь систем (теперь подогрев входящего воздуха работает по одним алгоритмам с обогревом дома тепловым насосом), что является более согласованной системой, добивающейся получение заданной температуры (уставки) более быстрыми методами. Базой для выполнения уставки является текущая температуры в доме (коттедже). В старой схеме измерение и контроль температуры производился несколькими датчиками в комнате, и система отопления не связывалась с системой подачи и нагрева воздуха в вентиляции. Для того чтобы посмотреть настройки контроллеров и изменить некоторые из них требовалось спуститься в подвал, или котельную комнату, что не очень удобно. На каждую систему установлен свой контроллер. Теперь в новой программе работу трех систем можно посмотреть на любом домашнем компьютере по сети. Для каждой системы разработано свое графическое окно, в котором можно выставлять настройки, производить управление. Программа анализирует массив температур с датчиков, которые установлены во всех комнатах и в вентиляционных каналах, и выполняет согласованные действия по управлению двух систем. Это обеспечивает коррекцию исполнительных механизмов для получения более комфортных температур с минимальным потреблением электроэнергии ими.

Рассмотрим работу программы. Система отопления теплового насоса имеет три контура. Первый контур большей частью зарыт под землю на глубину промерзания 1,8-2 м для получения тепла от земли. В среднем контуре происходит испарение фреона от тепла получаемого из земли через теплообменник от первого контура. Затем происходит сжатие газа компрессором, вследствие чего происходит повышение температуры до 55°С. Через следующий теплообменник происходит передача тепла на третий контур, теплоноситель которого направляется в дом для обогрева помещения. Через дроссель происходит падение давления фреона и он переходит в жидкое состояние. Описан один цикл работы теплового насоса.

В каждом контуре имеются насосы для перекачки теплоносителей. У насосов имеется возможность регулировать скорость в трех положениях. Изменение скоростей приведет к изменению скорости обмена теплом в контурах. Таким образом, построена программа регулирования тепла в доме SCADAсистемой, рисунок 1, в зависимости от значений полученных с датчиков температур.

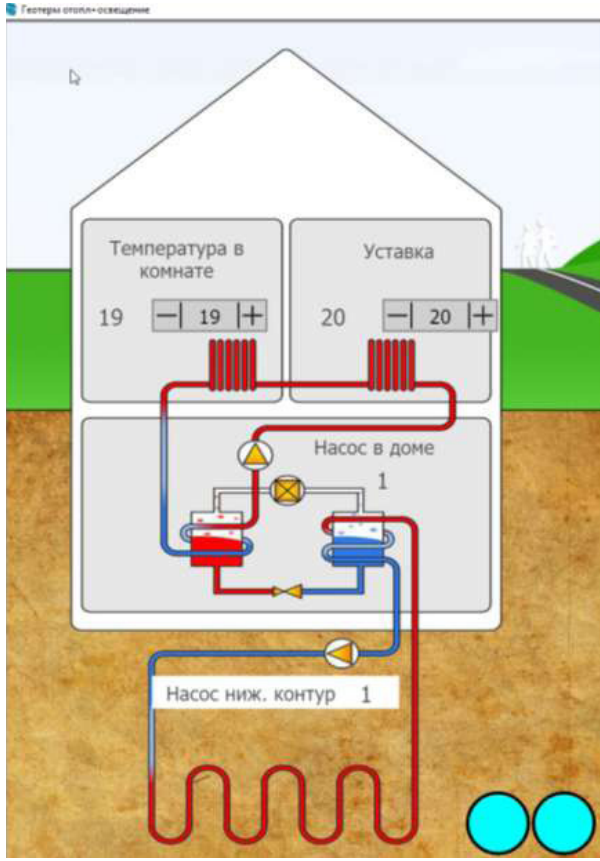

Рисунок 1 – Окно программы по регулированию тепла в доме

В программе пользователем задается уставка – требуемое значение температуры в доме, к которой необходимо стремиться АСУ. В зависимости от температуры в доме происходит управление через сервомоторы скоростями насосов, по прописанному алгоритму управления.

На рисунке 2 представлена система управления вентиляцией дома. Задача ее заключается в подогреве и очистке входящего воздуха, за счет частичного съема тепла с уходящего воздуха. В зимнее время подается горячая вода на теплообменник для подогрева входящего воздуха. Таким образом, система использует горячую воду от теплового насоса, организована работа двух систем.

Всеми системами управляет MasterSCADA 4D, установленная на компьютере. Авторы статьи написали алгоритмы управ-

ления для этой программы по управлению указанными системами.

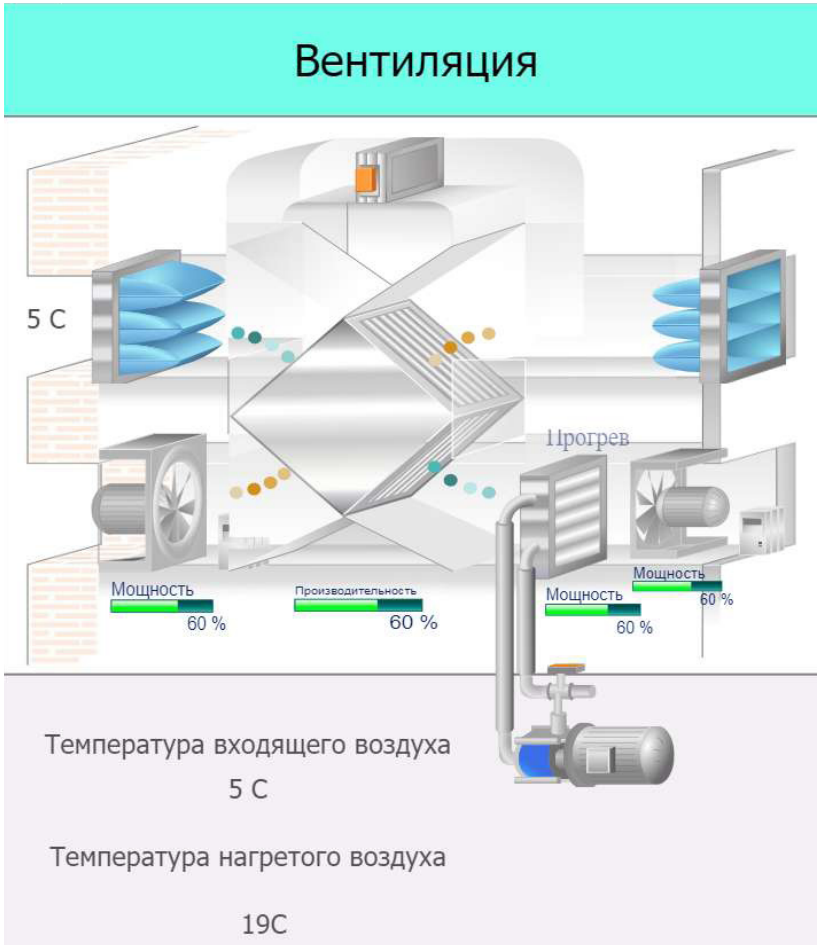

Рисунок 2 – Система вентиляции

Работа системы освещения показана на рисунке 3. В современном коттедже систем освещения несколько, и они разделяются на: функциональное освещение, декоративное освещение, маркировочное освещение и охранное (дежурное) освещение. В окне программы есть возможность включать и выключать системы освещения, а также имеется возможность посмотреть какая система в настоящее время включена.

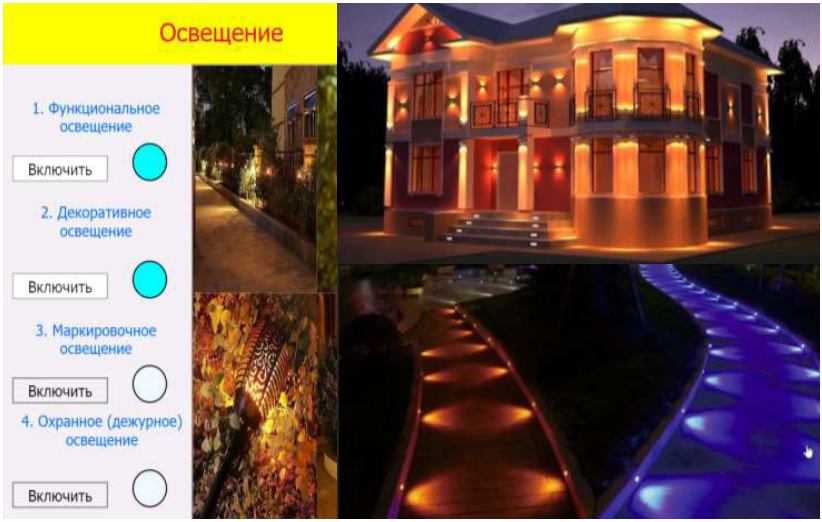

Рисунок 3 – Окно программы по управлению освещением и результат освещения на видеокамерах

Посмотреть работу программы можно на youtube канале автора [4].

Вывод

Была разработана программа по комплексному управлению трех систем: отоплением, вентиляцией и освещением загородного коттеджа. Программа отличается более согласованными методами управления для поддержания температуры в доме по сравнению с существующими отдельными системами управления, которые не были связаны друг с другом. Программа решает проблему создания благоприятных тепловых условий проживания сельхозработников в тех случаях, когда нет центрального отопления и не подведен газ.

Литература

1. Геотермальное отопление: принцип работы, плюсы и минусы, тонкости построения. – URL: https://stroy-podskazka.ru/otoplenie/geotermalnoe-otoplenie/. – Режим доступа: свободный (дата обращения: 19.12.2021).

2. Геотермальное отопление. – URL: https://m-strana.ru/articles/geotermalnoe-otoplenie/?utm_source = copy&utm_medium-=direct&utm_campaign = copy_from_site. – Режим доступа: свободный (дата обращения: 19.12.2021).

3. Подземное геотермальное отопление дома теплом земли. – URL: https://vse-otoplenie.ru/teplo-zemli-ispolzovanie-geotermalnoj-energii-dla-otoplenia-doma-ustanovka-sistemy-obogreva-svoimi-rukami. – Режим доступа: свободный (дата обращения: 19.12.2021).

4. Геотермальный обогрев дома. – URL: https://www.youtube.com/watch?v = 6r0tX4P9AJM. – Режим доступа: свободный (дата обращения: 19.12.2021).

УДК 636.08

ОБЗОР СТРУКТУРНЫХ СХЕМ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

К.т.н. Шешунова Е.В.; д.т.н., профессор Шмигель В.В.; к.т.н. Угловский А.С.
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: источники электропитания, источники электропитания высокого напряжения, стабилизатор напряжения, системы электроснабжения.

В состав средств вторичного электропитания РЭА входят система электропитания (СЭП) и источники электропитания. Система электропитания обеспечивает по заданной программе электропитанием все цепи комплексов РЭА, а источники электропитания – самостоятельные приборы или отдельные цепи комплексов РЭА.

Системы и источники электропитания содержат функциональные узлы, которые в зависимости от назначения выполняют функции выпрямления, стабилизации, защиты, коммутации, сигнализации, усиления и др.

В зависимости от качества выходного напряжения ИЭП разделяются на стабилизирующие и нестабилизирующие.

Стабилизирующие ИЭП обеспечивают постоянство выходного напряжения на заданном уровне при воздействии влияющих величин (изменении входного напряжения, выходного тока, температуры окружающей среды и др.) и имеют в своем составе стабилизатор напряжения – функциональный узел, осуществляющий стабилизацию выходного напряжения. В нестабилизирующих ИЭП отсутствует функциональный узел стабилизации напряжения.

По режиму работы стабилизирующие ИЭП разделяются на регулируемые и нерегулируемые. Регулируемый ИЭП – это такой источник, выходное напряжение которого может быть изменено в

процессе работы. Нерегулируемые ИЭП имеют постоянный, фиксированный уровень выходного напряжения с установочным допуском, нормирующим разность между номинальным и фактическим значениями выходного напряжения.

Воздействие выходного напряжения ИЭП на РЭА может происходить непрерывно на определенном (заранее установленном) уровне, при этом значение выходного напряжения не изменяется в процессе полезной работы РЭА. Такой режим работы регулируемых и нерегулируемых ИЭП целесообразно назвать режимом работы с постоянным выходным напряжением.

Для ряда устройств РЭА характерен режим работы, когда воздействие выходного напряжения ИЭП на РЭА является импульсным, т. е. выходное напряжение в процессе работы изменяется ступенями по заданной программе. При этом импульсная структура выходного напряжения составляет принципиальную основу полезных функций ИЭП. Источник с таким режимом работы можно определить как ИЭП с импульсным выходным напряжением.

С точки зрения схемотехнических принципов построения ИЭП целесообразно принять ранее предложенную классификацию [1] и разделить источники по значению выходного напряжения на следующие группы:

а) низковольтные ИЭП, уровень выходных напряжений которых не превышает 250 В;

б) источники электропитания с повышенным уровнем выходного напряжения (свыше 250 В до 1000 В);

в) источники электропитания с высоким уровнем выходного напряжения (свыше 1000 В), которые в дальнейшем будем называть высоковольтными источниками электропитания (ВИЭП).

Выходные мощности высоковольтных ИЭП находятся в диапазоне от нескольких единиц ватт до сотен киловатт, что определяет подход к методам их конструирования. Поэтому предлагается разделить ВИЭП по выходной мощности на четыре группы:

а) высоковольтные ИЭП с выходной мощностью до 5 Вт;

б) маломощные ВИЭП (свыше 5 до 50 Вт);

в) высоковольтные ИЭП средней мощности (свыше 50 до 500 Вт);

г) мощные ВИЭП (свыше 500 Вт).

Отдельную группу составляют ВИЭП с выходной мощностью 2,5... 100 кВт для питания мощных передающих устройств, ускоряющих электродов ионной оптики и т. п.

OVERVIEW OF HIGH VOLTAGE POWER SUPPLY STRUCTURAL DIAGRAMS

Candidate of Technical Sciences Sheshunova E.V.;
Doctor of Technical Sciences, Professor Shmigel V.V.;
Candidate of Technical Science Uglovskiy A.S.
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia)

Keywords: power supply sources, high voltage power supply sources, voltage stabilizer, power supply systems.

REA secondary power supply means include power supply system and power supply sources. According to the specified program, the power supply system provides electric power to all circuits of REA systems, and power sources – independent devices or separate circuits of REA systems.

Power supply systems and sources contain functional units, which, depending on the purpose, perform the functions of rectification, stabilization, protection, switching, signaling, amplification, etc.

Depending on the quality of output voltage, IEDs are divided into stabilizing and non-stabilizing.

Stabilizing IEDs ensure constant output voltage at a given level under the influence of influencing values (change of input voltage, output current, ambient temperature, etc.) and have a voltage stabilizer – a functional unit that stabilizes the output voltage. In non-stabilizing IEP there is no functional unit of stabilizer.

According to the mode of operation, stabilizing IEPs are divided into adjustable and unregulated. An adjustable IEP is such a source, the output voltage of which can be changed during operation. Unregulated IEDs have a constant, fixed level of the output voltage with a setting tolerance that normalizes the difference between the nominal and actual values of the output voltage.

The influence of the output voltage of the IEP on the CEA can occur continuously at a certain (pre-set) level, while the value of the output voltage does not change during the useful work of the CEA. It is advisable to call such a mode of operation of regulated and unregulated IEPs the mode of operation with a constant output voltage.

For a number of CEA devices, a mode of operation is characteristic when the effect of the output voltage of the IEP on the CEA is pulsed, that is, the output voltage during operation changes in steps according to a given program. In this case, the pulse structure of the output voltage is the fundamental basis of the useful functions of the

IEP. A source with such a mode of operation can be defined as an IEP with a pulsed output voltage.

From the point of view of the circuitry principles of constructing IEP, it is advisable to accept the previously proposed classification [1] and divide the sources according to the value of the output voltage into the following groups:

a) low-voltage IEP, the output voltage level of which does not exceed 250 V;

b) power supplies with increased output voltage (over 250 V to 1000 V);

c) power supplies with a high level of output voltage (over 1000 V), which in the future will be called high-voltage power supplies (HVPS).

The output powers of high-voltage IEPs are in the range from several units of watts to hundreds of kilowatts, which determines the approach to their design methods. Therefore, it is proposed to divide RES by output power into four groups:

a) high-voltage IEP with an output power of up to 5 W;

b) low-power RES (over 5 to 50 W);

c) high-voltage IEP of average power (over 50 to 500 W);

d) powerful RES (over 500 W).

A separate group is made up of RES with an output power of 2.5... 100 kW for powering powerful transmitting devices, accelerating electrodes of ion optics, etc.

Материалы и методы

Высоковольтные источники питания с постоянным выходным напряжением

Классификация стабилизирующих источников электропитания высокого напряжения

Как правило, ВИЭП содержит в своем составе высоковольтный выпрямитель, который через повышающий трансформатор подключен к источнику электроснабжения. Источником электроснабжения может служить сеть с напряжением переменного или постоянного тока. При источнике электроснабжения постоянного тока между этим источником и повышающим трансформатором устанавливается преобразователь напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока.

Стабилизирующие ВИЭП имеют в своем составе стабилизатор напряжения – функциональный узел, осуществляющий стабили-

зацию выходного напряжения. По способу стабилизации выходного напряжения стабилизирующие ВИЭП можно разбить на две основные группы [2] с параметрическими и компенсационными стабилизаторами напряжения.

При параметрическом способе стабилизации отсутствует цепь обратной связи и стабилизация осуществляется за счет использования нелинейных элементов, параметры которых автоматически изменяются при внешнем воздействии таким образом, что выходное напряжение остается неизменным. Нелинейный элемент может быть включен как со стороны высокого напряжения параллельно нагрузке, так и со стороны низкого напряжения источника электроснабжения. Так, подключение стабилитронов параллельно нагрузке через токоограничивающий резистор к высоковольтному выпрямителю позволяет стабилизировать выходное напряжение независимо от входного напряжения и тока нагрузки [3].

Включение нелинейного элемента со стороны системы электроснабжения позволяет значительно снизить рабочее напряжение на нем Примером выполнения параметрической стабилизации ВИЭП со стороны системы электроснабжения может служить встречно-последовательное соединение двух стабилитронов, включенных параллельно входной обмотке повышающего трансформатора. При этом значение выходного напряжения не зависит от значения входного напряжения, но зависит от тока нагрузки

Схемы параметрического способа стабилизации просты и надежны, но при этом невозможно осуществить плавную регулировку выходного напряжения и необходимую точность его установки. ВИЭП с параметрическим стабилизатором обычно применяется при выходных мощностях до единиц ватт, небольшом КПД и широких пределах допуска на установку выходного напряжения.

Компенсационные стабилизаторы напряжения позволяют плавно регулировать выходное напряжение ВИЭП, обеспечивают высокую точность установки и стабилизации выходного напряжения [2]. При компенсационном способе стабилизация осуществляется за счет воздействия изменения выходного напряжения на регулирующий элемент (РЭ) через узел обратной связи (УОС).

По месту включения РЭ при компенсационном способе стабилизации ВИЭП подразделяются на:

а) ВИЭП с включением РЭ на стороне высокого напряжения последовательно с нагрузкой (последовательные стабилизаторы

напряжения) и параллельно нагрузке (параллельные стабилизаторы напряжения);

б) ВИЭП с включением РЭ на стороне системы электроснабжения перед первичной обмоткой повышающего трансформатора.

По роду работы регулирующего элемента ВИЭП подразделяются на непрерывные и импульсные [2]. В непрерывных стабилизаторах напряжения РЭ работает в непрерывном режиме, причем его активное сопротивление плавно изменяется под воздействием влияющих величин.

В импульсных стабилизаторах РЭ работает в импульсном режиме, длительность и периодичность включения его изменяется под воздействием влияющих величин.

Результаты

На рисунке 1 показана структурная схема ВИЭП с последовательным стабилизатором, а на рисунке 2 – с параллельным стабилизатором напряжения, установленным на выходе высоковольтного выпрямителя ВВ, подключенного к выходной обмотке высоковольтного трансформатора ТВ, первичная обмотка которого подключена к системе электроснабжения. Выходное напряжение ВИЭП подается на вход узла сравнения УС узла обратной связи УОС, где оно сравнивается с напряжением источника опорного напряжения ИОН. Сигнал ошибки через усилитель постоянного тока УПТ подается в необходимой фазе на управляющий вход РЭ, изменяя его сопротивление таким образом, что напряжение на выходе ВИЭП поддерживается с заданной степенью точности. В параллельном стабилизаторе напряжения постоянство выходного напряжения достигается за счет изменения тока РЭ, протекающего через гасящнй резистор Rr (рисунок 2).

Высоковольтные ИЭП непрерывного действия с РЭ, включенным со стороны высокого напряжения, позволяют получить низкий коэффициент пульсаций выходных напряжений и низкое динамическое внутреннее сопротивление.

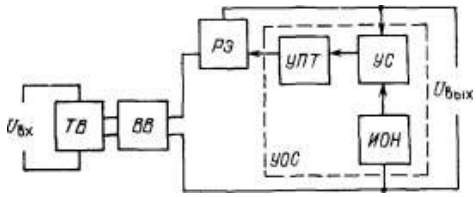

Рисунок 1 – Структурная схема последовательного стабилизатора напряжения, включенного со стороны высокого напряжения

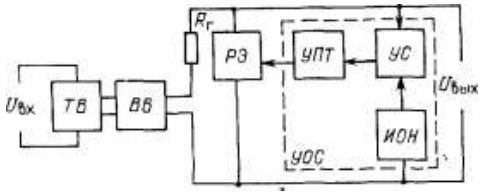

Рисунок 2 – Структурная схема параллельного стабилизатора напряжения, включенного со стороны высокого напряжения

Высоковольтные ИЭП непрерывного действия с РЭ, включенным со стороны высокого напряжения, позволяют получить низкий коэффициент пульсаций выходных напряжений и низкое динамическое внутреннее сопротивление.

На рисунке 3 приведена структурная схема ВИЭП с вольтдобавкой, в которой последовательно со стабилизатором напряжения включен нерегулируемый выпрямитель. В этой схеме стабилизатор рассчитывается на выходное напряжение с учетом возможного диапазона его изменения под воздействием влияющих величин. Вольтдобавка упрощает схему регулирования, но не уменьшает мощности рассеивания на регулирующем элементе. Качество выходного напряжения у этой схемы ниже по сравнению со схемами на рисунках 1 и 2.

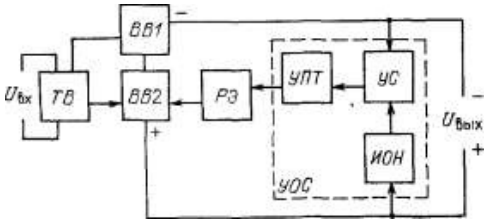

Рисунок 3 – Структурная схема стабилизатора напряжения с вольтдобавкой

В ВИЭП с включением РЭ на стороне системы электроснабжения максимальное рабочее напряжение на регулирующем элементе не зависит от значения выходного напряжения. Регулирующий элемент в таких схемах включается в цепь переменного тока со стороны первичной обмотки высоковольтного трансформатора (рисунок 4) и выполняется на дросселях насыщения или транзисторах.

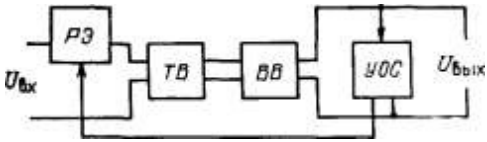

Рисунок 4 – Структурная схема стабилизатора напряжения с регулирующим элементом со стороны системы электроснабжения

Разновидностью ВИЭП с включением РЭ со стороны системы электроснабжения являются схемы, выполненные на базе регули-

руемых преобразователей напряжения ПН постоянного тока в напряжение переменного тока повышенной частоты (ВИЭП с ППЧ). При этом преобразователь напряжения может быть подключен к системе электроснабжения через развязывающий трансформатор ТР (рисунок 5) или непосредственно через сетевой выпрямитель ВС (рисунок 6) по схеме с бестрансформаторным входом.

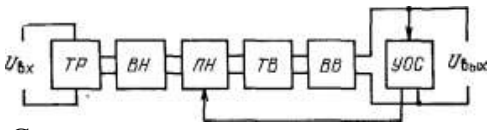

Рисунок 5 – Структурная схема высоковольтного источника электропитания с развязывающим выходным трансформатором

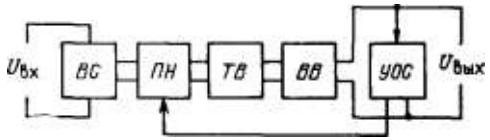

Рисунок 6 – Структурная схема высоковольтного источника электропитания с бестрансформаторным входом

В соответствии с вышеописанными способами построения ВИЭП составим их примерную классификацию (рисунок 7).

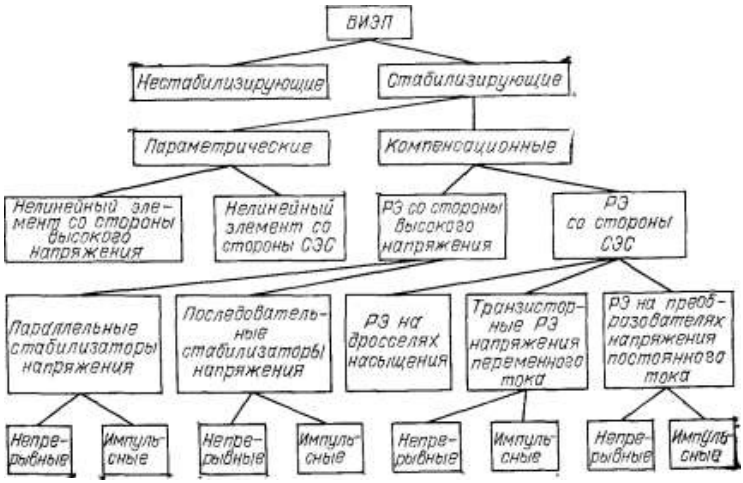

Рисунок 7 – Классификация источников электропитания высокого напряжения

Высоковольтные источники электропитания с непрерывными стабилизаторами напряжения

Высоковольтные источники электропитания с регулированием на стороне высокого напряжения

При высоком уровне выходного напряжения РЭ выполняется на электровакуумных приборах или транзисторах. Электровакуумные приборы в последнее время находят ограниченное применение в составе ИЭП высокого напряжения. Это объясняется известными недостатками этих приборов по сравнению с полупроводниковыми – ограниченным сроком службы; меньшей устойчивостью к механическим воздействиям; меньшей устойчивостью к действию проникающей радиации; большим тепловыделением; большими размерами и неоптимальной с точки зрения компоновки формой.

Следует также отметить, что ламповые выпрямители по сравнению с полупроводниковыми имеют большее прямое падение напряжения и ограничение по току эмиссии.

В настоящее время промышленностью освоен выпуск транзисторов с допустимым напряжением эмиттер-коллектор 1500 В и более, что позволяет разрабатывать стабилизирующие ВИЭП непрерывного действия с транзисторным РЭ, включенным со стороны высокого напряжения. Применение транзисторов в качестве РЭ позволяет резко повысить КПД, надежность и удельные характеристики по массе и объему по сравнению с ВИЭП, выполненными на электровакуумных приборах.

В ВИЭП с транзисторными РЭ обычно применяется последовательное соединение двух и более транзисторов. На рисунке 8 показана схема транзисторного РЭ с последовательным соединением нескольких транзисторов с делителем напряжения, включенным между входом и выходом. На вход управляющего транзистора VT_y поступает сигнал управления от узла обратной связи УОС, а на остальные транзисторы (VT_1...VT_n) поступает сигнал с резистивного делителя напряжения R...Rn. Резисторы выбираются из условия, чтобы протекающий через них ток превышал ток базы любого из последовательно включенных составных транзисторов более чем в 5 раз. При соответствующем выборе резисторов добиваются равномерного распределения напряжения между последовательно включенными транзисторами. Данная схема позволяет уменьшить напряжение и рассеиваемую мощность на каждом транзисторе, однако она не позволяет построить стабилизатор напряжения с широкими пределами регулирования вы-

ходного напряжения, так как пределы регулирования ограничены допустимым напряжением одного транзистора.

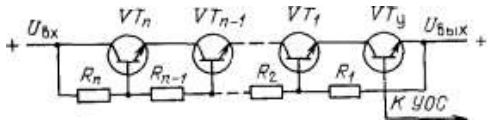

Рисунок 8 – Последовательное соединение регулирующих транзисторов с резистивным делителем напряжения, включенным между входом и выходом стабилизатора напряжения

На рисунке 9 и 10 показаны РЭ с последовательным включением транзисторов и делителем напряжения, включенным параллельно входным выводам, позволяющие разрабатывать стабилизирующие ВИЭП с широким диапазоном регулирования выходного напряжения. На рисунке 1.9 приведена схема с включением силового перехода управляющего транзистора $VT_у$ последовательно с управляющими транзисторами $VT_1...VT_n$ с резистивным делителем напряжения, а на рисунке 1.10 – схема с включением силового перехода управляющего транзистора $VT_у$ в цепь делителя напряжения, выполненного на стабилитронах $VD_2...VD_n$.

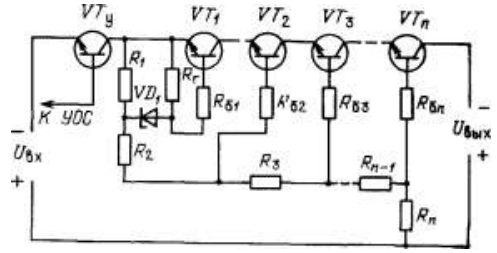

Рисунок 9 – Последовательное соединение регулирующих транзисторов с резистивным делителем напряжения

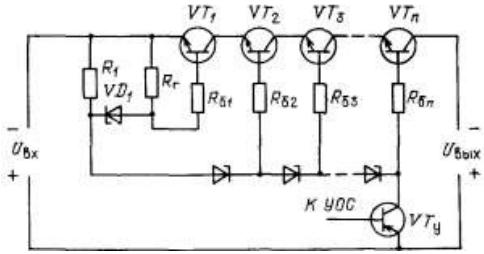

Рисунок 10 – Последовательное соединение регулирующих транзисторов с делителем напряжения на стабилитронах, включенных параллельно входным выводам, и управляющим транзистором в цепи делителя напряжения

Высоковольтные источники электропитания с регулированием на стороне системы электроснабжения

Включение РЭ на стороне системы электроснабжения позволяет выполнить его таким образом, что рабочее напряжение на нем не зависит от значения выходного напряжения и определяется напряжением системы электроснабжения. В качестве РЭ могут быть использованы тиристоры, дроссели насыщения и транзисторы.

К недостаткам стабилизаторов, использующих в качестве РЭ тиристоры и дроссели насыщения, можно отнести громоздкость фильтра, сложность получения малых пульсаций и значительные искажения формы тока в системе электроснабжения, импульсные помехи и большое динамическое внутреннее сопротивление. Благодаря усеченной форме синусоидального напряжения на первичной обмотке трансформатора транзисторные РЭ обеспечивают лучшее сглаживание пульсаций, а благодаря малой инерционности цепи обратной связи – частичную компенсацию всплесков и провалов выходного напряжения при одиночных сбросах и набросах тока нагрузки

Транзисторные РЭ, включенные на стороне системы электроснабжения, можно разбить на две группы: одно- и трехфазные.

На рисунке 11а приведена схема однофазного РЭ, который включен со стороны системы электроснабжения и имеет в своем составе транзистор VT_1 и коммутирующий диодный мост $VD_1 \ldots VD_4$. Одна диагональ моста включена между системой электроснабжения и входным выводом трансформатора, во вторую диагональ включен транзистор. Коммутация переменного тока по мостовой схеме позволяет обеспечить протекание тока через силовой транзистор в одном направлении и прохождение через трансформатор двух полуволн переменного тока.

На рисунке 11б показана однофазная двухтактная схема РЭ, который содержит транзисторы VT_1 и VT_2, включенные по встречно-последовательной схеме и зашунтированные в непроводящем направлении диодами VD_1 и VD_2. Одна полуволна переменного тока протекает через нагрузку и диод VD_2 и транзистор VT_1, другая полуволна – через диод VD_1 и транзистор VT_2. При изменениях полярности обратное напряжение не прикладывается к транзисторам, так как они в этот момент зашунтированы диодами.

Схемы включения РЭ в трехфазных системах электроснабжения подобны однофазным и приведены на рисунке 12. В схеме на рисунке 12а регулирование осуществляется одним транзистором VT_1 включенным в диагональ постоянного тока трехфазного диодного коммутирующего моста $VD_1 \ldots VD_6$. В схеме на рисунке

12 б регулирование осуществляется тремя регулирующими транзисторами VT_1...VT_3, шунтированными обратными коммутирующими диодами VD_1…VD_1.

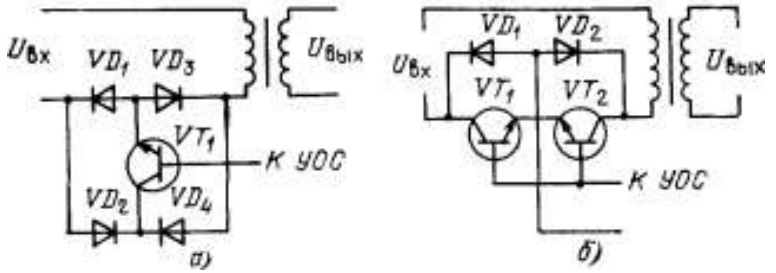

Рисунок 11 – Схемы включения транзисторов и коммутирующих диодов в регулирующих элементах, работающих в однофазных цепях переменного тока системы электроснабжения

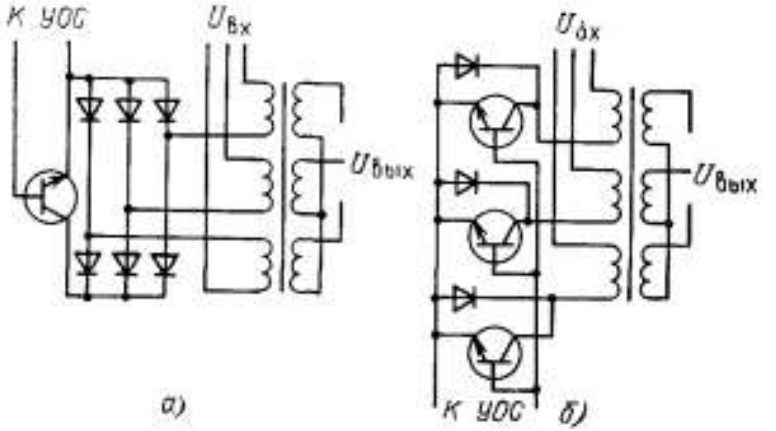

Рисунок 12 – Схемы включения транзисторов и коммутирующих диодов в регулирующих элементах, работающих в трехфазных цепях переменного тока системы электроснабжения

Высоковольтные источники электропитания с промежуточным преобразованием частоты

Особенности построения высоковольтных источников электропитания с промежуточным преобразованием частоты

Обобщенные структурные схемы ВИЭП с ППЧ приведены на рисунках 5 и 6. Они содержат источник постоянного напряжения,

подключенный к входу преобразователя напряжения – инвертора, преобразующего напряжение постоянного тока в напряжение переменного тока повышенной частоты путем периодического прерывания цепи питания нагрузки. Нагрузка подключается к инвертору через повышающий высоковольтный трансформатор ТВ и высоковольтный выпрямитель ВВ. В качестве прерывателя напряжения используются полупроводниковые управляемые ключи (транзисторы, тиристоры и др.). Инвертор подключается к системе электроснабжения непосредственно (к сети постоянного тока), а также через развязывающий трансформатор с низковольтным выпрямителем или через сетевой выпрямитель (ВИЭП с бестрансформаторным входом (к сети переменного тока).

Высоковольтные ИЭП с ППЧ обладают лучшими энергетическими и массогабаритными показателями по сравнению с другими типами ВИЭП, но создают существенно больший уровень электромагнитных помех на входе и выходе и являются системой, генерирующей и передающей помехи в обе стороны. Поэтому исследование помех является задачей комплексной, включающей исследование параметров сетей электроснабжения, нагрузки и собственно ВИЭП [4].

Источники высокого напряжения широко применяются в следующих областях:

– рентгеновская аппаратура для медицины, исследовательских и промышленных целей, для контроля

металлоконструкций и безопасности;

– радиопередающая и радиолокационная аппаратура для гражданских и военных целей;

– лазеры для медицины, промышленности, военного оборудования;

Впервые умножители напряжения понадобились физикам для создания ускоряющего напряжения 800 кВ, для проверки гипотезы, что столкновение ускоренных ионов водорода с мишенью способно на практике генерировать мягкое рентгеновское излучение. Многозвенная схема выпрямления Коккрофта-Уолтона (Walton-Cockcrofl), или схема умножителя напряжения (рисунок 13), могла быть продолжена до бесконечности, при этом каждая ступень теоретически добавляла к выходному напряжению величину, равную $\sqrt{}_{2\,V\,м\,(RMS)}$ однако стабилизация выходного напряжения оставляла желать лучшего. Каждый диод должен был иметь рабочее напряжение, превышающее значение $\sqrt{}_{2\,V\,м\,(RMS)}$. К сожалению,

все конденсаторы, за исключением самого нижнего, должны иметь рабочие напряжения, превышающие значение $2\sqrt{2}\,V_{м\,(RMS)}$. Дополнительно к этому существует еще одна проблема: так как последующие конденсаторы заряжаются переключением выпрямителя, что приводит к частичному разряду самого нижнего конденсатора, то величина емкости этого конденсатора должна быть увеличена, чтобы компенсировать падение напряжения [5].

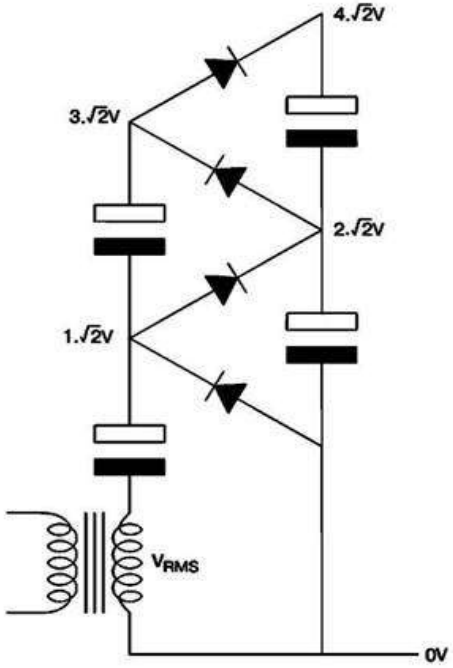

Рисунок 13 – Схема умножителя напряжения

Несмотря на то, что умножители напряжения были разработаны для получения сверхвысоких напряжений, они могут с успехом использоваться, например, для создания отрицательного смещения на сетках, а, например, в схеме стереофонического усилителя мощности Roger кадетского с номинальной мощностью 6 Вт используется схема удвоителя напряжения для получения основного высоковольтного напряжения. Существует два основных варианта схемы выпрямления с удвоением напряжения, показанных на рисунке 14.

Стандартная схема удвоителя напряжения представляет усеченный вариант схемы лестничного типа Коккрофта-Уолтона (ри-

сунок 13). Она может подключаться параллельно к самой обычной схеме выпрямителя с трансформатором, имеющим отвод от средней точки, и позволяет получить дополнительное (более высокое по значению) высоковольтное напряжение, например, для поляризации специализированного высокочастотного электростатического громкоговорителя [6].

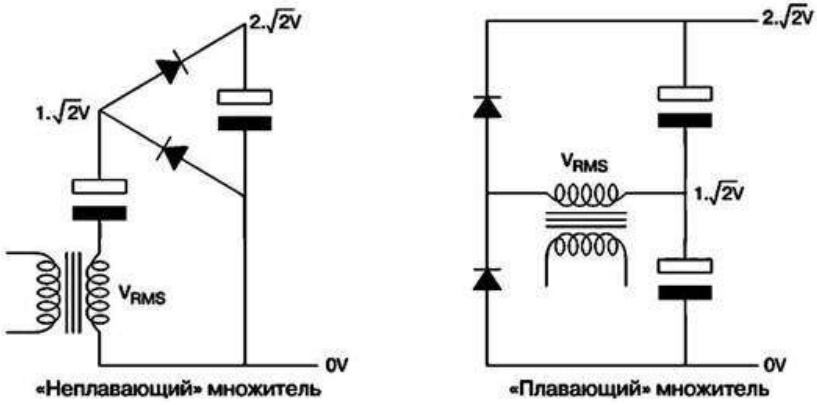

Рисунок 14 – Разновидности выпрямителей
с удвоением напряжения

Вывод

Преимущество так называемого «плавающего» удвоителя напряжения заключается в том, что в схеме используются два совершенно идентичных конденсатора, номинальное напряжение которых рассчитано на половину выходного напряжения, однако, рабочие напряжения диодов должны иметь значения, превышающие $2\sqrt{2}\,V_{м\,(RMS)}$. Так как каждый из конденсаторов заряжается попеременно только в течение одного полупериода, напряжение пульсаций вдвое превышает значение соответствующего выпрямленного напряжения. Так как напряжения пульсаций двух конденсаторов оказываются включенными последовательно, происходит суммирование и удвоение напряжений пульсаций. Таким образом, для данного значения напряжения пульсаций, в плавающей схеме удвоения напряжения необходимо, чтобы каждый из конденсаторов имел вчетверо большее значение емкости по сравнению со стандартной схемой двухполупериодного выпрямления.

Литература

1. Солодов, В.С. Электроника и схемотехника: учебное пособие: в 2 частях / В.С. Солодов, А.А. Маслов, А.В. Кайченов. – Мурманск: МГТУ, 2017. – Часть 2. – 2017. – 224 с.

2. Солодов, В.С. Электроника и схемотехника: учебное пособие: в 2 частях / В.С. Солодов, А.А. Маслов, А.В. Кайченов. – Мурманск: МГТУ, 2017. – Часть 1. – 2017. – 220 с.

3. Быков, С.В. Источники питания: учебное пособие / С.В. Быков, М.М. Бабичев, А.А. Аравенков. – Новосибирск: НГТУ, 2019. – 94 с. 4.

4. Тюрин, С. Ф. Схемотехника: учебное пособие / С. Ф. Тюрин. – Пермь: ПНИПУ, 2017. – 170 с. – ISBN 978-5-398-01702-1. – Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/160716 (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Борисов, П.А. Расчет и моделирование выпрямителей. Элементы систем автоматики: учебное пособие / П.А. Борисов, В.С. Томасов. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, [б. г.]. – Часть I. – 2009. – 169 с.

6. Шрайбер, Г. 300 схем источников питания. Выпрямители. Импульсные источники питания / Г. Шрайбер // Линейные стабилизаторы и преобразователи: сборник. – Москва: ДМК Пресс, 2008. – 224 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Ананьин Г.Е. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Перспективы развития рельсового электротранспорта (на примере г. Ярославля) 3
Балашов А.В., Пустоваров Н.Ю. (ФГБНУ ВНИИТиН, Тамбов, Россия) Стендовые исследования высевающего аппарата с электрическим приводом..... 8
Бобровский С.О., Багаев А.А., Куницын Р.А. (ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, Барнаул, Россия) Предпосылки применения высокочастотных индукционных установок для термической обработки молочного сырья 13
Грищенко Д.Н., Богдан А.В., Лозовский В.В. (ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ, Краснодар, Россия) Социальная инженерия и надежность энергосистемы 17
Колбнева Н.Ю. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, ФГБОУ ВО ЯрГУ им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия) Асимптотический анализ дипольного излучения незаряженной сфероидальной капли, нелинейно осциллирующей в электростатическом поле 19
Николаев В.А. (ФГБОУ ВО Технический университет, Ярославль, Россия), ***Кряклина И.В.*** (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Определение объемной подачи зерна и времени его выгрузки из комбайна ... 23
Орлов П.С., Морозов В.В., Ананьин Г.Е., Круду О.Н. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Снижение аварийности и электротравматизма в электрических сетях путем симметричного распределения нагрузки 31
Адакин Р.Д., Соцкая И.М., Хотько И.А. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Разработка программы в MASTERSCADA 4D по автоматизированному управлению геотермальным отоплением коттеджей и управлением декоративным освещением сада..... 37
Шешунова Е.В., Шмигель В.В., Угловский А.С. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Обзор структурных схем высоковольтных источников питания 44

Научное издание

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сборник научных трудов по материалам Национальной научно-практической конференции

Ярославль, 18 ноября 2021 г.

Текстовое электронное издание

Статьи публикуются в авторской редакции.
Авторы несут ответственность за содержание публикаций.

Подписано к использованию 11.02.2022 г.
Объем издания 4,44 Мб, 1 электрон. опт. диск.
Минимальные системные требования: процессор Intel Pentium 1,3 ГГц и выше; оперативная память 256 Мб и более; операционная система Microsoft Windows XP/Vista/7/10; разрешение экрана 1024x768 и выше; привод CD-ROM, мышь; дополнительные программные средства: Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше.

Издательство ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА.
150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58.
http://www.yaragrovuz.ru/