

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИЖЕВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ АПК

Материалы Национальной научно-практической конференции,
посвященной 100-летию плана ГОЭРЛО

*3–4 декабря 2020 года
г. Ижевск*

Ижевск
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА
2021

УДК 631.371:621.311.1(06)

ББК 40.76я43

А 43

А 43 **Актуальные** вопросы энергетики АПК: материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 100-летию плана ГОЭРЛО, 3–4 декабря 2020 г., г. Ижевск. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2021. – 100 с.

ISBN 978-5-9620-0377-1

В сборнике представлены материалы конференции, отражающие результаты научных исследований в области энергетики агропромышленного комплекса.

Сборник предназначен для специалистов АПК, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений сельскохозяйственного профиля.

ISBN 978-5-9620-0377-1

УДК 631.371:621.311.1(06)

ББК 40.76я43

© ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2021

© Авторы статей, 2021

Л. П. Артамонова, О. Г. Долговых
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ХАРАКТЕРИСТИКА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ МОУ МАЛОПУРГИНСКОГО РАЙОНА УР

Ежегодно на объекты бюджетной сферы расходуется около 40 млн т.у.т. или около 4 % потребляемой энергии. На организации бюджетной сферы приходится около 15 % вырабатываемой в стране электроэнергии и около 30 % тепловой энергии. На региональном и муниципальном уровнях основными бюджетными потребителями являются объекты образования и здравоохранения. Доля энергетических затрат в общей структуре эксплуатационных затрат бюджетных организаций с каждым годом увеличивается. Единственный путь к изменению этой тенденции в условиях постоянного роста тарифов – экономное расходование энергоресурсов.

Представлены результаты исследования энергопотребления муниципальных образовательных учреждений, которое мы провели на примере средних образовательных школ Малопургинского района Удмуртской Республики.

МОУ являются активными потребителями энергетических ресурсов. Затраты на оплату энергоресурсов составляют большую долю в общей структуре затрат на содержание школы. Часто эти затраты бывают завышены в результате неэффективного использования ресурсов.

Для поддержания комфортных условий при нахождении в учреждениях используется тепловая энергия для нужд отопления, электроэнергия на освещение и на другое электрооборудование, вода на хозяйственно-бытовые нужды. Нами исследовалось потребление тепловой энергии за период 2018–2019 календарные годы.

Затраты на тепловую энергию, учитывая климат района, являются одной из наиболее весомых статей затрат на энергоресурсы. Тепловая энергия расходуется на обогрев помещений, на подогрев свежего воздуха, подаваемого в помещения (то есть на вентиляцию), а также на приготовление горячей воды [1]. Теплоснабжение школ в основном осуществляется централизованно от котельных муниципальных образований.

Ниже, в таблице 1, приведены данные по потреблению средними школами тепловой энергии в натуральном выражении и финансовые затраты на оплату пользования этой энергией.

Таблица 1 – Объем потребления тепловой энергии

Наименование учреждения	Объем потребления тепловой энергии				Отклонение	
	2018 г.		2019г.		ГКал	Руб.
	ГКал	Руб.	ГКал	Руб.		
МОУ СОШ д. Старая Монья	430,35	804 030	384,810	737 349,57	45,540	66 680,43
МОУ СОШ с. Бураново	444,34	814 240	391,097	719 476,20	53,243	94 763,8
МОУ СОШ с. Ильинское	429,68	802 160	386,983	741 503,01	42,697	60 656,99
МОУ СОШ с. Норья	343,46	564 920	325,819	628 271,43	17,641	-63 351,4
МОУ СОШ с. Пугачево	396,56	666 160	504,952	1 267 399,25	-108,392	-601 239
МОУ СОШ с. Среднее Кечево	335,35	613 890	252,082	461 987,09	83,268	151 902,9
МОУ СОШ с. Уром	549,9	1 026 640	472,080	904 435,45	77,820	122 204,6
МОУ СОШ с. Яган	172,86	295 250	225,105	393 245,65	-52,245	-97 995,7
МОУ СОШ с. Яган-Докия	444,34	812 520	487,064	892 227,32	-42,724	-79 707,3
МОУ СОШ № 1, с. М.Пурга	531,89	902 770	482,171	842 219,96	49,719	60 550,04
Гимназия, с. М.Пурга	665,78	1 131 070	627,823	1 096 434,34	37,957	34 635,66

В большинстве школ в 2019 г. наблюдается снижение потребления тепловой энергии в физическом выражении в сравнении с 2018 г. Причина тому – более мягкая погода. Средняя температура отопительного периода 2018 г. составляла -3 °С, тогда как в 2019 г. – -1,9 °С. Однако, несмотря на это, в трех школах объемы потребления выросли, причем в СОШ с. Пугачево этот рост составил 28 %.

За рассматриваемый период значительного роста тарифов на отпуск тепловой энергии для большинства школ не произошло, исключения составляют только школы сел Норья и Пугачево. В школе с. Пугачево этот рост составил 49 %, что можно увидеть из таблицы 2.

На данный момент пока не выяснены причины резкого повышения тарифов для вышеуказанных школ.

Таблица 2 – Тарифы на тепловую энергию, руб.

Наименование учреждения	2018 г	2019г	Повышение на
МОУ СОШ д. Старая Монья	1868,32	1916,14	47,92
МОУ СОШ с. Бураново	1832,47	1839,64	7,17
МОУ СОШ с. Ильинское	1866,88	1916,11	49,23
МОУ СОШ с. Норья	1644,79	1928,28	283,49
МОУ СОШ с. Пугачево	1679,85	2509,94	830,09
МОУ СОШ с. Среднее Кечево	1830,59	1832,69	2,1
МОУ СОШ с. Уром	1866,96	1915,85	48,89
МОУ СОШ с. Яган	1708,03	1746,94	38,91
МОУ СОШ с.Яган-Докья	1828,6	1831,85	3,25
МОУ СОШ № 1, с. М.Пурга	1697,29	1746,72	49,43
Гимназия, с. М.Пурга	1698,86	1746,40	47,54

Несмотря на то, что суммы денежных затрат на энергоресурсы, показанные в таблице 1, имеют большие значения, они не соответствуют тем, которые бы имели место, если бы снабжение теплотой соответствовало нормативному расходованию тепловой энергии на отопление помещений школ.

Норматив обеспечения теплотой такого рода помещений, как школы, для нашей зоны составляет 0,00089 Гкал/м² в сутки, если сравнить его с фактическими значениями по рассматриваемым школам, то обнаружим, что практически во всех школах значение фактического показателя ниже нормативного (табл. 3). А это значит, что тепловой энергии фактически потребляется меньше, чем это требуется для поддержания температурных, необходимых для комфортного образовательного процесса условий, утвержденных санитарными нормами СанПиН 2.4.2.576-96. То есть имеет место «недотоп».

Таблица 3 – Удельные характеристики потребления тепловой энергии

Наименование учреждения	2018 г.		2019 г.	
	Фактическое потребление теплоты в сутки на 1 м ² площади, Гкал/м ²	Отклонение фактического значения от нормативного, Гкал/м ²	Фактическое потребление теплоты в сутки на 1 м ² площади, Гкал/м ²	Отклонение фактического значения от нормативного, Гкал/м ²
МОУ СОШ д.Старая Монья	0,000622	-0,000268	0,000553	-0,000337
МОУ СОШ с. Бураново	0,000606	-0,000284	0,000531	-0,000359
МОУ СОШ с. Ильинское	0,000575	-0,000315	0,000516	-0,000374
МОУ СОШ с. Норья	0,000441	-0,000449	0,000417	-0,000473

Наименование учреждения	2018 г.		2019 г.	
	Фактическое потребление теплоты в сутки на 1 м ² площади, Гкал/м ²	Отклонение фактического значения от нормативного, Гкал/м ²	Фактическое потребление теплоты в сутки на 1 м ² площади, Гкал/м ²	Отклонение фактического значения от нормативного, Гкал/м ²
МОУ СОШ с. Пугачево	0,00055	-0,000340	0,000697	-0,000193
МОУ СОШ с. Ср. Кечево	0,000484	-0,000406	0,000362	-0,000528
МОУ СОШ с. Уром	0,000598	-0,000292	0,000511	-0,000379
МОУ СОШ с. Яган	0,000612	-0,000278	0,000793	-0,000097
МОУ СОШ с. Яган-Докья	0,000595	-0,000295	0,00065	-0,000240
МОУ СОШ № 1 с. М.Пурга	0,000934	0,000044	0,000843	-0,000047
Гимназия с. М.Пурга	0,000563	-0,000327	0,000529	-0,000361

Следовательно, если бы школы получали тепловую энергию в соответствии с установленными нормами, финансовые затраты в некоторых школах возросли бы практически в 2 раза. То есть на данный момент экономия денежных средств за пользование тепловой энергией происходит не за счет каких-то энергосберегающих мероприятий, а лишь за счет уменьшения ее потребления в ущерб микроклимату в зданиях школ.

В 2019 г. в школе с. Пугачево, как было сказано ранее, наблюдается увеличение объема потребления тепловой энергии на 28 %. Это увеличение и было направлено на то, чтобы создать в классах комфортные температурные условия, потому как ранее теплоты в расчете на единицу площади подавалось почти на 40 % меньше требуемой. Но до конца ситуация в этой школе не была исправлена, в 2019 г. это отклонение составило 21 %, «недотоп» все равно наблюдается.

Эту картину можно подтвердить, если сравнить нормативные и фактические отопительные характеристики зданий школ. Удельные отопительные характеристики приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Удельные отопительные характеристики зданий школ

Наименование учреждения	Нормативное значение удельной отопительной характеристики, Вт/(м ³ ·°С)	Фактическое значение удельной отопительной характеристики, Вт/(м ³ ·°С)	
		2018 г.	2019 г.
МОУ СОШ д. Старая Монья	0,365	0,392	0,349
МОУ СОШ с. Бураново	0,365	0,259	0,227
МОУ СОШ с. Ильинское	0,365	0,340	0,305

Наименование учреждения	Нормативное значение удельной отопительной характеристики, Вт/(м ³ ·°С)	Фактическое значение удельной отопительной характеристики, Вт/(м ³ ·°С)	
		2018 г.	2019 г.
МОУ СОШ с. Норья	0,365	0,257	0,243
МОУ СОШ с. Пугачево	0,365	0,230	0,292
МОУ СОШ с. Среднее Кечево	0,365	0,292	0,219
МОУ СОШ с. Уром	0,365	0,336	0,287
МОУ СОШ с. Яган	0,431	0,365	0,473
МОУ СОШ с. Яган-Докия	0,365	0,396	0,432
МОУ СОШ № 1, с. М.Пурга	0,365	0,444	0,401
Гимназия с. М.Пурга	0,365	0,290	0,273

Удельная отопительная характеристика показывает тепловую мощность, необходимую для нагрева единицы объема здания при разности температур внутреннего и наружного воздуха в 1 °С. Ее величина зависит от вида здания и его объема. Из таблицы 4 видно, что фактические значения практически во всех школах не дотягивают до нормативных значений. Это опять же подтверждает тот факт, что школы недополучают тепловую энергию. Такая экономия не имеет ничего общего с политикой энергосбережения.

Список литературы

1. Кашин, В. И. О мониторинге потребления энергоресурсов организациями бюджетной сферы Удмуртии / В. И. Кашин // Вестник энергосбережения Удмуртской Республики. – 2006. – № 1. – С. 6–8.

УДК 621.926.9

М. М. Беззубцева, В. С. Волков
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский ГАУ

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССОВ МЕХАНОАКТИВАЦИИ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДИСПЕРГАТОРАХ

Представлены результаты исследований нового класса электромагнитных диспергаторов, выполненных в рамках зарегистрированной в Санкт-Петербурге ведущей научной и научно-педагогической школы «Эффективное использование энергии, интенсификация электротехнологических процессов».

На основании анализа функционирования устройств для измельчения материалов, основанных на использовании электрофизических методов формирования диспергирующих нагрузок в магнитоожигенном слое ферротел (размольных элементов различной конфигурации), выявлены два основных класса механоактиваторов [1].

К ним относятся мельницы с квазистационарным магнитным полем переменного тока (вихревые электромагнитные аппараты – ВЭА и электромагнитные измельчители – ЭМИ. Как показала практика производства, их внедрение в аппаратурно-технологические линии переработки сырья способствует интенсификации технологического процесса измельчения и сокращению времени переработки за счет комплексного воздействия на материал высоких локальных давлений, кавитации, трения и перемешивания по всему объему рабочей камеры обработки материала. Между тем, в аппаратах этого класса формирование диспергирующих нагрузок обусловлено хаотичностью физико-механических процессов в слое размольных элементов, что затрудняет внедрение в технологию производства процесса эффективного управления качеством помола с получением заданных стандартами показателями селективности.

С целью исключения застойных зон в конструкцию рабочих камер традиционных шаровых мельниц вводят статические магнитные поля постоянных магнитов, способствующие интенсификации процесса за счет активации движения размольных элементов при формировании диспергирующих нагрузок. Такая мера позволяет интенсифицировать переработку материала, но не решает базового недостатка мельниц традиционного типа – снижению энергоемкости процесса измельчения.

На основании многочисленных теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в рамках зарегистрированной в Санкт-Петербурге ведущей научной и научно-педагогической школы «Эффективное использование энергии, интенсификация электротехнологических процессов» (руководитель профессор М. М. Беззубцева), разработан новый класс электромеханических диспергаторов (ЭМД) [2, 3].

Кластер формирования диспергирующих нагрузок (ударных, сжимающих и истирающих) в ферродинамической среде из шарообразных размольных тел в рабочих объемах ЭМД представлен на рисунке 1а...в.

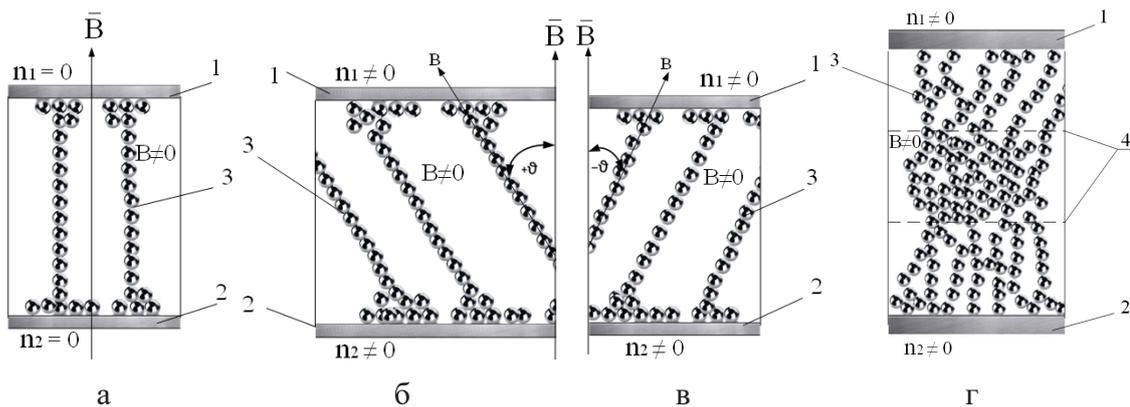


Рисунок 1 – Кластер формирования диспергирующих нагрузок в ферродинамической среде рабочего объема ЭМД:

- 1, 2 – поверхности, ограничивающие камеру измельчения; 3 – феррошары (элементы магнитоожигенного слоя); 4 – граница слоя переориентации феррошаров; B – вектор индукции электромагнитного поля; n – частота смещения (или вращения при использовании поверхностей коаксиальных цилиндров) поверхностей (соответственно наружной и внутренней) рабочей камеры; ϑ – угол деформации цепочки из ферротел:
- а – промежуточная структура формирования сжимающих нагрузок в ферродинамической среде (при $n = 0$); б, в – промежуточная структура формирования сжимающе-истирающих нагрузок в ферродинамической среде; г – структура формирования ударно-сжимающе-истирающих нагрузок в ферродинамической среде

Схема экспериментального стенда для изучения силовых контактных взаимодействий феррошаров в электромагнитном поле представлена на рисунке 2.

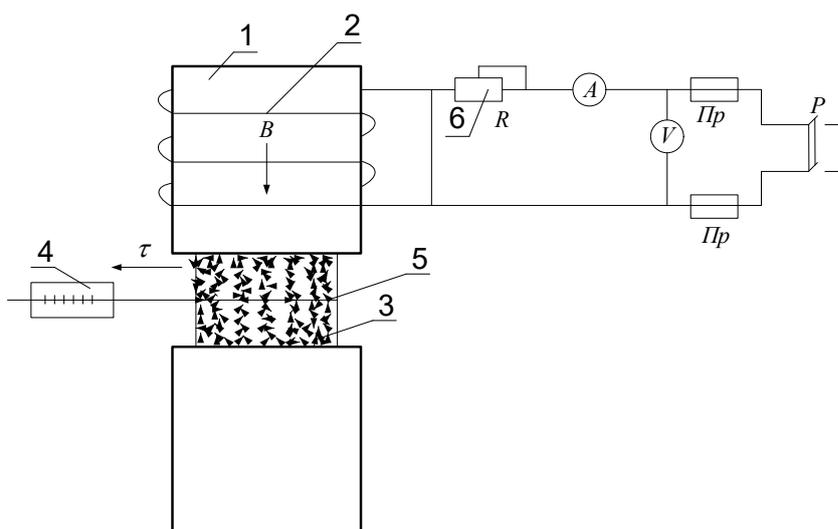


Рисунок 2 – Схема экспериментального стенда:

- 1 – электромагнит; 2 – обмотка; 3 – капсула, заполненная ферроэлементами шарообразной формы; 4 – динамометр; 5 – феррошар в структурной группе магнитоожигенного слоя с припаянной тягой; 6 – реостат; А и V – амперметр и вольтметр

Определяли тангенциальную составляющую P'_τ силовых контактных взаимодействий в магнитооживленном слое при различных диаметрах размольных тел d и параметров электромагнитного поля (индукции B электромагнитного поля между полюсами электромагнита).

Нормальную составляющую силовых контактов вычисляли по формуле:

$$P'_N = f \times P'_\tau, \quad (1)$$

где f – коэффициент трения между ферротелами в структурной группе.

На рисунках 3 и 4 выборочно представлены зависимости $P'_\tau = \varphi(B)$ для размерного ряда ферротел структурных групп с диаметрами $d = 6$ и $d = 4$ мм.

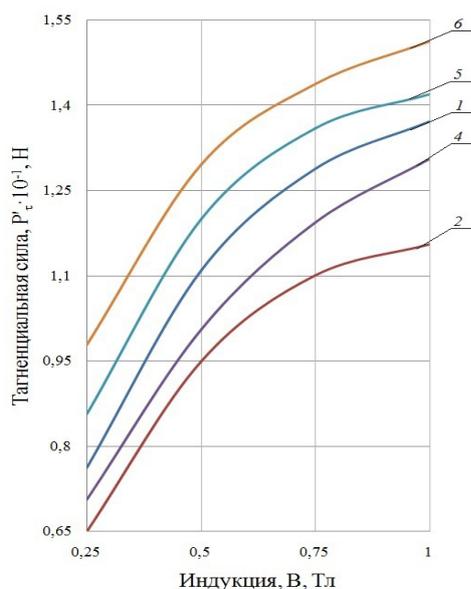


Рисунок 3 – Зависимость $P'_\tau = \varphi(B)$ при $d = 6$ мм

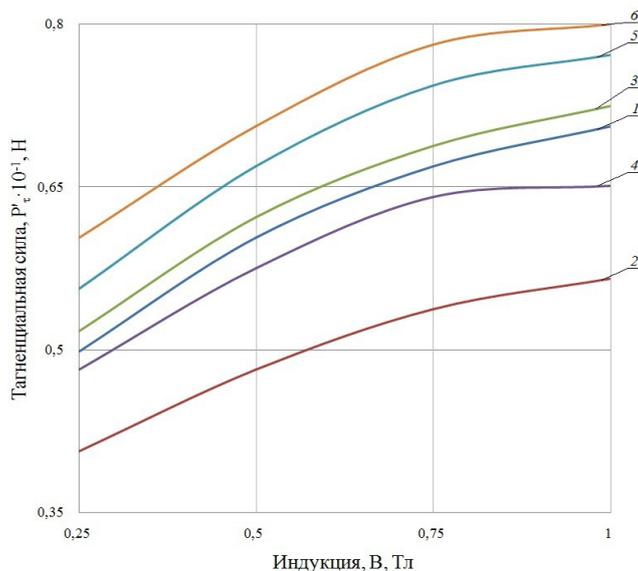


Рисунок 4 – Зависимость $P'_\tau = \varphi(B)$ при $d = 4$ мм

Значения нормальных и тангенциальных сил, возникающих при контактном взаимодействии размольных элементов в процессе электромагнитной механоактивации перерабатываемых материалов в рабочих объемах электромеханических диспергаторов, использованы при расчете критериев прогнозирования в программных комплексах проектирования типовых рядов аппаратов для измельчения продукции различного целевого назначения [4, 5].

Список литературы

1. Беззубцева, М. М. Механоактиваторы агропромышленного комплекса. Анализ, инновации, изобретения: монография / М. М. Беззубцева, В. С. Волков. – СПб.: СПбГАУ, 2014. – 161 с.
2. Беззубцева, М. М. Электромагнитная механоактивация. Направление в рамках зарегистрированной ведущей научной школы Беззубцевой М.М. «Эффективное использование энергии, интенсификация электротехнологических процессов» / М. М. Беззубцева // Реестр новых научных направлений. – М.: ИД Академия Естествознания, 2018. – 1 т. – С. 52–53.
3. Беззубцева, М. М. Инновационный способ электромагнитной механоактивации в магнитоожигенном слое ферротел / М. М. Беззубцева, В. С. Волков, А. В. Котов // Обзорная информация. Научное обозрение. Технические науки. – 2016. – № 2. – С. 8–13.
4. Касаткин, В. В. Оптимизация энергоёмкости установки непрерывной сушки измельчённых материалов / В. В. Касаткин, Н. Ю. Литвинюк, А. И. Евсеев, С. А. Вахрушев // Вестник Ижевской ГСХА. – № 3 (24). – 2010. – С. 10–12.
5. Беззубцева, М. М. Прикладные исследования электромагнитных механоактиваторов: монография / М. М. Беззубцева, В. С. Волков // Saarbrücken. – OmniScriptum Publishing KS, 2016. – 180 с.

УДК 621.313.04

В. А. Буторин, А. Ю. Плешакова, А. М. Молчан

*ФГБОУ ВО «Южно-Уральский
государственный аграрный университет»*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА ИЗМЕНЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ОТ НАРАБОТКИ

Определено, что основным критерием оценки состояния электродвигателя во влажных сельскохозяйственных помещениях является изоляция его обмоток. Представлено аналитическое выражение, которое показывает, как будет меняться сопротивление изоляции электродвигателей в зависимости от наработки при различной степени воздействующих факторов.

Актуальность темы. В сельском хозяйстве широко применяются асинхронные электродвигатели. Это связано с несложной конструкцией, невысокой стоимостью и простой схемой управления. Тяжелые условия эксплуатации, такие, как сезонность ра-

боты, химически агрессивные условия окружающей среды, перегрузка или недогрузка по мощности, повышенная влажность, прежде всего негативно сказываются на изоляции электродвигателей, что в дальнейшем может привести к их отказу, поэтому важно предотвратить возможные неисправности и сохранять работоспособность электродвигателей для бесперебойного обеспечения всех технологических процессов.

Цель исследований. Одним из уязвимых элементов асинхронных электродвигателей является изоляция его обмоток. В подавляющем большинстве случаев (85–95 %) отказы асинхронных двигателей происходят из-за повреждения обмоток и распределяются следующим образом [1]:

- межвитковые замыкания – 93 %;
- пробой межфазной изоляции – 5 %;
- пробой пазовой изоляции – 2 %.

На подшипниковый узел приходится 5–8 % отказов, и небольшой процент связан с такими причинами, как распайка выводных концов, скручивание валов, разрыв стержней ротора [1].

Причины отказов можно разделить на три группы: технологические (35 %), эксплуатационные (50 %) и конструкционные (15 %). Из полученных данных можно сделать вывод, что основной причиной отказов асинхронных электродвигателей является неправильная эксплуатация. Важно вовремя проводить профилактические мероприятия, которые снижают риск внезапного выхода из строя электрооборудования.

На производствах применяют различные стратегии обслуживания электрооборудования, но наиболее прогрессивной считается обслуживание по состоянию, то есть диагностика в режиме реального времени. Такая стратегия позволяет определять техническое состояние параметров электродвигателей и вероятностные связи с их надежностью [2].

Основным критерием оценки состояния электродвигателя во влажных сельскохозяйственных помещениях является изоляция его обмоток. Цель исследований заключается в определении характера изменения сопротивления изоляции в зависимости от наработки.

Материалы и методы. Под воздействием эксплуатационных факторов (сильный нагрев из-за перегрузки, перепад температур и, как следствие, увлажнение) происходит старение изоляции: снижается электрическая прочность и изоляция больше не способна выдерживать приложенное напряжение. Процесс старения

можно контролировать через постоянный мониторинг состояния изоляции. Так как ухудшение свойств изоляции можно рассматривать как случайный процесс [3], то для определения зависимости состояния изоляции от наработки можно использовать теорию вероятности и математической статистики. Наиболее универсальной зависимостью параметра технического состояния от наработки является степенная функция [4].

Результаты исследований. В работах [5, 6] сопротивление изоляции обмотки электродвигателя и скоростной параметр его изменения от наработки описывается степенной функцией:

$$m(t) = m_a - m_b t^\alpha \quad (1)$$

$$\sigma(t) = \sigma_a + \sigma_b t^\alpha \quad (2)$$

где m_a и σ_a – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение сопротивления изоляции при вводе электродвигателей в эксплуатацию;

m_b и σ_b – скоростные параметры изменения математического ожидания и среднеквадратического отклонения со временем.

Основной параметр, который показывает характер изменения сопротивления изоляции асинхронных электродвигателей от наработки, – степенной показатель α . Для его определения методом ускоренных испытаний проводятся опыты на экспериментальной установке: в процессе работы электродвигателя через определенные промежутки времени замеряется значение сопротивления изоляции. Временной интервал выбирается таким, чтобы прибор смог зафиксировать изменение значения сопротивления. Сочетание влияющих факторов – аммиака и влажности – устанавливается по максимальным и минимальным значениям.

Далее числовое значение показателя α можно рассчитать методом наименьших квадратов после проведения числа n измерений:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)(y_i - m_y)}{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} x_i &= \lg(R_i) \\ y_i &= \lg(R_0 - R_i) \end{aligned} ; \quad m_y = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{N} ; \quad m_x = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{N},$$

где N – число экспериментальных точек наблюдения;
 R_i – значение сопротивления изоляции электродвигателя;
 R_0 – начальное значение сопротивления изоляции электродвигателя, которое выбирается с учетом реальных условий эксплуатации электродвигателей.

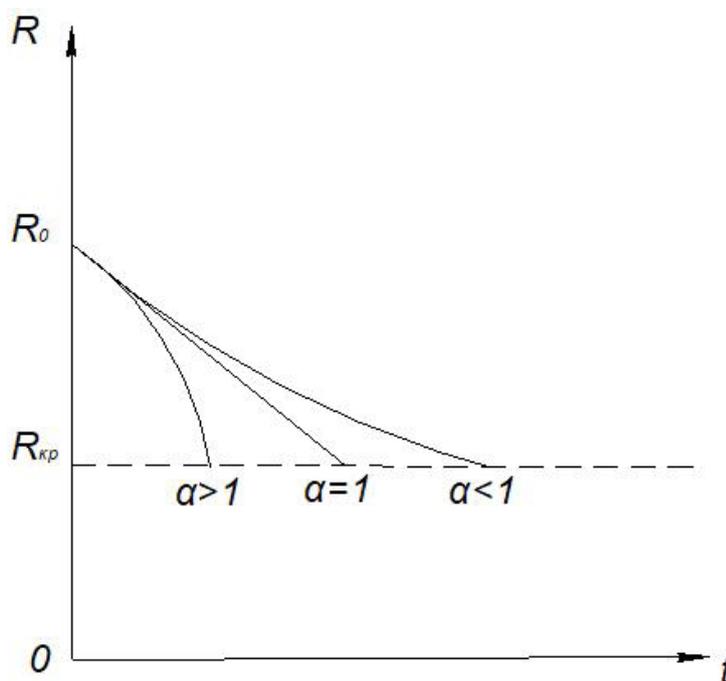


Рисунок 1 – Характер изменения сопротивления изоляции при постоянных условиях изнашивания в зависимости от наработки

Выводы. Таким образом, в настоящей работе представлено аналитическое выражение, которое показывает, как будет меняться сопротивление изоляции электродвигателей при различной степени воздействующих факторов.

При $\alpha < 1$ сопротивление снижается постепенно, электродвигатели проработают продолжительное время до наступления предотказового состояния. При $\alpha > 1$, наоборот, сопротивление будет снижаться резко.

То есть при одном и том же времени эксплуатации, при степенном показателе $\alpha > 1$ двигатели достигнут критического сопротивления быстрее, чем при $\alpha < 1$.

Список литературы

1. Гольдберг, О. Д. Автоматизация контроля параметров и диагностика асинхронных двигателей / О. Д. Гольдберг, И. М. Абдуллаев, А. Н. Абиев; под ред. О. Д. Гольдберга. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 160 с.: ил.

2. Хомутов, О. И. Диагностика изоляции электродвигателей в условиях эксплуатации: учеб. пособ. / О. И. Хомутов. – Барнаул: Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова, 1993. – 120 с.
3. Смирнов, Н. Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники / Н. Н. Смирнов, А. А. Ицкович. – М: Транспорт, 1987. – 272 с.
4. Айвазян, С. А. Прикладная статистика: исследование зависимостей: справ. изд. / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин; под ред. С. А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 487 с.
5. Буторин, В. А. Время первой проверки состояния изоляции электродвигателей, исходя из вероятности ее работоспособного состояния / В. А. Буторин, И. Б. Царев, А. Ю. Плешакова // Научный журнал «АПК России». – 2019. – Том 26. – № 3. – С. 389–392.
6. Саплин, Л. А. Взаимосвязь упреждающего допуска сопротивления изоляции с периодичностью ее диагностирования / Л. А. Саплин, В. А. Буторин, И. Б. Царев, Р. В. Банин, А. Ю. Плешакова // Вестник Курганской ГСХА. – № 4. – 2019. – С. 66.
7. Современные стратегии ТОиР [электронный ресурс]. – URL: <http://galaktika.ua/eam/sovremennye-strategii-toir.html>: каталог: [сайт].
8. Буторин, В. А. Эксплуатация и надежность восстановленного электрооборудования / В. А. Буторин. – Челябинск: ФГОУ ВПО «Челябинский гос. агроинженерный ун-т», 2006.

УДК 631.171: 621.31: 633/635

С. В. Вендин

ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ

К РАСЧЕТУ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ СВЧ-ОБРАБОТКЕ ПРОДУКТА ВНУТРИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Представлено формальное решение задачи расчета напряженностей электрического поля при взаимодействии электромагнитной волны с двухслойным диэлектрическим объектом. Полученные результаты могут быть использованы при разработке способов и технических средств для технологической СВЧ-обработки (СВЧ-нагрева) различных сред и продуктов, находящихся внутри диэлектрической оболочки цилиндрической формы.

Энергия электромагнитных полей сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) может быть применима как в промышленности, так

и в сельском хозяйстве [1–5 и др.]. Важным частным случаем является СВЧ-обработка среды, находящейся внутри диэлектрической оболочки цилиндрической формы. При этом возбуждение электромагнитного поля происходит с внешней стороны, и электромагнитное поле проникает в продукт через диэлектрическую оболочку. Примерами такой обработки могут служить СВЧ пастеризация жидких или полужидких сред внутри диэлектрического продуктопровода. Результат такой технологической обработки будет определяться электромагнитной мощностью, выделяющейся в единице объема продукта (Вт/м³) [1]:

$$q = 2\pi f \varepsilon_0 \varepsilon |E|^2 \operatorname{tg} \delta, \quad (1)$$

где ε_0 , ε , $\operatorname{tg} \delta$ – соответственно диэлектрическая постоянная, относительная диэлектрическая проницаемость среды, тангенс диэлектрических потерь в продукте;

f – частота электромагнитного поля;

$|\bar{E}|$ – модуль напряженности электрического поля.

Отметим, что основными варьируемыми параметрами для неизменяемой среды в выражении (1) являются частота электромагнитного поля f и модуль напряженности электрического поля $|\bar{E}|$. Следовательно, изменяя эти параметры, можно управлять процессом СВЧ-обработки.

Проблема состоит в том, что если частота электромагнитного поля f определяется конструктивными параметрами СВЧ-источника, то величина модуля напряженности электрического поля $|\bar{E}|$ в продукте будет зависеть и от частоты электромагнитного поля и от электрофизических характеристик самой среды. Кроме того, обрабатываемый объект по отношению к проникающей в него электромагнитной волне (ЭМВ), представляет слоистую диэлектрическую структуру.

Физическую и математическую модель для оценки напряженности электрического поля в среде можно представить как проникновение электромагнитной волны из внешней среды с параметрами ε_c , $\operatorname{tg} \delta_c$ в двухслойный диэлектрический цилиндр внешнего радиуса R_1 и внутреннего радиуса R_2 . Внешний цилиндр (оболочка) и внутренний цилиндр (обрабатываемая среда) отличаются своими электрофизическими параметрами ε_1 , $\operatorname{tg} \delta_1$ и ε_2 , $\operatorname{tg} \delta_2$.

На основе общего подхода, представленного в работах [6–7], были получены аналитические выражения для расчета напряжен-

ностей электрического \bar{E} поля применительно к нашей технологической задаче.

Была рассмотрена осесимметричная задача, для которой напряженность электрического поля зависит от одной координаты r . Согласно сути процесса обработки на двухслойный цилиндр будет воздействовать внешняя электромагнитная волна с электродинамическим потенциалом \dot{V}_0 :

$$\dot{V}_0 = A_0 J_0(k_c r), \text{ при } R_1 \leq r \leq \infty, \quad (2)$$

где $r, J_0(kr)$ – соответственно расстояние от оси цилиндра, функция Бесселя нулевого порядка первого рода;

A_0 – постоянный коэффициент;

k_c – коэффициент распространения ЭМВ в среде: $k = 2\pi f v$ (v – характеристическая проводимость среды).

Тогда на внешней поверхности эта волна должна частично отразиться волной с электродинамическим потенциалом \dot{V}_1 и пройти во внутренние слои внешнего цилиндра волной с электродинамическим потенциалом \dot{V}_2 . Для отраженной волны будем полагать:

$$\dot{V}_1 = A_1 N_0(k_c r), \text{ при } R_1 \leq r \leq \infty, \quad (3)$$

где $N_0(k_c r)$ – функция Бесселя нулевого порядка второго рода, а для преломленной:

$$\dot{V}_2 = A_2 J_0(k_1 r), \text{ при } R_2 \leq r \leq R_1, \quad (4)$$

Волна \dot{V}_2 также частично отразится от границы $r = R_2$ волной (\dot{V}_3) и пройдет во внутренний цилиндр волной \dot{V}_4 . В этом случае выражения для отраженной и преломленной волн будут иметь вид:

$$\dot{V}_3 = A_3 N_0(k_1 r), \text{ при } R_2 \leq r \leq R_1, \quad (5)$$

$$\dot{V}_4 = A_4 J_0(k_2 r), \text{ при } 0 \leq r \leq R_2, \quad (6)$$

Величина коэффициента A_0 будет зависеть от напряженности падающей ЭМВ, а значения коэффициентов A_1, A_2, A_3, A_4 определяются из условий непрерывности поля на границе раздела сред [4–5].

Непосредственно значение напряженности электрического поля \bar{E} может быть рассчитано с учетом выражения:

$$\dot{E}_r = \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \dot{V}}{\partial r} \right) + k^2 r \dot{V} . \quad (7)$$

В результате проведенного анализа было установлено, что система уравнений для определения коэффициентов A_1, A_2, A_3, A_4 может быть представлена в матричной форме:

$$N \times A = C, \quad (8)$$

где N – главная матрица системы ранга 4×4 ;

A – вектор определяемых коэффициентов;

C – вектор, определяемый значениями напряженности поля на поверхности объекта;

$$N = \begin{pmatrix} k_c N_0(k_c R_1) & -k_1 J_0(k_1 R_1) & -k_1 N_0(k_1 R_1) & 0 \\ k_c v_c^{-1} N_0'(k_c R_1) & -k_1 v_1^{-1} J_0'(k_1 R_1) & -k_1 v_1^{-1} N_0'(k_1 R_1) & 0 \\ 0 & k_1 J_0(k_1 R_2) & k_1 N_0(k_1 R_2) & -k_2 J_0(k_2 R_2) \\ 0 & k_1 v_1^{-1} J_0'(k_1 R_2) & k_1 v_1^{-1} N_0'(k_1 R_2) & -k_2 v_2^{-1} A_4 J_0'(k_2 R_2) \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$A = \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{pmatrix}; \quad C = \begin{pmatrix} -A_0 k_c J_0(k_c R_1) \\ -A_0 k_c v_c^{-1} J_0'(k_c R_1) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

В заключение отметим, что представлено формальное решение задачи расчета напряженностей электрического поля при взаимодействии электромагнитной волны с двухслойным диэлектрическим объектом цилиндрической формы.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке способов и технических средств для технологической СВЧ-обработки (СВЧ-нагрева) различных сред и продуктов, находящихся внутри диэлектрической оболочки цилиндрической формы. Постановка и решение задачи имеют общую форму и могут быть полезны для анализа процессов похожих физических моделей.

Список литературы

1. Бородин, И. Ф. Применение СВЧ-энергии в сельском хозяйстве / И. Ф. Бородин, Г. А. Шарков, А. Д. Горин. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1987. – 55 с.
2. Вендин, С. В. Высокочастотный нагрев в технологии обработки семян зерновых / С. В. Вендин // Техника в сельском хозяйстве. – 1994. – № 3. – С. 18.

3. Вендин, С. В. Воздействие температурных факторов на всхожесть семян зерновых при их обработке в электромагнитном поле СВЧ / С. В. Вендин, А. Д. Горин // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 1994. – № 3. – С. 21.
4. Ушакова, Н. Ф. Опыт применения свч-энергии при производстве пищевых продуктов / Н. Ф. Ушакова, Т. С. Копысова, В. В. Касаткин, А. Г. Кудряшова // Пищевая промышленность. – 2013. – № 10. – С. 30–32.
5. Агафонова, Н. М. Применение СВЧ-энергии для обработки продукции растениеводства / Н. М. Агафонова, В. В. Касаткин, В. В. Фокин // Аграрная наука на рубеже тысячелетий: труды научно-практической конференции. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2001. – С. 175–179.
6. Вендин, С. В. Исследование напряженности электрического поля в семени при СВЧ дезинсекции зерна / С. В. Вендин // Электричество. – № 3. – 1994. – С. 54–59.
7. Вендин, С. В. К решению задачи взаимодействия электромагнитной волны с многослойным сферическим диэлектрическим объектом / С. В. Вендин // Вестник Белгородского ГТУ им. В. Г. Шухова. – № 5. – 2013. – С. 216–220.

УДК 621.375

М. Н. Вершинин, С. И. Юран
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

СТИМУЛИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗМОВ ЛАЗЕРОМ

Рассмотрен способ повышения урожайности сельскохозяйственных культур с помощью лазерного излучения. Описаны некоторые исследования и устройства лазерной стимуляции, которые позволяют повысить функциональную активность растительных организмов.

Для повышения урожайности различных сельскохозяйственных культур в настоящее время наибольшее распространение получили различные минеральные удобрения. Без использования подобных удобрений сельскохозяйственная отрасль не смогла бы покрыть продовольственные запросы все более растущего населения Земли. В то же время, использование все большего количества минеральных удобрений негативно сказывается на полезности сельскохозяйственных продуктов для жизни и здоровья человека, поэтому в настоящее время использование альтернативных спосо-

бов и технологий повышения урожайности сельскохозяйственных культур является перспективным направлением исследований. Один из таких альтернативных методов – использование лазерного излучения.

Лазерное излучение, с большой долей вероятности, может положительно повлиять на функциональную активность растительных клеток. Эффект такого воздействия описывается многими авторами в различных исследованиях, которые посвящены исследованию влияния лазерного излучения на различные биологические объекты. Согласно исследованиям, лазерное излучение характеризуется как высокопродуктивная технология, способная существенно оказать влияние на продуктивность растений.

К настоящему времени в основной массе исследований, посвященных повышению продуктивности растительных организмов, в роли источника лазерного излучения выступает гелий-неоновый лазер. Проведенные исследования описывают эксперименты, согласно которым гелий-неоновый лазер способен повысить функциональную активность растительных клеток в разы.

Одни из первых исследований, посвященных лазерной стимуляции растительных организмов, являются исследования В. М. Инюшина [1]. В его исследованиях описывается эффект стимулирования растительных организмов при использовании гелий-неонового лазера и монохроматического излучения неоновой лампы со светофильтром. В обоих случаях проведенные исследования показали свою эффективность, но больший биологический эффект на растительные организмы показал гелий-неоновый лазер.

Для промышленного применения лазерной стимуляции в сельском хозяйстве применяются различные устройства. В качестве примера можно представить патент: «Устройство для лазерной обработки семян и растений» [2]. Устройство служит для предпосевной обработки семян в буртах объемом до 200 тонн и способен повысить всхожесть семян с невысокой исходной (50–70 %) всхожестью на 15–18 %.

Полупроводниковые лазеры также могут быть использованы в качестве источников лазерного излучения. Они характеризуются более низкой стоимостью, высокой адаптивностью к автоматизированным процессам и возможностью получить лазер с различными длинами волн. Использование полупроводникового лазера для повышения функциональной активности растительных клеток также может оказать положительный эффект на растительные организмы.

Исследования, посвященные лазерной стимуляции полупроводниковым лазером, представлены в работах А. С. Гордеева и А. В. Аксеновского. В работе А. С. Гордеева лазерное излучение полупроводникового лазера применяется для увеличения выхода кондиционных плодов яблок в период хранения [3]. В результате исследования к концу срока хранения удалось повысить выход кондиционных плодов на 15 % по сравнению с контрольной группой. Подобное исследование описывается в работах А. В. Аксеновского [4]. В результате проведенного исследования выход кондиционных плодов яблони сорта «Антоновка обыкновенная» к концу срока хранения (100 дней) удалось повысить на 10–20 % по сравнению с контрольной группой.

В качестве примера устройства для лазерной стимуляции полупроводниковым лазером можно представить патент на «Способ предпосевной обработки семян и устройство для его использования» [5]. Данный патент описывает способ и устройство для предпосевной обработки семян, который может увеличить урожайность сельскохозяйственных культур на 20–70 %.

Все описанные исследования и предложенные устройства на основе применения лазеров показали свою высокую эффективность при практическом использовании.

Список литературы

1. Инюшин, В. М. Луч лазера и урожай / В. М. Инюшин, Г. У. Ильсов, Н. Н. Федорова. – Алма-Аты: Кайнар, 1981. – 186 с.
2. Пат. 2202869 Российская Федерация, МПК А01С 1/00. Устройство для лазерной обработки семян и растений / Журба П.С., Журба Т.П., Трещёв Д.Л., заявитель и патентообладатель ООО Научно-производственная фирма «Биолазер» – № 2001113898/13; заявл. 21.05.2001; опубл. 27.04.2003. Бюл. № 12.
3. Гордеев, А. С. Автоматизированная обработка яблок: автореф. дис. д-р техн. наук. – М., 1996. – 32 с.
4. Аксеновский, А. В. Применение лазерной обработки плодов яблони в процессе уборки / А. В. Аксеновский // Современные проблемы технологии производства, хранения, переработки и экспертизы качества сельскохозяйственной продукции: сб. докл. Междунар. научно-практич. конф. 26–28 февраля 2007 г. Том 2. – Мичуринск, 2007. – С. 207–210.
5. Пат. 2407264 Российская Федерация, МПК А01С 1/00. Способ предпосевной обработки семян и устройство для его использования / Долговых О.Г., Крылов О.Н., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия» – № 2009109461/21; заявл. 16.03.2009; опубл. 27.09.2010. Бюл. № 36.

И. Р. Владыкин, Е. И. Владыкина, Д. И. Владыкин
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В СООРУЖЕНИЯХ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА

Рассмотрена возможность регулирования температуры в технологических диапазонах агропромышленных сооружений на основе математического моделирования температурных полей.

Микроклимат в агротехнологических сооружениях – это важный фактор производственной безопасности. От точности регулирования его параметров зависят безопасность обслуживающего персонала, качество выпускаемой продукции, производительность труда, себестоимость продукции и, в конечном итоге, прибыль предприятия, поэтому в нормативно-технической документации уделяют большое внимание климатологии агротехнологических помещений. На сегодняшний день разработано много унифицированных систем автоматического управления параметрами микроклимата, основными из которых являются температура, освещенность и влажность. Безусловно, между этими параметрами микроклимата, как внутри агротехнологического помещения, так и во внешней среде, существует взаимная связь, которую необходимо учитывать при расчетах [1]. К сожалению, в методических рекомендациях по расчету параметров микроклимата на этот фактор не обращают внимания.

Одним из важнейших параметров микроклимата в агротехнологических сооружениях является температура. В системах регулирования температуры для её равномерного распределения в помещениях применяют следующий принцип: при получении двумя датчиками температуры установленных в помещении показаний, имеющих разницу на два градуса, устройство управления подает сигнал на включение циркуляционных вентиляторов. Для этого используют датчики температуры, установленные в одном помещении, но на значительном расстоянии друг от друга и разной высоте [2]. Также для учета влияния окружающей среды и работы системы управления в соответствии с температурным графиком используют термопару, которая учитывает температуру снаружи помещения.

Большинство агротехнологических сооружений имеет форму параллелепипеда (рис. 1).

Этот факт определенно влияет на то, как математическим путем возможно определить температуру в любой точке агротехнологического сооружения. Здесь возникает вопрос, каким образом можно контролировать температуру по всему рабочему объему сооружения, т.к. установка большого количества датчиков не рациональна [3]. Необходимо разработать математическую модель с достаточной точностью, определяющей температуру в помещении с внутренними источниками теплоты. В производственных условиях кроме системы отопления источниками теплоты являются также производственные механизмы и технологические процессы, существенно влияющие на температурный режим. Учитывать их влияние в каждом помещении необходимо индивидуально. Упростив влияние оборудования на температурный режим, распределение тепловых потоков в виде геометрических фигур представляет параллелепипед, сверху ограниченный половиной цилиндра (рис. 2).

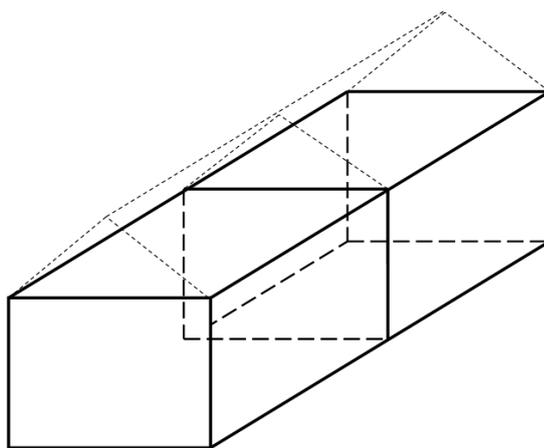


Рисунок 1 – Сооружение в виде параллелепипеда

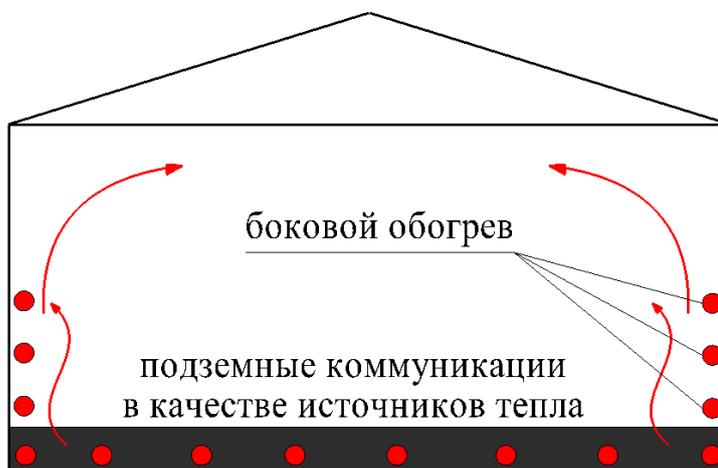


Рисунок 2 – Распределение тепловых потоков в агротехнологических сооружениях

Для математического моделирования пределов технологического диапазона регулирования температуры в агротехнологических помещениях можно принять следующие упрощения: поверхность пола – идеально ровная. Стены имеют однослойную структуру и тепловую изоляцию [4]. Боковой обогрев не влияет на движение тепловых потоков по эллиптической траектории.

В агротехнологических сооружениях, имеющих форму параллелепипеда, температурное поле обычно описывают как произведение температурных полей по пространственным координатам: длина, ширина и высота, выражение (1).

$$\bar{T} = \bar{T}_x \times \bar{T}_y \times \bar{T}_z. \quad (1)$$

Таким образом, определив температурное поле по всем трем пространственным координатам, мы сможем математическим способом рассчитать температуру в любой точке пространства агротехнологического сооружения.

При этих расчетах следует учитывать, что любое агротехнологическое сооружение, независимо от технологического процесса, в нем происходящего, находится в условиях охлаждения. Это можно объяснить тем, что любой технологический или производственный процесс всегда имеют повышенную по отношению к внешней среде температуру, а для комфортной работы обслуживающего персонала необходимо поддерживать температуру не ниже 12...18 °С. Следовательно, температурное поле по пространственным координатам: длина и ширина можно описать выражением (2):

$$\bar{T}_x = \left[\frac{t_g - t(x, \tau)}{t_g - t_{oc}} \right] = f(\bar{X}, Bi_x, F_{0x}), \quad (2)$$

где t_g – температура воздуха в агротехнологических сооружениях, измеренная термопарой в начальный момент времени, °С;

t_{oc} – температура окружающей среды;

$t(x, \tau)$ – температура по пространственной координате x или y в момент времени τ .

Анализ работ, посвященных математическому моделированию температурного режима [1, 2], показал, что температурное поле зависит от пространственной координаты. Числа Био и числа Фурье. Пространственная координата по длине или ширине агро-

технологического сооружения является безразмерной величиной и может быть определена по выражению (3):

$$\bar{X} = \frac{x}{L}, \quad (3)$$

где x – пространственная координата, т.е. расстояние от начала координат до точки, в которой необходимо определить температуру, м;

L – линейный размер производственного сооружения, т.е. ширина, м. Число Био характеризует связь между температурой тела и условиями теплоотдачи на его поверхности.

Проведя математические преобразования, получим окончательное выражение для определения температуры в рабочем объеме агротехнологического сооружения, выражение (4):

$$t = t_B - \left[\frac{16}{\pi^2} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{x}{L}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{y}{d}\right) \cdot e^{-\frac{\pi^2}{2} \cdot F_0} \right] \cdot \left[\frac{2 \cdot z}{d} - \frac{4 \cdot a \cdot \alpha \cdot \tau}{d \cdot \lambda_w} \cdot e^{-\frac{1}{4 \cdot F_0}} \right] \cdot [t_B - t_{oc}]. \quad (4)$$

Адекватность предложенной нами модели доказана стандартными функциями. Это метод наименьших квадратов, стандартная ошибка эксперимента и среднеквадратическое отклонение (рис. 3).

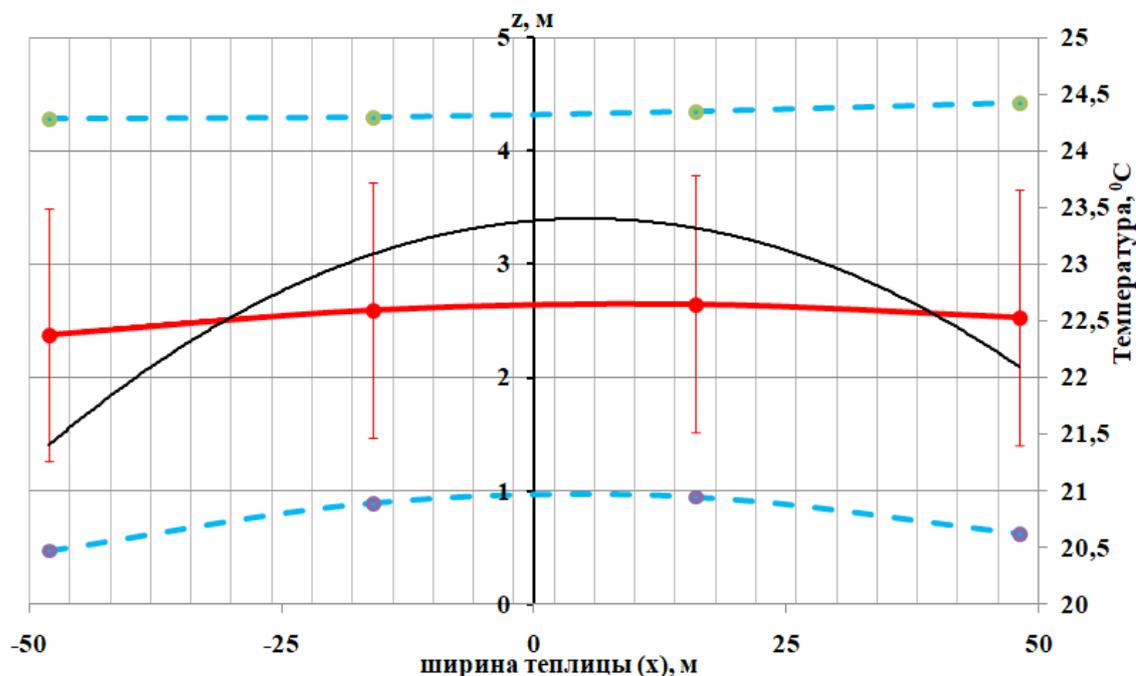


Рисунок 3 – Определение адекватности математической модели:

- – экспериментальные значения температуры; I – доверительный интервал;
- (красная) – значения температуры, рассчитанные методом наименьших квадратов;
- (черная) – значения температуры, полученные по математической модели;
- - - (синяя) – среднеквадратическое отклонение

Практическое применение нашего предложения по определению температуры в рабочем объеме агротехнологического сооружения заключается в использовании устройств промышленной электроники в качестве управляющего устройства регулирования температуры. Применение возможно в настоящее время благодаря стандартизированному набору языков программирования для программируемых логических контроллеров, в которые можно записать нашу математическую модель.

Список литературы

1. Владыкин, И. Р. Обоснование комплексного применения электротехнологий для повышения продуктивности огурца в сооружениях защищенного грунта: дис. на соиск. ... д-ра технич. наук / И. Р. Владыкин. – Москва: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2019. – 185 с.
2. Владыкин, И. Р. Электромеханические системы в теплоэнергетике / Н. П. Кондратьева, В. А. Баженов, Р. Г. Большин, А. И. Батулин // Практикум по дисциплине «Электромеханические системы» для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Агроинженерия», магистерская программа «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве» – 2-е изд., перераб. и доп. – Ижевск, 2019. – 57 с.: ил.
3. Луканин, В. Н. Теплотехника: учеб. для вузов / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров, Г. М. Камфер и др.; под ред. В. Н. Луканина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2000. – 671 с.: ил.
4. Лысков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лысков. – М.: Высшая школа, 1967.
5. Тихомиров, Д. А. Условия эффективного применения воздушно-тепловых завес на объектах сельхозпроизводства / А. В. Кузьмичев, С. С. Трунов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – М.: Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. – № 38. – 2020. – С. 54–59.

Н. В. Горохова, Е. В. Дресвянникова
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Приведен анализ развития бережливого производства в российской промышленности. Описаны преимущества и недостатки данной технологии, сложности и особенности применения данной технологии и обсуждена дальнейшая перспектива развития.

Цель исследования: провести обзор о степени развития методов бережливого производства в промышленности России.

Материалы и методы: изучение и анализ литературы.

Результаты исследования. За период 2000–2020 гг. экономика России продемонстрировала значительные темпы роста. В среднем они составляли более 7 % в год, сократилась инфляция, был сокращён внешний долг [2].

Тем не менее, проблем в развитии экономики страны оставалось немало: по словам Г. Остапковича: «Модель экономического развития России в 2019 г. можно назвать устойчиво-слаборастущей, без признаков сползания в рецессию наподобие 2015-начала 2016 гг., но и без очевидных сигналов к интенсивному движению вверх». Положение усугубила пандемия 2020 г. [1].

Становилось всё более очевидно, что решить стоящие перед страной задачи, прежде всего повышение производительности труда, можно только инновационным путем. Но низкая производительность труда остается одним из главных барьеров для развития российской экономики. Значительное отставание России в этой сфере от стран Евросоюза, G7 и Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) фиксируется российской и зарубежной статистикой. При этом повышение производительности труда остается приоритетным направлением экономики (на это неоднократно указывал президент РФ).

Развитие производительности труда в России усугубляется тем, что на адаптацию зарубежного опыта необходимо время. Кроме этого, не всегда иностранные инновационные методики можно внедрить вследствие особенностей национального характера.

Тем не менее, в России систему бережливого производства начали внедрять с 2004 г. По сути, указанный комплекс мероприятий можно назвать системным подходом к оптимизации производственного процесса за счет снижения издержек и потерь в самом широком смысле этого слова. Особенность лин-технологий (от lean production – бережливое производство) заключается в том, что их внедрение не требует больших затрат и практически сразу дает реальный эффект, который может быть выражен в конкретной экономии денежных средств. Это является привлекательной стороной процесса внедрения.

Таким образом, можно спрогнозировать развитие программ ликвидации потерь и снижения издержек, в том числе программу бережливого производства. При очевидной актуальности развития проблемы нужно отметить, что неверное понимание основ «производства без потерь» не приведет к ожидаемым результатам. В связи с этим исследование основ и особенностей бережливого производства можно считать важным направлением в развитии современной российской экономики.

Методы бережливого производства исследовали Дж. Вумек, Д. Джонс, М. Вейдер, Х. Хирано. Несмотря на достаточно глубокую степень изученности вопросов методологии бережливого производства в иностранной литературе, в отечественной литературе вопрос изучен слабо.

Российские предприятия промышленности на данном этапе на практике чаще всего исследуют отдельные направления методики бережливого производства, не принимая во внимание повышение эффективности при комплексном использовании системы бережливого производства. Это связано прежде всего с русификацией программы, наработкой эмпирического материала, позволяющего определить эффективность на примере предприятий российской экономики.

Кроме этого, нужно отметить некоторый скептицизм ряда руководителей предприятий: так, В. Бовыкин, президент компании «АМИ-Систем» указывает на отсутствие «нужной организационной культуры», нацеленной на высокопроизводительный результат [4].

Таким образом, мы видим, что вопросы методологии бережливого производства требуют дополнительного исследования как в теоретической, так и в практической части относительно ее адаптации в российских предприятиях промышленности.

В основе бережливого производства находится устранение потерь во всех сферах производства, включая отношения с заказчиками, замысел продукции, снабжение и производственный менеджмент. Следствием такого предприятия является достижение минимальных затрат труда, минимальных сроков по созданию новой продукции, гарантированной поставки продукции заказчику, высокое качество при минимальной стоимости и, соответственно, повышение рентабельности предприятия в условиях рыночной экономики.

Все плюсы внедрения системы «бережливое производство» очевидны, и число предприятий РФ, внедряющих у себя данную систему, с каждым годом все увеличивается. В России, согласно данным Института комплексных стратегических исследований, начинает проявляться интерес к возможностям повышения конкурентоспособности и модернизации производства по принципам бережливого производства все чаще. Открытые источники не позволяли составить представление о состоянии производственных систем в России. Информация была доступна в основном только о крупных предприятиях, базирующихся в центральных районах. Официальной статистики об управленческих новациях нет, поэтому Институт решил выяснить, насколько распространена система бережливого производства в России. Было опрошено более 700 респондентов, представителей российских предприятий обрабатывающих отраслей промышленности с численностью персонала до 2000 человек. Нужно отметить, что 70 % респондентов – высшее руководящее звено. Результаты показали: модернизируют производство, используя японский опыт, 32 % предприятий из всех опрошенных (на 45 % остальных предприятий деятельность, связанная с модернизацией производственных систем, вообще отсутствует, а 23 % занимаются улучшением отдельных участков с помощью оригинальных разработок). Около 5 % предприятий ведет систематическое и последовательное совершенствование организационных процессов: компании внедряют инструменты бережливого производства частично. Чаще всего усилия направлены на управление качеством (TQM), визуализацию рабочего места, внедрение системы 5S и оптимизацию запасов (канбан, just-in-time) [6].

Предприятия промышленности России занимаются организацией на своих производственных площадках развития принципов бережливого производства. В развитии участвуют крупные, средние и мелкие предприятия страны. Одним из первых предприятий по внедрению лин-технологий стал ПАО «КАМАЗ». При внедрении систе-

мы бережливого производства, кроме опыта компании Toyota, на практике был использован опыт развития Daimler, Wabco, CNH. Также изучался отечественный опыт предприятий ГАЗ, РЖД, Северсталь и др. В связи с успешным внедрением методов в июле 2015 г. предприятие стало первым из крупных производств, прошедшим сертификацию на соответствие требованиям ГОСТ Р 56404-2015 органом по сертификации систем менеджмента бережливого производства [7].

На современном этапе развития промышленности можно сказать об активном развитии технологий бережливого производства в России. Можно предположить, что данная ситуация связана с политическим курсом на рост производительности. Кроме таких крупных предприятий, как «РЖД», «Северсталь», «Роснефть», указанные технологии активно внедряются на энергетических заводах «Энергомера», светотехническое предприятие ГК «Оргпром», приборостроительная компания ПСК «Геодор» и др. Выксунский металлургический завод из Нижегородской области по классификации аудитора производственной системы был удостоен золотой медали ТЕС [9].

По данным «Оргпрома», актуальность и необходимость, вызванная современными российскими реалиями, показывают эффективность внедрения:

Таблица 1 – Средние показатели эффективности лин-технологий [10]

Типичные показатели эффективности внедренных лин-технологий	Конкретные примеры результатов в российской практике	Отрасль
Сокращение затрат на 30 %	Ежегодная экономия 11,5 млн рублей – достигнута за 2 недели	Нефтедобыча
	Экономия 52 млн рублей за 6 месяцев	Приборостроение
	Экономия 65 млн рублей за 1 неделю	Сборка автомобильных узлов
Высвобождение производственной площади на 30 %	Высвобождение 25 % производственных площадей	Приборостроение
Сокращение незавершенного производства на 50 %	Исключение простоев скважин – дополнительный доход 130 млн рублей в год	Нефтедобыча
Сокращение производственного цикла на 60 %	Сокращение срока выполнения заказа с 16 месяцев до 16 недель	Авиационная промышленность
	Сокращение производственного цикла с 9 до 1 дня	Приборостроение

Типичные показатели эффективности внедренных лин-технологий	Конкретные примеры результатов в российской практике	Отрасль
Увеличение эффективности оборудования на 45 %	Увеличение производительности прессы 2 кт. на 35 %	Цветная металлургия
Высвобождение труда на 25 %	Сокращение трудозатрат – свыше 1,3 млн рублей в год	Нефтедобыча
Снижение времени переналадки на 70 %	Сокращение времени переналадки трех 500-тонных прессов с 4,5 до 1,5 часа (на 67 %)	Черная металлургия

Таким образом, мы видим динамичное развитие производственной системы, с одной стороны. С другой стороны, мы видим, что не все отрасли промышленности задействованы в процессе бережливого производства.

В Удмуртии по технологии бережливого производства на ноябрь 2020 г. работают 39 предприятий различной направленности: ИжГЭТ, Ижавиа, концерн «Калашников», Ижевский механический завод, АО «ИМЗ «Аксион-холдинг» и др. На 2021 г. поступила заявка об участии в проекте еще 75 предприятий. Пресс-службой главы республики было заявлено о выполнении плана по бережливому производству на 100 %.

Программа внедрения предусматривает государственную поддержку: получение льготных займов от Фонда развития промышленности.

Таким образом, можно отметить, что, несмотря на сравнительно небольшой этап развития технологии в стране, это процесс динамично развивающийся. Существует ряд проблем, которые находятся на стадии решения, и к главной проблеме нам хочется отнести «человеческий фактор» – перестройка профессионального менталитета на осознание необходимости работать в соответствии с новыми реалиями. Оптимизм внушает государственная поддержка проекта.

Список литературы

1. Итоги и прогнозы от Георгия Остапковича. – URL: <https://issek.hse.ru/news/333194520.html> (дата обращения: 30.11.2020).

2. Обзор: социально-экономического положения регионов РФ в 1 половине 2020г. – URL: <https://riarating.ru/regions/20200922/630181576.html> (дата обращения: 30.11.2020).
3. Новая экономия: как российские предприятия внедряют lean-методики. – URL: <https://plus.rbc.ru/news/5acc2c447a8aa94d61f53915> (дата обращения: 30.11.2020).
4. Российский опыт внедрения бережливого производства. – URL: http://www.up-pro.ru/library/production_management/lean/otsech-lyshnee.html (дата обращения: 30.11.2020).
5. Наш менталитет – убийца бережливого производства. – URL: <https://plus.rbc.ru/news/5acc0d437a8aa94d61f53914> (дата обращения: 30.11.2020).
6. Необходимость внедрения системы бережливого производства на российских предприятиях. – URL: <https://lean-kaizen.ru/neobhodimost-vnedreniya-sistemy-berezhlivogo-proizvodstva-na-rossiyskih-predpriyatiyah.html> (дата обращения: 30.11.2020).
7. Производственная система КАМАЗ // Бережливое производство. – Декабрь, 2015. – URL: <https://kamaz.ru/upload/iblock/f27/f27e5293237df014d3b6d45a5973bcbb.pdf> (дата обращения: 30.11.2020).
8. Касьяненко, А. Р. Перспективы внедрения системы бережливого производства в Российской Федерации / А. Р. Касьяненко, О. А. Жарикова // Молодой ученый. – 2018. – № 43. – С. 234–237. – URL: <https://moluch.ru/archive/229/53385/> (дата обращения: 30.11.2020).
9. Производственная система заводов Объединенной металлургической компании удостоена медалей Toyota // Лин-технологии: бережливое производство. – 2020. – № 2. – С. 38–39.
10. Российский опыт внедрения бережливого производства. – URL: http://www.up-pro.ru/library/production_management/lean/otsech-lyshnee.html (дата обращения: 30.11.2020).

УДК 631.371:621.31.031

В. И. Кашин

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ВЫБОРА АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК

Предлагается предприятиям АПК выбирать автономные источники энергоснабжения исходя из их экономической эффективности и срока окупаемости. Даны предложения, направленные на стимулирование развития зеленой энергетики в республике.

Как известно, под энергоснабжением понимается обеспечение всеми видами энергии и топлива всех отраслей хозяйства: промышленности, сельского хозяйства, транспорта, городского хозяйства и т. д. Нас интересуют предприятия АПК и в основном сельхозтоваропроизводители. Федеральным законом [2] поставлена задача целенаправленно снижать энергоёмкость российской экономики. И особенно остро стоит данная проблема в агропромышленном комплексе, где в себестоимости производимой продукции доля энергозатрат составляет 18...22 %. Вопросам решения этой проблемы в предприятиях АПК посвящена работа [1], в которой автором подробно обосновывается использование автономных источников энергоснабжения.

Рассмотрим структуру потребляемых энергоресурсов в 2013 г. на основе данных энергопаспортов двух предприятий АПК ГУП УР Ордена Ленина племзавод имени 10-летия УАССР и Открытое акционерное общество «Учхоз «Июльское» Ижевской ГСХА» (табл. 1) [3, 4].

Таблица 1 – Структура потребления энергоресурсов ГУП УР Ордена Ленина племзавод имени 10-летия УАССР и АО «Учхоз «Июльское» Ижевской ГСХА

№	Вид энергоресурса	Племзавод им 10-летия УАССР		Учхоз «Июльское» ИжГСХА	
		Т у.т.	%	Т у.т.	%
1	Электрическая энергия	156,70	27,1	739,64	41,4
2	Тепловая энергия			179,95	10,0
3	Котельно-печное топливо (жидкое)	16,49	2,8	186,41	10,4
4	Моторное топливо, всего	344,43	59,6	679,94	38,1
5	Природный газ	61,20	10,5		
Всего		578,82	100	1785,94	100

Как видно из таблицы 1, около 80 % потребляемых организациями энергоресурсов приходится на электроэнергию и моторное топливо. Отсюда следует, что для снижения энергозатрат необходимо искать альтернативу используемому моторному топливу и источникам (поставщикам) электроэнергии.

Целью исследования является выбор автономных источников энергоснабжения, т.е. в первую очередь генерирующих мощностей для электроснабжения (при необходимости и для тепло-снабжения), поэтому альтернатива на используемое моторное топливо не рассматривается.

На автономные источники электроснабжения все чаще обращают внимание потребители электроэнергии. Причина тому – постоянный рост тарифов на электроэнергию, в которых львиную долю составляют тарифы на услуги по передаче и распределению.

Проблемам и перспективам развития мини-ТЭЦ в Удмуртии посвящена статья сотрудников ООО «Лаборатория энергосбережения» [5]. Правда, информация в статье предназначена в основном промышленным предприятиям, но некоторые предприятия АПК, особенно переработки, могут ею воспользоваться.

Автономные источники электроснабжения в настоящее время существуют как традиционные, так и на альтернативной энергетике, образно говоря, «зеленая» энергетика. Если исходить из энергоэффективности (к.п.д.), а отсюда из окупаемости и стоимости производимой электроэнергии, по данным Роснано и Минэнерго России, в 2020 г. цена электроэнергии новых солнечных электростанций в среднем составляет 9,5 руб./кВт-ч, ветряных – 6,3 руб./кВт-ч, АЭС – 5,1 руб./кВт-ч, новых парогазовых установок – 3,6 руб./кВт-ч [6]. С другой стороны, «зеленая» энергетика направлена на снижение потребления невозобновляемых источников энергии. К 2030 г. цена электроэнергии ветряных электростанций снизится до 5,2 руб./кВт-ч, солнечных – до 7,5 руб./кВт-ч, тогда как на АЭС – вырастет до 7,5 руб./кВт-ч, на парогазовых установках – до 5,3 руб./кВт-ч, говорит эксперт [6]. То есть в ближайшие 10–15 лет солнечная и ветряная энергия будет доступна и для предприятий АПК.

Таким образом, стоимость производства электроэнергии существенно ниже при когенерации, т.е. одновременном производстве электрической и тепловой энергии. На предприятиях АПК когенерация в настоящее время возможна в двух случаях:

- при наличии котельной, производящей пар для технологии;
- при строительстве газопоршневой или газотурбинной мини-ТЭЦ.

В 2011 г. АНО «Агентство по энергосбережению Удмуртской Республики» разработало технико-экономическое обоснование для строительства мини-ТЭЦ ЗАО «Кезский сырзавод», являющегося структурным подразделением Агрохолдинга «КОМОС». Согласно ТЭО, срок окупаемости проекта составил в ценах 2010 г. 5 лет. Данное предприятие по переработке продукции в технологии использует пар.

Сравнительная оценка газотурбинных и газопоршневых мини-ТЭЦ показывает, что установка газовых турбин наиболее выгодна на крупных промышленных предприятиях, которые имеют значительные электрические нагрузки (больше 8 МВт), высококвалифицированный персонал для эксплуатации установки и ввод газа высокого давления. По экономике газотурбинные мини-ТЭЦ дороже из-за стоимости оборудования. Газопоршневые мини-ТЭЦ перспективны в качестве основного источника электроэнергии и теплоты на предприятиях самого широкого диапазона деятельности: в промышленности (деревообрабатывающие и химические предприятия); в сельском хозяйстве (тепличные хозяйства, птицефермы и животноводческие комплексы).

Для внедрения альтернативных автономных источников электроснабжения необходима поддержка региональной власти. Приведем некоторые. На уровне региона необходимо принять нормативно-правовой акт, стимулирующий использование «зеленой» энергетики, аналогично принятым в некоторых регионах России, в котором должны быть отражены льготы, привилегии и возможность предприятиям продавать излишки произведенной электроэнергии энергосбытовой компании. Правда, все это возможно при условии активной реализации программы энергосбережения и повышения энергоэффективности со стороны руководства региона.

Выводы:

1. Наиболее энергоэффективными автономными источниками энергоснабжения для предприятий АПК являются газопоршневые мини-ТЭЦ, срок окупаемости которых может быть в пределах 5 лет.
2. Перед выбором мини-ТЭЦ необходимо рассчитать требуемую предприятием мощность как электрическую, так и тепловую.
3. Все вышеуказанное предприятия должны учитывать при выборе автономного источника электроснабжения.

Список литературы

1. Артамонова, Л. П. Создание миниэнергокомплексов на предприятиях АПК / Л. П. Артамонова // Инновационному развитию АПК и аграрному образованию – научное обеспечение: материалы Всероссийск. науч.-практ. конф. 14–17 февр. 2012 г. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2012. – Т. 3. – С. 245–249.
2. Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. Федеральный закон от 23.11.2009г. № 261-ФЗ:

текст с изм. и доп. вступ. в силу с 26.07.2019: [принят Государственной Думой 11 ноября 2009 г.: одобрен Советом Федерации 18 ноября 2009 г.]. – Москва, 2019. – Доступ из справочно-правовой системы КонсультантПлюс.

3. Копия энергетического паспорта Рег. № 146-030-2014-0440 потребителя топливно-энергетических ресурсов Государственное унитарное предприятие Удмуртской Республики «Ордена Ленина племзавод им. 10-лет УАССР». НП СРО «ЭнергоСтандарт». – Ижевск, 2014.

4. Копия энергетического паспорта Рег. № 146-014-2014-0450 потребителя топливно-энергетических ресурсов Открытое акционерное общество «Учхоз «Июльское» Ижевской ГСХА». НП СРО «ЭнергоСтандарт». – Ижевск, 2014.

УДК 621.031.064

**Н. П. Кондратьева, К. А. Батурина,
А. И. Батурин, М. Ю. Бигбашев**
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ОБОСНОВАНИЕ МИГАЮЩЕГО СВЕТОВОГО РЕЖИМА ОБЛУЧЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ ЗЕМЛЯНИКИ

Рассмотрено влияние энергосберегающего импульсного режима облучения растений на их ростовые свойства. Сделан анализ инженерных решений, обеспечивающих мигающий (импульсный) режим, который базируется на световой и темновой стадии фотосинтеза, в течение которых в клетках протекают разные фотохимические реакции. Принимая во внимание наличие световых и темновых стадий фотосинтеза, можно подавать свет (оптическое излучение) импульсно, значительно экономя при этом расходы на электроэнергию. Показано, что импульсный режим оказал положительное воздействие на укореняемость, рост и площадь листовой поверхности меристемной земляники.

Введение. Преобразование энергии оптического излучения в процессе фотосинтеза в химическую энергию у всех видов растений одинаков: за счет восстановления углекислого газа до углеводов энергия оптического излучения трансформируется в химическую энергию органических молекул. Конечными продуктами фотосинтеза являются различные органические вещества – углеводы, белки, жиры и т. д. Оптическое излучение является источником энергии, углекислый газ – источником основного строительного материала растения, а вода – источником водорода при синтезе органических молекул (и кислорода – для атмосферы).

Известен способ импульсного облучения, при котором энергия потока оптического излучения периодически попадает на растения [1, 2, 3], поэтому существуют технические разработки по реализации этого импульсного режима работы [4–8] энергосбережения на этой основе.

На цели облучения (освещения) в защищенном грунте расходуется до 30 % от всей потребляемой в сельском хозяйстве электроэнергии [9, 10]. С постоянным ростом стоимости электроэнергии применение импульсного режима облучения является актуальной задачей [11, 12, 13], поэтому возникает объективная необходимость продолжения исследований импульсного метода облучения в целях экономии электроэнергии и повышения рентабельности овощных культур в защищенном грунте. Для этого необходимо выбрать источники излучения и для них разработать схемы с использованием современных цифровых технологий [14, 15, 16]. Необходимо обосновать параметры режима [17] и обратить внимание на коэффициент пульсации светового потока источников [18] и мощности [19, 20, 21] у электроустановок, работающих в импульсном режиме.

Приводятся результаты опытов по влиянию светодиодного мигающего фитооблучателя на эффективность укоренения микрочеренков меристемной земляники садовой.

Материалы и методы. Опыты проводились в лаборатории Удмуртского научно-исследовательского института сельского хозяйства. Освещенность 75...85 мМоль/м²*сек⁻¹, температура 22...25 °С, относительная влажность воздуха 70–75 %, фотопериод 16 часов [21, 22, 23]. Исследовались микрочеренки земляники садовой сорта «Корона» и земляники ремонтантной сорта «Брайтон». Сравнивались два режима облучения: непрерывный (контроль) и мигающий (экспериментальный). Мигающий фитооблучатель разработан аспирантами кафедры автоматизированного электропривода Ижевской государственной сельскохозяйственной академии [24, 25, 26]. Он состоит из двух светильников, по шестнадцати светодиодов на каждом. Скважность импульсов задавал программируемый микроконтроллер. Генератором импульсов является кварцевый генератор. В схеме используется один цифровой инвертор, один резистор, два конденсатора и кристалл кварца, который действует как высокоизбирательный элемент фильтра. Для реализации необходимого алгоритма используется схемное решение на микросхеме низкой интеграции серии К 561. Для преобразования напряжения использован понижающий однофазный трансформатор [27].

Каждый вариант насчитывал по 10 растений, повторность опыта четырехкратная. Длину ростов и корней измеряли линейкой. Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась по методу дисперсионного анализа по Доспехову Б. А. [28].

Результаты исследований. Экспериментальный LED мигающий фитооблучатель оказал существенное положительное влияние на укореняемость микрочеренков земляники (табл. 1). Так, укореняемость микрочеренков земляники сорта Корона составила 95,0 % (в контроле 90,0 %) при наименьшей существенной разности ($НСР_{05}$), равной 3,6 %. Укореняемость микрочеренков земляники сорта Брайтон увеличилась до 90,0 % (в контроле 80,0 %) при $НСР_{05}$ 8,2 % (табл. 1).

Таблица 1 – Укореняемость микрочеренков земляники в зависимости от режима работы фитооблучателя, %

Режим работы	Сорт Корона	Сорт Брайтон
непрерывный (контроль)	90,0	80,0
мигающий	95,0	90,0
$НСР_{05}$	3,6	8,2

Использование мигающего режима не привело к вытягиванию розеток: по сравнению с непрерывным, то есть по сорту Корона высота розеток составила 20 мм (контроль 25 мм) при $НСР_{05} = 4$ мм. Аналогично по сорту Брайтон – 26 мм (контроль 21). У сорта Корона мигающий режим способствовал значительному увеличению числа нормально развитых листьев до 7,2 шт. (контроль 6,0 шт.) при $НСР_{05} = 0,8$ шт. У сорта Брайтон выявлена обратная тенденция, то есть уменьшение числа нормально развитых листьев до 4,5 шт (в контроле 5,6 шт.) при $НСР_{05} = 0,7$ шт. Мигающий режим способствовал также достоверному увеличению длины корней у сорта Брайтон от 15 мм до 21 мм при $НСР_{05} = 5,0$ мм, по сорту Корона длина корней выросла незначительно с 17 мм до 20 мм, ($НСР_{05} = 4,0$ мм).

Результаты экспериментов приведены в таблице 2.

Мигающий режим у сорта Корона по сравнению непрерывным динамике способствовал увеличению площади листьев 30 % (с 262,2 мм² до 348,0 мм²).

Мигающий режим у сорта Брайтон по сравнению с непрерывным способствовал увеличению площади листовой поверхности на 21 % (с 249,7 мм² до 302,1 мм²).

Таким образом, импульсное облучение в сравнении с люминесцентным, применение экспериментального светодиодного мигающего фитооблучателя в клональном микроразмножении земляники на этапе укоренения способствовало:

Таблица 2 – Биометрические показатели микрорастений земляники садовой в зависимости от режима облучения и сорта

Биометрические показатели	Сорт			
	Корона		Брайтон	
	непрерывный (контроль)	мигающий	непрерывный (контроль)	мигающий
Высота розеток, мм, при НСР ₀₅ = 4,0 мм	25,0	20,0	26,0	21,0
Число нормально развитых листьев, шт.	6,0	7,2	5,6	4,5
НСР ₀₅	0,8		0,7	
Длина корней, мм	17,0	20,0	15,0	21,0
НСР ₀₅	4,0		5,0	

Таблица 3 – Сравнение влияния режимов облучения на показатели роста

Показатели роста	Режим облучения	
	Импульсный	Непрерывный
Укореняемость	Повышается	-
Число нормально развитых листьев	Увеличивается	-
Общая площадь листовой поверхности	Увеличивается	-
Вытягивание стебля	Уменьшается	+

К концу эксперимента все укоренившиеся микрорастения земляники по высоте розетки, числу нормально развитых листьев и длине корней соответствовали ГОСТ Р 54051-2010.

Список литературы

1. Большина, Н. П. Облучательные установки с газоразрядными лампами в промышленном цветоводстве: дисс. ... учен. степ. канд. техн. наук / Н. П. Большина. – Москва: Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства. –1985. – 137 с.
2. Кондратьева, Н. П. Обеспечение режимов искусственного облучения растений / Н. П. Кондратьева, С. А. Овчукова, В. А. Козинский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1984. – № 10. – С. 55–57.

3. Патент № 2554982 «Способ энергосберегающего импульсного облучения растений и устройство для его осуществления» / А. Э. Пацуков, С. А. Ракутько, 2008.
4. Капитанов, А. В. Разработка устройства для импульсного облучения растений // А. В. Капитанов, И. В. Бушуев // Труды Костромской сельскохозяйственной академии. – Караваево, 2016. – С. 205–208.
5. Кондратьева, Н. П. Реализация комбинированного режима облучения растений разрядными лампами / Н. П. Кондратьева, Е. А. Козырева, Р. Г. Кондратьев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 10. – С. 28.
6. Кондратьева, Н. П. Комбинированному режиму облучения тепличных растений – инженерные разработки / Н. П. Кондратьева, Е. А. Козырева, Р. Г. Кондратьев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 6. – С. 4–5.
7. Кондратьева, Н. П. Обоснование параметров комбинированного режима облучения растений на основе особенностей фотосинтеза / Н. П. Кондратьева, М. Г., Лещев А. С. Краснолуцкая, Р. Г. Большин // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА. – Чебоксары, 2016. – С. 431–435.
8. Kondrateva, N. P. The effect of greenhouse irradiators on the load factor of step-down transformers / N. Kondrateva, P. Terentyev, D. Filatov, I. Maksimov, N. Kirillov, S. Ovchukova, L. Rybakov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International AgroScience Conference, AgroScience. – 2019/2020. – P. 012051.
9. Kondrateva, N. P. Dependence of current harmonics of greenhouse irradiators on supply voltage / N. P. Kondratieva, D. A. Filatov, P. V. Terentiev // Light & Engineering. – 2020. – Т. 28. – № 2. – P. 85–88.
10. Кондратьева, Н. П. Экспериментальные исследования температуры нагрева тепличных облучательных установок / Н. П. Кондратьева, Д. А. Филатов, П. В. Терентьев, Б. Г. Зиганшин // Вестник Казанского ГАУ. 2020. – Т. 15. – № 1 (57). – С. 76–80.
11. Кондратьева, Н. П. Сравнительная оценка основных характеристик натриевых и светодиодных тепличных облучателей / Н. П. Кондратьева, Д. А. Филатов, П. В. Терентьев, А. С. Аль-Хелю // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т. 14. – № 1. – С. 50–54.
12. Kondrateva, N. P. Energy-saving electric equipment applied in agriculture / N. P. Kondrateva, R. G. Bolshin, V. V. Belov, M. G. Krasnolutskaaya // International Science and Technology Conference "EastConf", EastConf 2019. – P. 8725329.
13. Bolshin R. G. Irradiating set with uv diodes and microprocessor system of automatic dose control / R. G. Bolshin, N. P. Kondratieva, M. G. Krasnolutskaaya // Light & Engineering. – 2019. – Т. 27. – № 6. – С. 127–132.

14. Кондратьева, Н. П. Обоснование применения комбинированного режима облучения растений, учитывающего особенности процесса фотосинтеза / Н. П. Кондратьева, М. Г. Краснолуцкая, А. С. Лещев, Р. Г. Большин // Агротехника и энергообеспечение. – 2016. – № 3(12). – С. 5–16.

15. Кондратьева, Н. П. Сравнительный анализ коэффициента пульсации разрядных и светодиодных источников света для растениеводства / Н. П. Кондратьева, П. В. Терентьев, Д. А. Филатов // Вестник НГИЭИ. – 2019. – № 9 (100). – С. 46–56.

16. Кондратьева, Н. П. Коэффициент мощности облучательных установок с разрядными лампами, работающими в комбинированном режиме / А. П. Коломиец, Н. П. Кондратьева, И. Р. Владыкин // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды Международной научно-технической конференции. – Москва, 2004. – Т. 3. – С. 237–241.

17. Kondrateva N. P. Dependence of current harmonics of greenhouse irradiators on supply voltage / N. P. Kondratieva, D. A. Filatov, P. V. Terentiev // Light & Engineering. – 2020. – Т. 28. – № 2. – С. 85–88.

18. Кондратьева, Н. П. Эффективность микропроцессорной системы автоматического управления работой светодиодных облучательных установок / Н. П. Кондратьева, Р. И. Корепанов, И. Ильясов, Р. Г. Большин, М. Г. Краснолуцкая, Е. Н. Сомова, М. Г. Маркова // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – Т. 12. – № 3. – С. 32–37.

19. Кондратьева, Н. П. Разработка системы автоматического управления электрооборудованием для реализации энергосберегающих электротехнологий / Н. П. Кондратьева, И. Р. Владыкин, И. А. Баранова, С. И. Юран, А. И. Батурин, Р. Г. Большин, М. Г. Краснолуцкая // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 6(85). – С. 36–49.

20. Кондратьева, Н. П. Инструментальный программный комплекс промышленной автоматизации "CODESYS" и "ZELIO SOFT» / Н. П. Кондратьева, И. Р. Владыкин, И. Р. Баранова: практикум. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ижевск, 2020.

21. Микропроцессорные системы управления: учебное пособие / Н. П. Кондратьева, А. П. Коломиец, И. Р. Владыкин, И. Р. Баранова. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2016.

**Н. П. Кондратьева, В. К. Ваштиев,
А. В. Радикова, А. А. Шишов**
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СЕТЕЙ 6–10 кВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Повышение надежности эксплуатации электрооборудования в настоящее время является актуальной задачей, для решения которой целесообразно использовать цифровые технологии, позволяющие автоматизировать процесс управления работой электрооборудования при его эксплуатации. При этом немаловажную роль играет надежное электроснабжение предприятий, которое невозможно без своевременного выявления нарушения изоляции в сетях 6–10 кВ. Поэтому использование цифровых технологий для повышения надежности эксплуатации электрооборудования и при мониторинге целостности изоляции в сетях с изолированной нейтралью 6–10 кВ является актуальной задачей.

Применение цифровых технологий для повышения надежности эксплуатации электрооборудования и автоматического мониторинга целостности изоляции сетей 6/10 кВ неразрывно связано с разработкой автоматизированных систем или цифровых приборов, что позволяет увеличить надежность системы эксплуатации и скорость реагирования на тот или иной фактор [1, 2]. В настоящее время одной из основных нерешенных проблем при эксплуатации разветвленной системы электроснабжения 6/10кВ является нестабильное нарушение изоляции. Цифровые устройства для автоматизации процесса управления базируются на программируемых логических контроллерах [3]. Для решения широкого спектра задач по автоматизации управления сельскохозяйственными комплексами сложно подобрать типовое решение [4, 5], поэтому разработка концепта автоматизированной системы управления электрооборудованием в сельскохозяйственных комплексах для повышения его энергоэффективности является актуальной задачей.

Задачей исследования является рассмотрение возможности использования цифровых технологий для повышения надежности эксплуатации электрооборудования и для упрощения идентификации результатов проверки мест повреждений изоляции в сетях с изолированной нейтралью.

В качестве *примера* рассмотрим задачу автоматизации теплицы в минималистическом варианте. Для нашего случая автоматизация будет состоять из системы закачки воды в резервуар и полива, системы вентиляции, датчиков: уровня воды, температуры воздуха, влажности почвы.

Все исполнительные механизмы должны быть электромеханическими, а датчики электронными. Так, например, система закачки воды и полива должна состоять из насоса, электромагнитного клапана, датчика уровня воды и влажности почвы, а система контроля температуры воздуха – из датчика температуры и вентиляции.

Исполнительные механизмы будут подключены через реле и прочие коммутационные устройства к *блоку силового управления (БСУ)*, которые по определенному протоколу связи взаимодействуют с *центральной блоком (ЦБ)* – это может быть как беспроводная, так и проводная связь. Сенсоры находятся в *блоках сбора данных (БСД)*, которые оцифровывают снятые показания и передают ЦБ. Алгоритмы действий центрального блока задаются через персональный компьютер (ПК), а дальнейший мониторинг за состоянием системы возможен через смартфон.

Автоматизированная система управления электрооборудованием физически включает три основных типа устройств и опционные дополнения:

- Центральный блок – плата, содержащая все алгоритмы управления исполняющими механизмами, организует взаимосвязь между всеми элементами системы.

- Блок силового управления – периферийная плата, находящаяся непосредственно возле исполнительного узла, исполняющая команды центрального блока, может иметь собственные датчики контроля. Например, механизм, заполняющий резервуар водой, должен иметь связь с датчиком контроля уровня заполнения.

- Блок сбора данных – периферийная плата, служит для сбора и передачи информации центральному блоку о состоянии окружающей среды посредством соответствующих сенсоров.

- Блок мониторинга – опционная часть системы, может состоять как из отдельного LCD или LED монитора с элементами управления, так и в виде программы на смартфоне или ПК пользователя.

Все блоки имеют свою плату с микроконтроллером семейства STM32 и соответствующей периферией. Питание осуществляется литий-полимерным аккумулятором и блоком питания от сети. Корпус всех устройств имеет класс защиты не ниже IP65.

Передача внутри системы осуществляется на физическом уровне как по проводам, так и по радио каналу. В проводной сети используется стандарт промышленной сети CAN. Беспроводная сеть организуется по протоколу ZigBee для малых по площади систем или LoRaWAN при необходимости в разнесении конечных устройств на большие расстояния.

Эти протоколы были выбраны из-за обеспечения надежной передачи небольших объемов данных при малой энергопотере.

Центральный блок имеет выход наружу системы по самым распространённым протоколам: Wi-Fi, GPS, bluetooth и RS485 для интеграции с промышленными сетями. Таким образом, появляется возможность контроля и управления системой по средствам интернета, что вписывает данную разработку в категорию «Интернет-вещей».

Основные концептуальные характеристики автоматизированной системы управления электрооборудованием в сельском хозяйстве (АСУЭСХ) следующие:

- надежность,
- легкость эксплуатации и настройки,
- максимальная автономность,
- модульность,
- поддержка распространенных стандартов передачи информации.

В отношении цифрового устройства для выявления нарушений изоляции в системе электроснабжения с изолированной нейтралью, оно должно содержать высоковольтные провода подключения, блоки коммутации и сравнения напряжений, модулятор, кнопочную панель, дисплей. Оно должно мониторить и определять место повреждения изоляции в распределительной сети последовательно на всех секциях шин подстанции. При этом выбирается такая высоковольтная линия электропередачи с коммутационным аппаратом, которую можно без потери электроснабжения вывести в ремонт. При этом предлагаемое устройство должно эффективно выявлять скрытые нарушения изоляции в распределительных сетях, предотвращать их развитие до момента возникновения аварийных ситуаций, легко идентифицировать характер повреждения и выводить на дисплей.

Заключение. Применение цифровых технологий для повышения надежности эксплуатации электрооборудования могут использоваться в различных сферах сельского хозяйства, однако первоначально целевой аудиторией являются небольшие предприятия всех форм собственности и фермерские хозяйства.

Цифровые технологии для упрощения идентификации результатов проверки мест повреждений изоляции в сетях с изолированной нейтралью позволят снизить вероятность потери напряжения на питающих фидерах объектах сельского хозяйства, что в свою очередь приведет к надежной эксплуатации электрооборудования на предприятиях АПК, например, таких, как тепличные комбинаты и.т.п.

Список литературы

1. Тройников, И. А. Сети телемеханики напряжением более 4 квт / И. А. Тройников, Н. П. Кондратьева // Современному АПК – эффективные технологии: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию доктора с.-х. наук, профессора, заслуженного деятеля науки Российской Федерации, почетного работника высшего профессионального образования Российской Федерации В. М. Макаровой. – Ижевск, 2019. – С. 143–149.
2. Кондратьева, Н. П. Выбор кабельных линий 0,4 кВ для тепличных комбинатов / Н. П. Кондратьева, Д. А. Филатов, П. В. Терентьев // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2019. – № 2 (35). – С. 17–25.
3. Kondrateva, N. The effect of greenhouse irradiators on the load factor of step-down transformers // N. Kondrateva, P. Terentyev, D. Filatov, I. Maksimov, N. Kirillov, S. Ovchukova, L. Rybakov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International AgroScience Conference, AgroScience 2019. – 2020. – P. 012051.

УДК 621.315.2; 621.316.15

В. А. Руденок, Н. П. Кондратьева
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ЭФФЕКТ СИНЕРГИЗМА ПРИ ПОДГОТОВКЕ СЕМЯН КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ПРЕПАРАТОМ НАНОКРЕМНИЯ С ПОСЛЕДУЮЩИМ УФ-ОБЛУЧЕНИЕМ

Приведены результаты опытов по воздействию раствора нанокремния на длину ростков и корней проросших семян. Опыты показали, что эта обработка увеличивает скорость роста растения в начальный период развития семян. Положительное влияние на семена оказывает и УФ-облучение. Оба вида воздействия привели к эффекту синергизма. Проведенные исследования продемонстрировали возможность активного воздействия на процесс проращивания семян при использовании недорогих и доступных наносистем.

Физико-химические методы воздействия на процессы развития растений находят все большее распространение в агротехнике [1, 2, 3]. В частности, влияние наноконпозиций на развитие сельскохозяйственных культур изучается в последнее время все интенсивнее. Часто это такие композиции, как нанотрубки [4, 5, 6]. При этом проводятся сравнительные исследования наноконпозиций, включающих металлы, входящие в перечень необходимых растениям микроэлементов. Это медь, цинк, марганец, никель и др. Однако известно, что эта разновидность наноматериалов конструктивно представляет собой металлический стержень, обернутый пленкой из графита. Очевидно, что перечисленные металлы не способны взаимодействовать с растением на любой стадии его развития. Они изолированы от растительной ткани слоем графита, крайне инертного по отношению к растениям. Кроме того, в качестве микроэлемента в природе выступают обычно ионы металлов, но никак не сами металлы. Следовательно, со стороны нанотрубок возможно только энергетическое воздействие на биологический объект, независимо от их состава [7, 8, 9]. Благодаря крайне малым размерам наночастиц они обладают огромным суммарным запасом поверхностной энергии. Возможно, их силовые поля воздействуют, например, на семена, ускоряя естественные биологические процессы в них, и тем самым сокращают время прорастания семян и развития их ростков. Если это так, то нецелесообразно использовать дорогостоящие нанотрубки для сокращения сроков прорастания и развития растений на ранних этапах их развития. Более полезными с точки зрения стоимости обработки могут быть наноконпозиции на основе более доступных материалов, более привычных для развивающихся растений. Например, кремний, составляющий основу почвенного вещества, с которым взаимодействует развивающееся растение. Необходимо только перевести кремний в наносостояние.

Технология синтеза нанокремния на основе аэросила предложена Т. А. Ваграмяном. В соответствии с ней мелкодисперсный оксид кремния взаимодействует с аминопроизводным органическим соединением, образуя кремнийорганическое соединение. Авторы разрабатывали эту композицию для использования в технологии нанесения лакокрасочных материалов на стальные изделия в качестве подслоя для обеспечения более прочного сцепления покрытия с основой. Поскольку в нашем случае дисперсность исходного оксида кремния не была критичной, для получения крем-

нийорганического соединения использовали обычный речной песок. Длительное перемешивание исходной композиции позволило получить полупродукт, легко растворимый в воде. Это позволило подвергнуть продукт гидролизу. В результате гидролиза синтезированное на первом этапе кремнийорганическое соединение образует коллоидную систему. Известно, что коллоидные растворы – это полные аналоги тех систем, которые сегодня принято называть наносистемами. Для предпосевной обработки семян из полученного концентрата готовили водный раствор, содержащий один грамм препарата на литр. Для того, чтобы убедиться, что полученный раствор представляет собой коллоидную систему, пропускали через него луч лазера. В отличие от чистой воды в полученном растворе луч при наблюдении сбоку был четко виден. Это так называемый «конус Тиндаля», появление которого и является отличительным признаком коллоидных растворов от растворов истинных.

Полученным раствором опрыскивали семена из пульверизатора, и после выдержки в течение суток помещали в чашку Петри, по сто семян в каждую, на слой влажной фильтровальной бумаги для проращивания. На каждый вид обработки брали по три параллельных закладки, всего на опыт двенадцать чашек. Через четверо суток измерили длину ростков и корней проросших семян. Усредненные значения результатов замеров приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние обработки семян препаратом нанокремния на развитие семян в период прорастания

Части растения	Подготовка семян обработкой нанораствором	Длина культуры, мм	
		Тритикале	Пшеница
Стебли	Без обработки	33,9	49,5
	Обработанные	39,2	70,8
Корни	Без обработки	58,75	48,5
	Обработанные	62,9	66,6

В таблице 1 приведены усредненные значения длины стеблей растений и их корней для проросших семян без обработки и после обработки нанораствором опрыскиванием. Из таблицы 1 видно, что семена после обработки дали более длинные стебли и корни. Это свидетельствует о том, что обработка семян перед посевом раствором нанокремния существенно увеличивает скорость роста растения в начальный период развития семян.

Авторы проводили исследования по влиянию УФ-излучения [10, 11, 12] и одновременному воздействию УФ-излучения и нанокремния.

В таблице 2 приведены результаты влияния УФ-облучения и препарата «Нанокремний» на формирование проростков и силу роста.

Таблица 2 – Влияние УФ-облучения и препарата «Нанокремний» на формирование проростков культур

Предпосевная обработка	Длина ростка, см	Длина корня, см
Клевер луговой «Ранний 2»		
Без обработки (контроль)	3,1	1,5
УФ-облучение	2,5	0,8
НаноКремний	2,0	1,0
УФ-облучение + НаноКремний	2,6	1,3
НаноКремний + УФ-облучение	2,8	0,8
Люцерна изменчивая «Виктория»		
Без обработки (контроль)	2,2	1,3
УФ-облучение	2,2	1,6
НаноКремний	2,1	1,2
УФ-облучение + НаноКремний	2,3	1,5
НаноКремний + УФ-облучение	2,4	1,5

Анализ таблицы 2 показывает, что наибольшую длину ростка клевера лугового 2,8 см наблюдали в варианте «Нанокремний» + УФ-облучение, а длину корня 1,3 см – в варианте УФ-облучение + «Нанокремний», что на уровне контроля без обработки – 3,1 и 1,5 см соответственно.

Положительные результаты дала УФ-обработка семян хвойных культур [13, 14, 15]. При использовании УФ-облучения необходимо использовать цифровые технологии для поддержания требуемой дозы [16, 17, 18]. При реализации эффекта синергизма также необходимо разработать эффективные энергосберегающие технологии, позволяющие рационально использовать и нанокремний, и электроэнергию [19, 20, 21] с возможностью применения интеллектуальных систем учета [22]. Для этого необходимо воспользоваться, например, опытом моделирования основных физических процессов в биологических и технических системах [23, 24, 25, 26].

Проведенные исследования продемонстрировали возможность получения *эффекта синергизма при подготовке семян*

пшеницы и других культур препаратом нанокремния с последующим УФ-облучением за счет активного воздействия на процесс прорастания семян, используя недорогие и доступные наносистемы.

Список литературы

1. Касаткина, Н. И. Влияние предпосевной обработки семян многолетних бобовых культур на их прорастание / Н. И. Касаткина, Ж. С. Нелюбина, Н. П. Кондратьева, В. А. Руденок // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2020. – № 5. – С. 30–33.

2. Мазунина, Н. И. Предпосевная обработка семян ячменя химическими растворами / Н. И. Мазунина, О. С. Тихонова, В. А. Руденок // Современному АПК – эффективные технологии: м-лы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию д-ра с.-х. наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ, почетного работника высшего профессионального образования РФ В. М. Макаровой. Отв. за выпуск доктор с.-х. наук, профессор И. Ш. Фатыхов. – Ижевск, 2019. – С. 285–288.

3. Мазунина, Н. И. Предпосевная обработка семян ячменя коллоидными растворами / Н. И. Мазунина, О. С. Тихонова, В. А. Руденок // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству: м-лы Международной научно-практической конференции. – Ижевск, 2019. – С. 55–58.

4. Хохрякова, А. Т. Нанодобавка из барды спиртового брожения [Электронный ресурс] / А. Т. Хохрякова, К. В. Тюлькина, У. А. Багимова, В. А. Руденок, Г. Н. Аристова // Научные труды студентов Ижевской ГСХА. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2019. – № 2 (9). – С. 148–149.

5. Хакимов, Е. И. Методика массового измерения площади листьев / Е. И. Хакимов, В. А. Руденок // Химия и жизнь: сборник XVII Международной научно-практической студенческой конференции. – Новосибирск, 2018. – С. 222–225.

6. Руденок, В. А. Микроэлементы в наноформе / В. А. Руденок // Воспроизводство плодородия почв и их рациональное использование: м-лы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения доктора с.-х. наук, заслуженного деятеля науки Удмуртской Республики, почетного работника высшей школы РФ профессора В. П. Ковриго. – Ижевск, 2018. – С. 321–322.

7. Строт, Т. А. Влияние предпосевной обработки семян клюквы препаратом нанокремния на их прорастание / Т. А. Строт, В. А. Руденок // Актуальные проблемы природообустройства: геодезия, землеустройство, кадастр и мониторинг земель: сборник Международной научно-практической конференции: сборник статей. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2017. – С. 150–151.

8. Хакимов, Е. И. Методика массового измерения площади листьев / Е. И. Хакимов, В. А. Руденок // Научное обоснование технологии интенсификации

сельскохозяйственного производства: м-лы Международной научно-практической конференции в 3-х томах. – Ижевск, 2017. – С. 153–156.

9. Руденок, В. А. Экспресс-метод оценки жизнеспособности черенков садовой клюквы формы Франклин / В. А. Руденок, Д. Д. Корепанова // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – Т. 4. – С. 262–264.

10. Kondrateva N. P. The effect of greenhouse irradiators on the load factor of step-down transformers / N. Kondrateva, P. Terentyev, D. Filatov, I. Maksimov, N. Kirillov, S. Ovchukova, L. Rybakov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International AgroScience Conference, AgroScience 2019. – 2020. – P. 012051.

11. Kondrateva N. P. Effect of treatment of seeds of grain crops by ultraviolet radiation before sowing / N.P. Kondrateva, K. A. Baturina, I. R. Ilyasov, R. I. Korpanov, N. I. Kasatkina, A. G. Kuryleva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International AgroScience Conference, AgroScience 2019. 2020. – P. 012039.

12. Kondrateva N. P. Effect of ultraviolet radiation the germination rate of tree seeds / N. P. Kondrateva, M. G. Krasnolutsкая, N. V. Dukhtanova, N. V. Obolensky // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Jubilee Scientific and Practical Conference "Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)". – 2019. – P. 012049.

13. Кузьмин, А. С. История развития автоматики для регулирования параметров микроклимата / А. С. Кузьмин, В. В. Капитонов // Научные труды студентов Ижевской ГСХА. [Электронное издание]. Отв. за вып. Н. М. Итешина. – Ижевск, 2020. – № 1 (10). – С. 1581–1585.

14. Курьлева, А. Г. Эффективность ультрафиолетового облучения семян зерновых культур / А. Г. Курьлева, Н. П. Кондратьева // Пермский аграрный вестник. – 2019. – № 4(28). – С. 47–52.

15. Кондратьева, Н. П. Предпосевная обработка семян декоративных растений хвойных пород ультрафиолетовым излучением / Н. П. Кондратьева, Д. А. Корепанов, М. Г. Краснолуцкая, Р. Г. Большин // Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. – № 2(23). – С. 45–54.

16. Кондратьева, Н. П. Разработка УФ светодиодной (LED) облучательной установки для предпосевной обработки семян / Н. П. Кондратьева, Р. Г. Большин, М. Г. Краснолуцкая // Актуальные проблемы энергетики АПК: м-лы VII Международной научно-практической конференции. Под общ. ред. В. А. Трушкина. – Саратов, 2016. – С. 93–96.

17. Кондратьева, Н. П. Инструментальный программный комплекс промышленной автоматизации "CODESYS" и "ZELIO SOFT»: практикум / Н. П. Кондратьева, И. Р. Владыкин, И. А. Баранова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ижевск, 2020.

18. Кондратьева, Н. П. Цифровые электротехнологии для управления поведением насекомых / Н. П. Кондратьева, Д. В. Бузмаков, И. Р. Ильясов, Р. Г. Большин, М. Г. Краснолуцкая // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – Т. 67. – № 3(40). – С. 9–16.
19. Kondrateva N. P. Dependence of current harmonics of greenhouse irradiators on supply voltage / N. P. Kondrateva, D. A. Filatov, P. V. Terentiev // Light & Engineering. – 2020. – Т. 28. – № 2. – С. 85–88.
20. Русских, Т. Т. Энергосберегающая технология сушки семян в камерной зерносушилке напольного типа / Т. Т. Русских // Научные труды студентов Ижевской ГСХА. – Ижевск, 2020. – № 1 (10). – С. 1496–1500.
21. Векшин, И. Л. Анализ существующих систем автоматического управления освещением / И. Л. Векшин // Научные труды студентов Ижевской ГСХА. – Ижевск, 2020. – № 1 (10). – С. 1447–1453.
22. Борисов, М. М. Развитие интеллектуальных систем учета электрической энергии в Российской Федерации / М. М. Борисов, Р. В. Павлов // Научные труды студентов Ижевской ГСХА. – Ижевск, 2020. – № 1 (10). – С. 1441–1444.
23. Oskin S. V. Modeling of thermophysical processes in electrically heated hives / S. V. Oskin, D. A. Ovsyannikov // Biophysics. 2020. – Т. 65. – № 2. – Р. 331–337.
24. Оськин, С. В. Моделирование основных физических процессов в биологических и технических системах сельского хозяйства / С. В. Оськин, Д. С. Цокур, И. Н. Шишигин, А. А. Лоза // Сельский механизатор. – 2020. – № 7. – С. 25–27.
25. Оськин, С. В. Имитационное моделирование для оптимизации состава почвообрабатывающих агрегатов при возделывании зерновых культур / С. В. Оськин, Б. Ф. Тарасенко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 106. – С. 529–549.
26. Oskin, S. V. Complex approach to the processing technology of cereal and grain crops. / S. V. Oskin, B. F. Tarasenko // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 87. – № 3. – С. 75.

Н. П. Кондратьева, В. А. Руденок
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПУСКОЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Разработана технология защиты поверхности контактов пускозащитной аппаратуры при эксплуатации электрооборудования от коррозионного воздействия агрессивных составляющих атмосферы в помещениях животноводства и растениеводства защищенного грунта.

Введение. При эксплуатации электрооборудования в сельскохозяйственных сооружениях необходимо учитывать условия окружающей среды [1, 2].

Сельскохозяйственные помещения отличаются высоким содержанием химически активных веществ в сочетании с высокой влажностью окружающей среды (животноводческие помещения), запыленностью (мельницы, зернотока, деревообделочные мастерские). Кроме того, электродвигатели часто работают на открытом воздухе, подвергаясь непосредственному воздействию атмосферных влияний [3, 4].

Наиболее агрессивное включение атмосферы помещений – *аммиак*, содержание которого в животноводческих помещениях колеблется в широких пределах (в свинарниках – 0,2...0,04, в коровниках – 0,05...0,018 мг/л при максимуме в ночные часы).

Относительная влажность достигает 90...98 % [5, 6]. *Сероводород* в помещениях находится в малом количестве (0,001 мг/л). *Углекислый газ*, взаимодействуя с водой, образует слабую неустойчивую кислоту, существенно не влияющую на изоляцию, но усиливающую коррозию металлов.

При таких тяжелых условиях окружающей среды и малом числе часов работы в сутки, электродвигатели не успевают «самоосушиться», сопротивление изоляции электрооборудования быстро снижается. Поэтому эксплуатация электрооборудования в сельскохозяйственных сооружениях происходит в среде с относительной влажностью до 90. . .100 % при содержании паров аммиака до 0,2 мг/л [7, 8].

Эксплуатация электрооборудования невозможна без пускозащитной аппаратуры (ПЗА), контакты которых подвержены воздействию агрессивной атмосферы помещений. В результате этого поверхность контактов покрывается слоем продуктов коррозии. Это резко повышает переходное сопротивление в месте контакта, повышая температуру нагрева контактов. Механическая очистка узлов контакта практически невозможна, поэтому мы предлагаем эффективный и недорогой метод защиты поверхностей металла от воздействия агрессивных составляющих атмосферы [9, 10].

Мы предлагаем для защиты контактов использовать тонкий слой стеариновой кислоты [11, 12]. Обработка переключателя производится раствором стеарина в четыреххлористом углероде или другом растворителе. Наносится раствор местно или распылением в виде аэрозоля. После высыхания раствор оставляет на контактной поверхности тонкую пленку стеариновой кислоты, которая характеризуется низкой пористостью и поэтому хорошо защищает металлическую поверхность от воздействия атмосферы [13, 14].

Защитную способность пленки мы исследовали в газовой камере отдельно в атмосфере 10 % об. газов: сероводорода, аммиака, или сернистого ангидрида при температуре 40°C и повышенной влажности. Сравнительные испытания медных и алюминиевых проводников в этих условиях показали, что в течение часа незащищенные образцы покрывались толстым слоем коррозии, а обработанные образцы остались неизменными. Воздействие атмосферы на контакты в реальных условиях менее агрессивно, чем в наших испытаниях и поэтому такая обработка контактов ПЗА будет эффективной [15, 16]. Немаловажным является вопрос воздействия слоя стеарина на величину переходного сопротивления в контактах. Переходное сопротивление испытывали у образцов медных и алюминиевых цилиндров диаметром 1мм и длиной 30мм. Испытания проводились в устройстве, в котором проводники накладывались друг на друга горизонтально, под углом 90°. На верхний образец накладывался груз 10г. К двум концам образцов, по одному от каждого из них, подключали источник питания постоянным током напряжением 10В. К другой паре концов подключался чувствительный гальванометр.

Испытания показали, что падение напряжения в контакте в парах без покрытия и с покрытием стеарином практически не отличались.

Следовательно, проведенная обработка не повышает переходное сопротивление в контактной группе. Очевидно, предлагаемая технология защиты контактов может оказаться перспективной на практике.

Методика защиты контактов испытана в условиях хозяйства [17]. Измеряли температуру нагрева контактов ПЗА без обработки и обработанных стеариновой кислотой. Температуру измеряли пирометром. Результаты приведены в таблице:

Таблица 1 – Измерение температуры контактов ПЗА без обработки и после обработки стеариновой кислотой

Фаза	Контакты не обработаны		Контакты обработаны	
	Ток, А	Температура, °С	Ток, А	Температура, °С
А	172	96	173	28
В	168	98	197	67
С	167	78	180	18

Приведенные результаты наглядно показывают высокую эффективность предлагаемой методики защиты контактов коммутирующих устройств от коррозии. При этом методика в своем осуществлении остается простой и доступной.

Длительность действия защитных свойств покрытия из стеариновой кислоты на контакты ПЗА при эксплуатации электрооборудования в условиях сельского хозяйства является задачей на перспективу.

Список литературы

1. Кондратьева, Н. П. Электропривод: учебное пособие / Н. П. Кондратьева, И. Р. Владыкин, В. А. Баженов, М. Г. Краснолуцкая, Р. Г. Большин. – Ижевск, 2020. – 85 с.
2. Оськин, С.В. Требования к устройствам защиты электродвигателей от аварийных режимов работы / С. В. Оськин, Г. М. Оськина // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2002. – № 402 (430). – С. 3–8.
3. Оськин, С.В. Безитерационный метод расчетов скольжения асинхронного двигателя в задачах сельскохозяйственного электропривода / С. В. Оськин, И. Г. Стрижков, Е. Н. Чеснюк // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского ГАУ. – 2017. – № 133. – С. 347–364.
4. Оськин, С.В. Защита двигателей в регулируемых электроприводах насосов водоотводящих систем / С. В. Оськин, А. В. Мирошников // Сельский механизатор. – 2020. – № 2. – С. 24–25.

5. Кондратьева, Н. П. Электропривод: практикум по дисциплине «Электропривод» / Н. П. Кондратьева, И. Р. Владыкин, В. А. Баженов, М. Г. Краснолуцкая, Р. Г. Большин, А. И. Батурин. – Ижевск, 2019. – 2-е издание, перераб. и доп. – 75 с.
6. Кондратьева, Н. П. Экспериментальные исследования температуры нагрева тепличных облучательных установок / Н. П. Кондратьева, Д. А. Филатов, П. В. Терентьев, Б. Г. Зиганшин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 15. – № 1 (57). – С. 76–80.
7. Кондратьева, Н. П. Электропривод [Электронное издание] / Н. П. Кондратьева. – Ижевск, 2019.
8. Kondrateva N. P. Energy-saving electric equipment applied in agriculture / N. P. Kondrateva, R.G. Bolshin, V. V. Belov, M.G. Krasnolutskaaya // International Science and Technology Conference "EastConf", EastConf 2019. – 2019. – P. 8725329.
9. Кондратьева, Н. П. Разработка эффективного средства защиты электрических контактов от воздействия окружающей среды / Н. П. Кондратьева, В. А. Руденок, И. Р. Владыкин, Г. Н. Аристова, Р. Г. Большин, М. Г. Краснолуцкая // Инновации в сельском хозяйстве. – 2018. – № 1 (26). – С. 45–50.
10. Руденок, В. А. О контактной коррозии / В. А. Руденок // научное обеспечение развития АПК в современных условиях: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2011. – С. 166–168.
11. Руденок, В. А. Совершенствование технологии обработки деталей агротехники / В. А. Руденок // Роль агрономической науки в оптимизации технологий возделывания полевых культур: мат. Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию работы кафедры растениеводства ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА в Удмуртии. Отв. за выпуск И. Ш. Фатыхов. – Ижевск, 2020. – С. 282–283.
12. Руденок, В. А. Сравнительная оценка коррозионного поведения цинковых покрытий в условиях, моделирующих эксплуатацию оборудования на открытом воздухе / В. А. Руденок, О. М. Канунникова, Г. Н. Аристова // Вестник Ижевской ГСХА. – 2020. – № 2 (62). – С. 70–78.
13. Руденок, В. А. Количественное измерение защитной способности катодных гальванических покрытий сложнопрофилированных деталей / В. А. Руденок, Г. Н. Аристова // Инновационные технологии для реализации программы научно-технического развития сельского хозяйства: мат. Международной научно-практической конференции: в 3 томах. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2018. – С. 176–177.
14. Руденок, В. А. Эффект биополярной поляризации в технологических процессах сельскохозяйственного производства / В. А. Руденок // Вестник Ижевской ГСХА. – 2018. – № 3 (56). – С. 72–79.
15. Руденок, В. А. Новый ингибитор коррозии / В. А. Руденок, М. В. Собенникова // Теория и практика – устойчивому развитию агропромышленного

комплекса: мат. Всероссийской научно-практической конференции. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2015. – С. 192–194.

16. Семенов, Д. В. Электрохимическое поведение контактных пар металлов в различных средах / Д. В. Семенов, Г. Н. Аристова, В. А. Руденок // Роль филиала кафедры на производстве в инновационном развитии сельскохозяйственного предприятия: мат. Международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию филиала кафедры растениеводства ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА в СХПК – Колхоз имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. – С. 30–31.

17. Руденок, В. А. Защита контактных групп в системе электроснабжения животноводческих ферм от потерь / В. А. Руденок, Н. П. Кондратьева, Г. Н. Аристова // Научное обеспечение АПК. Итоги и перспективы: мат. Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2013. – С. 107–109.

УДК 621.315.2; 621.316.15

Н. П. Кондратьева¹, Д. А. Филатов²

¹ *ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА*

² *ФГБОУ ВО Нижегородская ГСХА*

РАСЧЕТ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ДЛЯ ТЕПЛИЦЫ СО СВЕТОДИОДНЫМИ ОБЛУЧАТЕЛЯМИ

Показана методика расчета линий электропередач для теплицы со светодиодными облучателями с учетом высших гармоник тока. Энергоэффективная длина кабельной линии электропередач, питающей теплицу со светодиодными облучателями в 1,5 раза больше при ее выборе с учетом высших гармоник тока, чем стандартным способом. Кабельная линия, выбранная с учетом высших гармоник, имеет на 20 % большую стоимость, но на 40 % меньше потери электроэнергии и напряжения при одинаковой длине.

Введение. Последнее десятилетие, как в России, так и за рубежом, характеризуется активными исследованиями перспектив применения светодиодных облучателей в теплицах [1–4]. Появление новых облучателей для светокультуры обусловило потребность в новых требованиях к их системам электроснабжения. Светодиодные облучатели являются источниками высших гармоник тока [5], а тепличные комбинаты характеризуются высокой плот-

ностью электрических нагрузок. Анализ нормативных документов для проектирования теплиц и тепличных комбинатов [6, 7] показал, что рекомендуемые нормы максимальной длины линий электропередач 0,4 кВ отсутствуют. Поэтому (*цель исследований*) необходимо обосновать максимальную длину линий электропередач, питающих теплицы со светодиодными облучателями, по энергоэффективности, т.е. по потерям напряжения и электрической энергии.

Материалы и методы. Анализ схем электроснабжения тепличных комбинатов показал, что электропитание теплиц осуществляется кабельными линиями электропередач по классу напряжения 0,4 кВ от собственных трансформаторных подстанций 6(10)/0,4 кВ (рис. 1). Одним кабелем может осуществляться электроснабжение одной или нескольких теплиц в зависимости от их назначения (рассада, взрослая культура, зеленая культура).

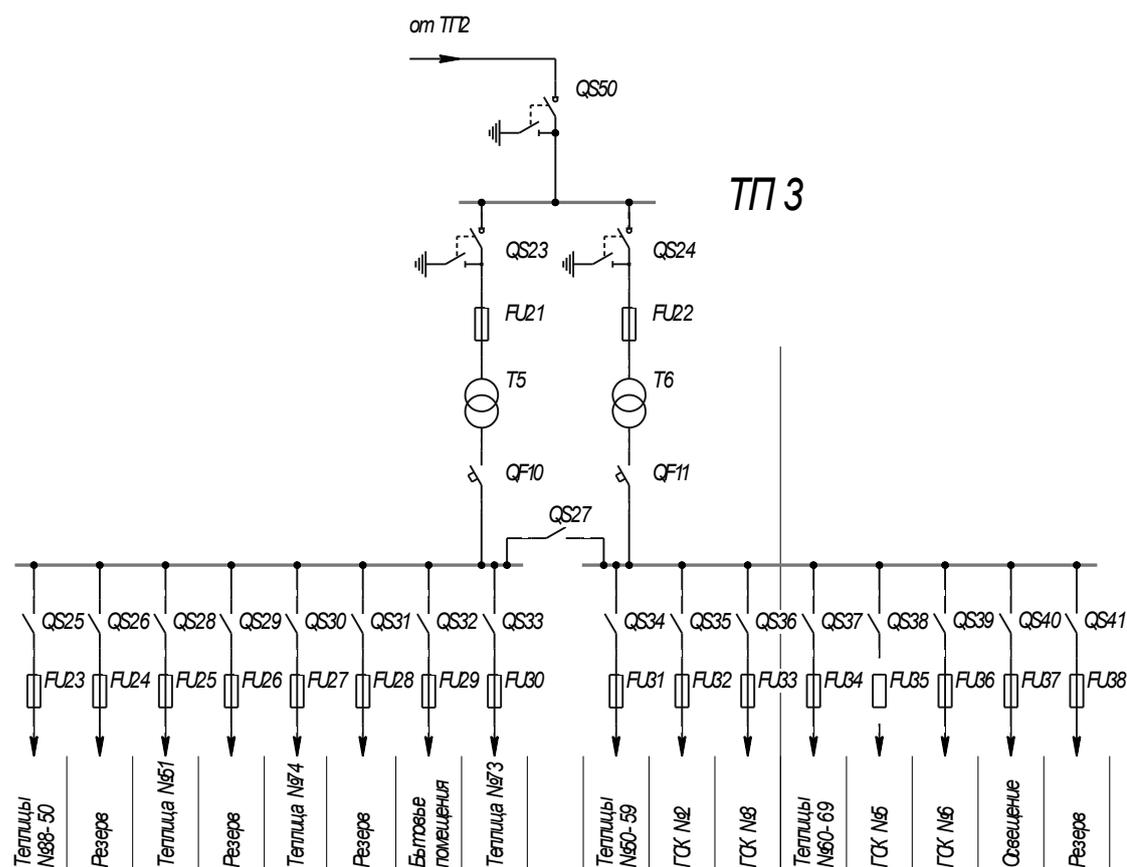


Рисунок 1 – Однолинейная схема электроснабжения ТП № 3 ТК Спутник

Для исследований выбраны два варианта теплиц. Первый вариант – стандартная теплица салатной линии площадью 500 м²,

номинальная мощность светодиодных облучателей – 55,35 кВт. Второй вариант – стандартная рассадная овощная теплица площадью 1000 м², номинальная мощность светодиодных облучателей – 70,56 кВт.

Выбор кабельной линии до 1 кВ осуществляется по условию допустимого нагрева и проверяется по потере напряжения. По условиям ПУЭ проводники до 1 кВ не подлежат проверке по экономической плотности тока и на термическую стойкость токам КЗ.

При выборе по нагреву в качестве параметра режима используется расчетный ток линии. Сечение проводника выбирается по условию:

$$I_{\text{ДД}} \geq I_p, \quad (1)$$

где $I_{\text{ДД}}$ – длительно допустимый ток для различных сечений и марок линий электропередач, А;

I_p – расчетный ток, протекающий по фазам, А.

Расчетный ток кабельной линии электропередач [8]:

$$I_p = I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{ном}} \times \cos\varphi_{\text{ном}}}, \quad (2)$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток, потребляемый электроприемниками (в нашем случае облучательными установками теплицы), А;

$P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность всех электроприемников, кВт;

$\cos\varphi_{\text{ном}}$ – номинальный коэффициент мощности электроприемников, о.е.

Сечение линий электропередач с учетом высших гармоник выбирается по условию [9]:

$$I_{\text{ДД}} \geq \frac{I_p}{K_{\text{нон}}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{нон}}$ – понижающий коэффициент, о.е., определяемый при электроснабжении тепличных облучателей по выражению:

$$K_p = 1,016 - 5 \times 10^{-3} \times (THD_i) - 3 \times 10^{-5} \times (THD_i)^2, \quad (4)$$

где THD_i – коэффициент нелинейных искажений по току, %.

Потери напряжения определяются по выражению:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_D \cdot L \cdot (R_0 \cdot \cos \varphi + X_0 \cdot \sin \varphi), \quad (5)$$

где L – длина проводника, км;

R_0 – удельное активное сопротивление проводника, Ом/км;

X_0 – удельное индуктивное сопротивление проводника, Ом/км;

φ – угол отставания тока от напряжения;

I_D – действующее значение тока, А, определяемое по выражению [10]:

$$I_D = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}, \quad (6)$$

где I_n – ток n -ой гармоники, А;

n – номер гармоники.

Общее гармоническое искажение [10]:

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (7)$$

где I_1 – ток 1-ой гармоники, А.

В качестве электроприемников в теплице принимаем светодиодные облучательные установки ДСО-16 с коэффициентом мощности $\cos \varphi = 0,99$.

С применением анализатора качества электроэнергии AR-6 экспериментально получен гармонический состав токов облучателей, показанный в таблице 1.

Таблица 1 – Значения токов высших гармоник светодиодных тепличных облучателей ДСО-16

№ гармоники	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39
Значение тока, %	19,7	8,1	31,8	10,6	6,6	7,0	4,2	11,0	2,5	2,4	5,0	5,0	2,3	2,4	3,2	2,5	2,0	3,9	1,9

Результаты и обсуждение. Результаты расчетов потерь напряжения в кабельной линии, питающей салатную теплицу, показаны в таблице 2.

Анализ полученных результатов показывает, что правильный выбор кабельных линий влияет на их максимальную энергоэффективную длину. На основании результатов расчетов для электроснабжения теплицы выбран кабель ААШв 4×25 без учета высших гармоник тока и кабель ААШв 4×35 с учетом высших гармоник тока.

Таблица 2 – Потери напряжения в кабельной линии, питающей салатную теплицу

Характеристика	Величина									
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
L, км	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
P _{ном} , кВт	55,3	55,3	55,3	55,3	55,3	55,3	55,3	55,3	55,3	55,3
cosφ, о.е.	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
sinφ, о.е.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
I _p , А	80,8	80,8	80,8	80,8	80,8	80,8	80,8	80,8	80,8	80,8
I _д , А	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2
Выбор КЛ без учета высших гармоник тока										
I _{дд} , А	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102
R ₀ , Ом/км	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24
X ₀ , Ом/км	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066
ΔU, В	9,4	18,8	28,1	37,5	46,9	56,3	65,6	75,0	84,4	93,8
ΔU, %	2,3	4,7	7,0	9,4	11,7	14,1	16,4	18,8	21,1	23,4
Выбор КЛ с учетом высших гармоник тока										
I _{дд} , А	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126
R ₀ , Ом/км	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
X ₀ , Ом/км	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064
ΔU, В	6,7	13,5	20,2	26,9	33,7	40,4	47,1	53,9	60,6	67,3
ΔU, %	1,7	3,4	5,1	6,7	8,4	10,1	11,8	13,5	15,2	16,8

В результате проведенных исследований (рис. 2) установлено, что при условии потерь напряжения в 5 % максимальная длина кабельной линии, выбранной без учета высших гармоник тока, составляет 100 м, выбранной с учетом высших гармоник тока – 150 м. При условии потерь напряжения в 10 % максимальная длина кабельной линии, выбранной без учета высших гармоник тока, составляет 200 м, выбранной с учетом высших гармоник тока – 300 м.

Аналогичные результаты получены при расчете потерь напряжения в кабельной линии, питающей рассадную теплицу (табл. 3).

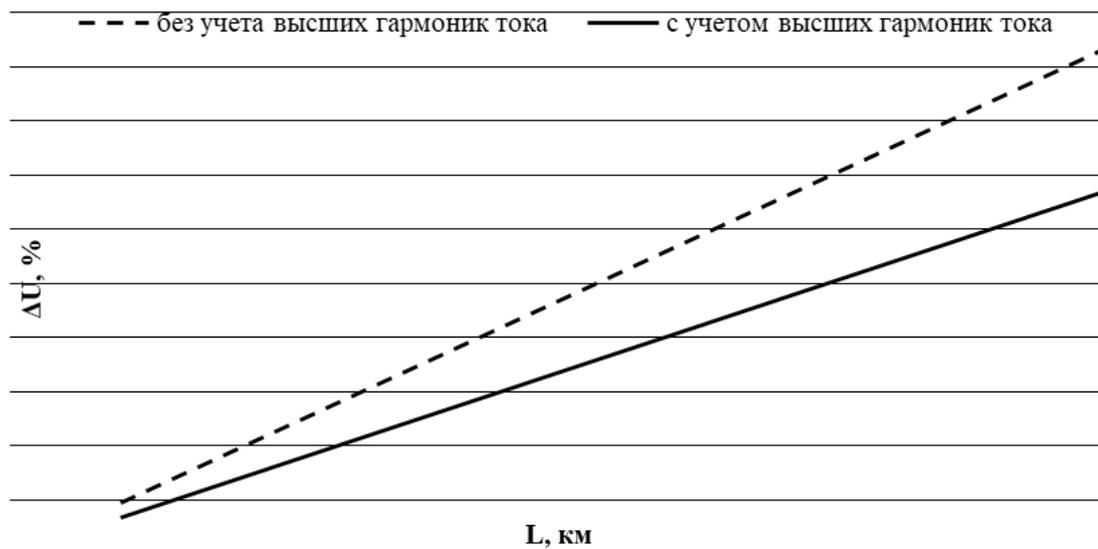


Рисунок 2 – Потери напряжения в кабельных линиях при питании теплиц со светодиодными облучателями

Таблица 3 – Потери напряжения в кабельной линии, питающей рассадную теплицу

Характеристика	Величина									
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
L, км	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
P _{ном} , кВт	70,56	70,56	70,56	70,56	70,56	70,56	70,56	70,56	70,56	70,56
cosφ, о.е.	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
sinφ, о.е.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
I _р , А	103,0	103,0	103,0	103,0	103,0	103,0	103,0	103,0	103,0	103,0
I _д , А	112,5	112,5	112,5	112,5	112,5	112,5	112,5	112,5	112,5	112,5
Выбор КЛ без учета высших гармоник тока										
I _{дл} , А	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126
R ₀ , Ом/км	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
X ₀ , Ом/км	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064
ΔU, В	8,6	17,2	25,8	34,3	42,9	51,5	60,1	68,7	77,3	85,8
ΔU, %	2,1	4,3	6,4	8,6	10,7	12,9	15,0	17,2	19,3	21,5
Выбор КЛ с учетом высших гармоник тока										
I _{дл} , А	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153
R ₀ , Ом/км	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
X ₀ , Ом/км	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063
ΔU, В	6,0	12,0	18,0	23,9	29,9	35,9	41,9	47,9	53,9	59,8
ΔU, %	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5	15,0

По условию потери напряжения в системах электроснабжения промышленных предприятий не рекомендуется выполнять кабельные линии 0,4 кВ длиной свыше 200 м [8]. Согласно техниче-

ской политике ОАО МРСК, линия электропередач 0,4 кВ от трансформаторной подстанции до наиболее удаленной точки должна быть не более 500 м.

Можно говорить о том, что на тепличных комбинатах со светодиодными облучательными установками нельзя пользоваться общепринятыми рекомендациями, разработанными для промышленных предприятий и электросетевых компаний. Это обусловлено высокой плотностью нагрузок и высоким коэффициентом одновременности работы электроприемников.

Следует отметить, что удельная стоимость (руб./м) кабеля сечением 35мм² в среднем на 20 % выше, чем кабеля сечением 25мм². Проведен технико-экономический анализ целесообразности выбора кабеля с учетом высших гармоник тока.

Нагрузочные потери электроэнергии в воздушных и кабельных линиях определяются по выражению [11]:

$$\Delta W = 3 \cdot R \cdot \sum_{j=1}^M (I_j^2 \cdot \Delta t_j) \cdot 10^{-3}, \quad (8)$$

где R – активное сопротивление ВЛ или КЛ, Ом;

I_j – токовая нагрузка ВЛ, КЛ, принимаемая на интервале времени Δt_j неизменной, А;

Δt_j – интервал времени, в течение которого нагрузка элемента сети с сопротивлением R неизменна, часы;

M – количество интервалов времени в базовом периоде.

Дополнительные потери мощности в линии электропередач, обусловленные высшими гармониками, определяются по выражению [12]:

$$\Delta P = 3 \cdot \sum_2^n I_n^2 \cdot R. \quad (9)$$

Затраты на потери электроэнергии в кабельных линиях электропередач определялись по выражению:

$$Z = \Delta W \cdot \beta, \quad (10)$$

где β – тариф на электроэнергию, принимался равным 5,5 руб./кВт·ч.

Стоимость кабельной линии электропередач определялась по выражению:

$$C = Z_{\text{уд}} \times L, \quad (11)$$

где $Z_{уд}$ – удельные затраты на кабельные линии, руб./м;
 L – длина линии электропередач, м;
Срок окупаемости определялся по выражению:

$$T = \frac{\Delta C}{\Delta \mathcal{E}}, \quad (12)$$

где $\Delta \mathcal{E}$ – разница затрат на потери электроэнергии при выборе кабеля без учета высших гармоник тока и с учетом высших гармоник тока, руб./год;

ΔC – разница затрат на покупку кабеля с учетом высших гармоник тока и без учета высших гармоник тока, руб./год.

Результаты показаны в таблице 4.

Таблица 4 – Технико-экономический анализ различных вариантов кабельных линий электропередач при питании теплиц со светодиодными облучателями

Характеристика	ААШв 4×25	ААШв 4×35
R_0 , Ом/км	1,24	0,89
L , км	0,2	0,2
I_d , А	88,2	88,2
t , ч/год	3000	3000
ΔW , кВт·ч/год	17 363	12 462
Z , руб./год	95 498	68 543
$\Delta \mathcal{E}$, руб./год		26 955
Скл, руб./м	165	201
Скл, руб.	33 000	40 200
ΔC , руб./год	7200	
T , лет		0,3

Выводы. Энергоэффективная длина кабельной линии электропередач, питающей теплицу со светодиодными облучателями в 1,5 раза больше при ее выборе с учетом высших гармоник тока, чем стандартным способом. Кабельная линия, выбранная с учетом высших гармоник, имеет на 20 % большую стоимость, но на 40 % меньше потери электроэнергии и напряжения при одинаковой длине. В результате проведенного технико-экономического анализа установлена энергоэффективность и целесообразность применения кабелей, выбранных с учетом высших гармоник. Срок окупаемости дополнительных капитальных затрат в сравнении с кабелями, выбранными без учета высших гармоник, составляет менее года.

Список литературы

1. Прикупец, Л. Б. Светодиоды в тепличном освещении: возможности и реальность // Светотехника. Специальный выпуск. – 2019. – С. 8–12.
2. Gupta S. D. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis / S. D. Gupta, B. Jatothu // Plant Biotechnology. – 2013. – Vol. 7. – P. 211–220.
3. LEDs: the future of greenhouse lighting / C. A. Mitchell, A. J. Both, C. M. Bourget, J. F. Burr, C. Kubota, R. G. Lopez, R. C. Morrow, E. S. Runkle // Chronica Horticulturae. – 2012. – Vol. 52. – P. 6–10.
4. Olle M. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality / M. Olle, A. Viršilė // Agricultural and Food Science. – 2013. – Vol. 22. – № 2. – P. 223–234.
5. Кондратьева, Н. П. Сравнительный экспериментальный анализ по электромагнитной совместимости разрядных и светодиодных искусственных источников света для растениеводства / Н. П. Кондратьева, П. В. Терентьев, Д. А. Филатов // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 12 (91). – С. 39–49.
6. НТП-АПК 1.10.09.001-02 Нормы технологического проектирования селекционных комплексов и репродукционных теплиц. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – Москва, 2002. – 97 с.
7. СП 13330.2011 Свод правил. Теплицы и тепличные комбинаты. Минрегион России. – Москва, 2011. – 135 с.
8. Кудрин, Б. И. Электроснабжение: учебник / Б. И. Кудрин, Б. В. Жилин, М. Г. Ошурков. – Ростов н/Д: Феникс, 2018. – 382 с.
9. Кондратьева, Н. П. Выбор кабельных линий 0,4 кВ для тепличных комбинатов / Н. П. Кондратьева, Д. А. Филатов, П. В. Терентьев // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2019. – № 2 (35). – С. 17–25.
10. Измерение и устранение гармоник. Техническая коллекция Schneider Electric. – 2009. – № 30. – 45 с.
11. Приказ Министерства энергетики № 326 от 30 декабря 2008 г. Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям.
12. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий / И. В. Жежеленко. – М: Энергоатомиздат, 2000. – 104 с.

А. С. Корепанов, Р. И. Гаврилов, П. Л. Лекомцев, Н. Л. Олин
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

В настоящее время наибольшее распространение для обогрева трубопроводов, систем противообледенения приобретает саморегулирующийся кабель. Принцип работы данного кабеля основан на изменении проводимости полимерной матрицы от температуры под воздействием внешних сред. В работе рассмотрены энергетические характеристики саморегулирующегося кабеля.

Введение. Существуют различные типы систем отопления и обогрева, одним из таких типов является кабельная система. Существует несколько видов кабельных систем отопления и обогрева, таких, как резистивная и саморегулирующаяся. Принцип работы обеих систем основан на законе Джоуля-Ленца.

В настоящее время наиболее интенсивно развивается саморегулирующаяся кабельная система обогрева, применяемая в системах противообледенения, защиты оборудования от замерзания и поддержания постоянной температуры какого-либо объекта [1, 4].

Системы отопления и обогрева, построенные на саморегулирующихся кабельных системах, могут эксплуатироваться при воздействии внешних сред, при этом изменяются энергетические характеристики.

Цель работы: проанализировать энергетические характеристики саморегулирующегося кабеля при воздействии внешних сред.

Материалы и методы исследования. Греющий кабель содержит полимерную матрицу, сопротивление которой изменяется под действием внешней температуры, что приводит к изменению удельной тепловой мощности (рис. 1).

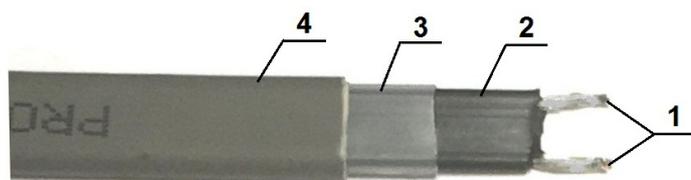


Рисунок 1 – Внешний вид саморегулирующегося кабеля

1 – токопроводящие жилы; 2 – полимерная матрица; 3 – изолирующий слой;
4 – наружная оболочка

Нагревательная часть кабеля имеет две токопроводящие жилы 1, которые замыкаются через полимерную матрицу 2. Полимерная матрица представляет собой смесь графита с полупроводниковым полимером, защищенная от влаги изолирующим слоем 3. Наружная оболочка 4 служит для механической защиты и может быть выполнена из различных материалов [2].

Уровень проводимости полимерной матрицы зависит от температуры обогреваемой среды: чем ниже температура внешней среды, тем больше проводимость полимерной матрицы и выделяемая кабелем мощность.

Каждый отрезок саморегулирующегося кабеля работает как самостоятельный, независимо от соседних отрезков, поэтому саморегулирующийся кабель может иметь разную мощность и температуру на разных участках, отличающихся условиями теплоотдачи [2].

Выделяемая тепловая мощность в полимерной матрице определяется выражением [3]:

$$P = I^2 \times R, \quad (1)$$

где I – сила тока в саморегулирующемся кабеле, А;

R – активное сопротивление, Ом.

Количество выделяемой тепловой энергии определяется по закону Джоуля-Ленца [3]:

$$Q = I^2 \times R \times \tau, \quad (2)$$

где τ – время работы нагревательной системы, с.

Удельная тепловая мощность, выделяемая в процессе работы саморегулирующегося кабеля, может быть определена по выражению [3]:

$$P_{уд} = \frac{P}{l}, \quad (3)$$

где l – длина саморегулирующегося кабеля, м.

Результаты исследования. Для определения энергетических характеристик кабельных систем обогрева использован саморегулирующийся кабель SRL 30-2. Технические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики греющего кабеля SRL 30-2

Параметр	Значение
Напряжение питания кабеля	220 В
Номинальная мощность при 10 °С	30 Вт/м
Номинальная температура нагрева	65 °С
Температурная группа	T5 (100 °С)
Минимальная температура монтажа (по рекомендации CENELEC)	-20 °С

Саморегулирующийся кабель SRL 30-2 подключается к источнику питания с переменным напряжением 220 В, промышленной частоты 50 Гц. Измеряются значения потребляемого тока и температуры поверхности саморегулирующегося кабеля через определенный промежуток времени.

Для измерения значений потребляемого тока использовали миллиамперметр Э513. Температура поверхности саморегулирующегося кабеля измеряется тепловизором Fluke tis45, настроенным на коэффициент излучения 0,88 и температуру фона 20 °С.

Исследования проводились двух видов. В первом случае при температуре воздуха в помещении 20,5 °С, относительной влажности воздуха 60 % и атмосферном давлении 756 мм.рт.ст., во втором – при тех же параметрах воздуха, но под влиянием потока воздуха со средней скоростью 2 м/с.

Результаты исследований тока и температуры поверхности представлены в виде графической зависимости на рисунке 2.

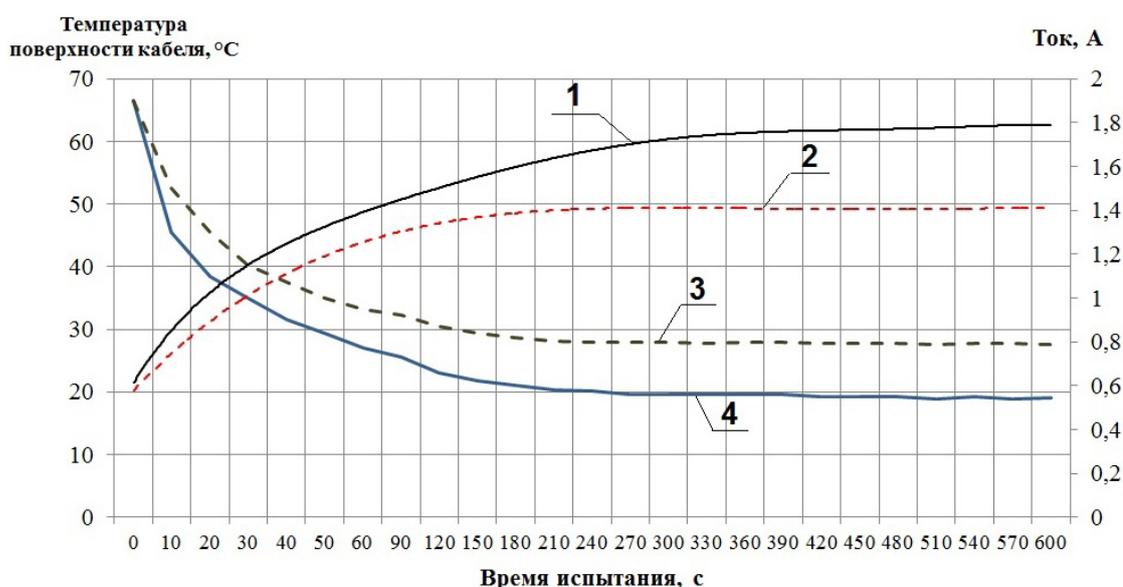


Рисунок 2 – Графическая зависимость тока и температуры поверхности от времени

1 – температура без влияния потока воздуха; 2 – температура под влиянием потока воздуха; 3 – ток под влиянием потока воздуха; 4 – ток без влияния потока воздуха

По выражениям (1) и (3) определяем тепловую мощность саморегулирующегося кабеля и удельную мощность. Графическая зависимость удельной мощности от температуры приведена на рисунке 3.

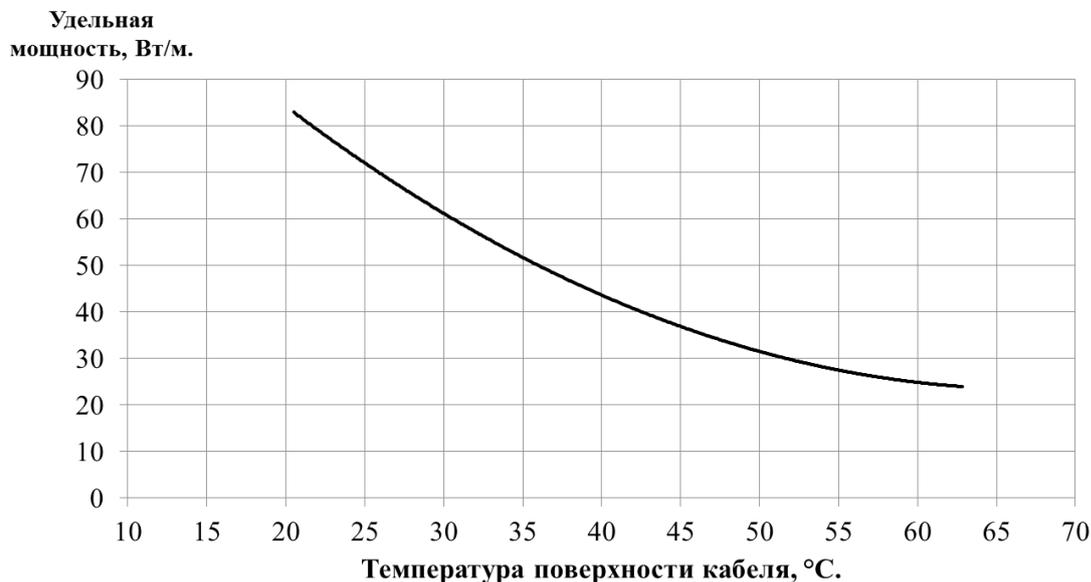


Рисунок 3 – Зависимость удельной мощности от температуры поверхности

Анализируя графики, приведенные на рисунке 2, можно сказать, что под влиянием потока воздуха увеличивается теплоотдача с поверхности саморегулирующегося кабеля, что приводит к снижению ее температуры, а как следствие – к увеличению потребляемой мощности.

Графическая зависимость, приведенная на рисунке 3, показывает на нелинейную зависимость удельной мощности от температуры полимерной матрицы.

Вывод. Под воздействием внешних сред изменяется температура поверхности саморегулирующегося кабеля, приводящая к изменению проводимости полимерной матрицы. Проводимость материала влияет на величину тока, а соответственно изменяется и потребляемая мощность кабеля.

Список литературы

1. Хренков, Н. Н. Сопоставление температурных режимов обогрева стальных и пластиковых трубопроводов / Н. Н. Хренков // Промышленный электрообогрев и электроотопление. – 2014. – № 1. – С. 28–33.
2. Хренков, Н. Н. Кабельный обогрев сверхдлинных трубопроводов: выбор экономичной схемы / Н. Н. Хренков // Территория нефтегаз. – 2007. – № 6. – С. 94–95.

3. Болгарский, А. В. Термодинамика и теплопередача: учебн. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / А. В. Болгарский, Г. А. Мухачев, В. К. Щукин. – М.: Высшая школа, 1975. – 495 с., илл.

4. Корепанов, А. С. Теплотехнический расчёт плоского индукционного нагревателя / А. С. Корепанов, П. Л. Лекомцев, О. Г. Долговых // Инновационный потенциал сельскохозяйственной науки XXI века: вклад молодых учёных-исследователей: м-лы Всероссийской научно-практической конференции. 24–27 окт. 2017 г.: сборник статей [Электронный ресурс]. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2017. – С. 213–215.

УДК621.365.58

**А. С. Корепанов, П. Л. Лекомцев,
А. М. Ниязов, М. Л. Шавкунов**
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Исследуется индукционный нагревательный элемент, применяемый в электрических водонагревателях систем отопления и горячего водоснабжения. Проведен сравнительный анализ температуры на поверхности теплообмена теоретической модели и прототипа индукционного нагревательного элемента. Среднее значение расхождения температур на поверхности теплообмена по длине индукционного нагревательного элемента теоретической модели и прототипа составляет 3,1 %.

Введение. Большинство технологических процессов на объектах сельскохозяйственного назначения требует использования горячей воды. Подготовка горячей воды осуществляется в котлах сжиганием топлива или электрическим нагревом.

Использование котлов на природном газе является наиболее эффективным способом получения горячей воды, но на сегодняшний день большое количество объектов АПК не имеют возможности подключения к сетям газоснабжения, на таких объектах наиболее широко используются электрические водонагреватели в системах отопления и горячего водоснабжения [1].

Наиболее широкое распространение получили элементные и электродные электрические водонагреватели, отличающиеся

простотой конструкции. В настоящее время наблюдается тенденция замены элементных и электродных водонагревателей на индукционные водонагреватели [2, 3].

Индукционные водонагреватели отличаются от других электрических водонагревателей отсутствием накипеобразования, стабильным КПД и высокой эффективностью преобразования энергии электромагнитного поля в тепловую энергию [2–5].

Целью исследования индукционного нагревательного элемента является оценка адекватности теоретической модели и экспериментальной установки.

В патенте на полезную модель [5] предлагается плоский индукционный нагреватель, который может быть использован как нагревательный элемент в электрических водонагревателях. В работе [6] проведено исследование плоского индукционного нагревателя, рассмотрены перспективы применения на объектах АПК индукционных водонагревателей. Работа [4] посвящена расчету электрических и тепловых характеристик плоских индукционных нагревателей, предложена конструкция индукционного водонагревателя, приведенного на рисунке 1.

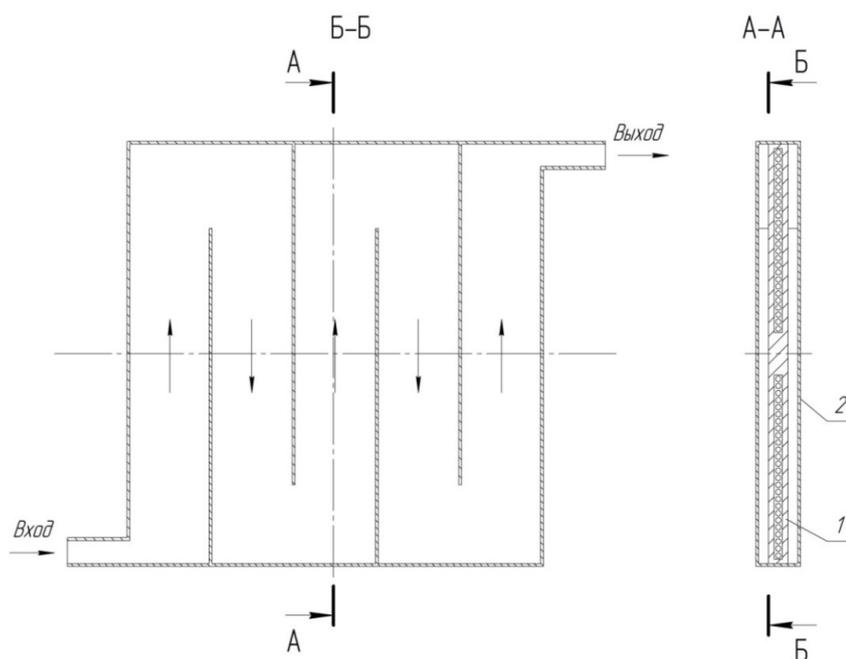


Рисунок 1 – Модель плоского индукционного водонагревателя [4]:
1 – плоский индукционный нагревательный элемент; 2 – кожух с каналами

В данном водонагревателе применена конструкция индукционного нагревательного элемента, предложенного в патенте на полезную модель [5], внешний вид представлен на рисунке 2.

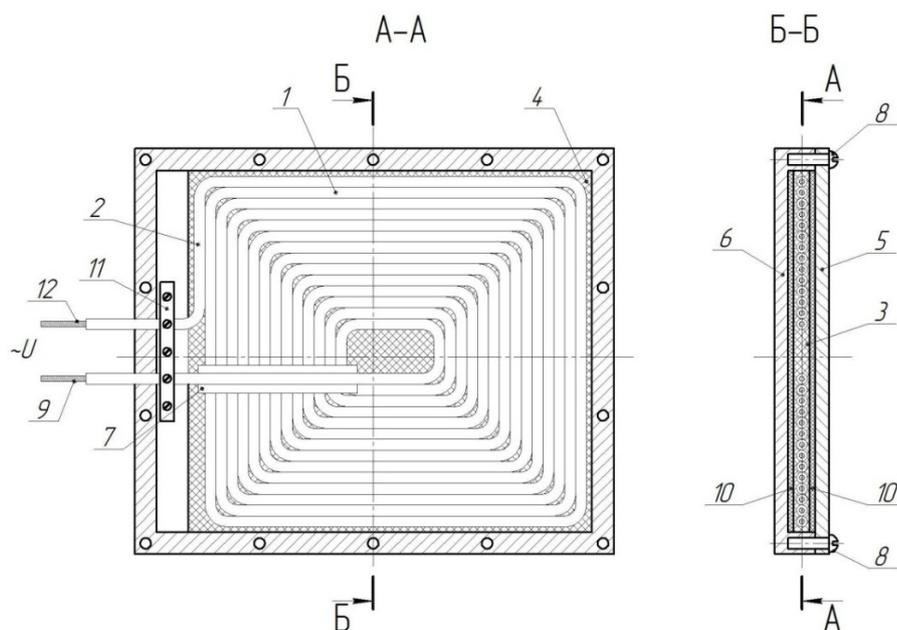


Рисунок 2 – Конструкция плоского

индукционного нагревательного элемента [4, 5]:

- 1 – катушка; 2 – обмоточный провод; 3 – электроизоляционный материал;
 4 – индукционное полотно; 5 и 6 – листы черного металла; 7 – электроизоляция;
 8 – винтовое соединение; 9 и 12 – выходные концы;
 10 – теплоизоляционный материал; 11 – клеммная колодка

По результатам моделирования и расчетам, проведенным в работе [4], получено, что электрический КПД составляет 91,4 %, термический КПД – 99,3 % и коэффициент мощности – 0,844. Полученные величины показывают, что индукционный электрический водонагреватель обладает высокими энергетическими характеристиками.

На основании расчетов и моделирования построен прототип индукционного нагревательного элемента, представленного на рисунке 3.

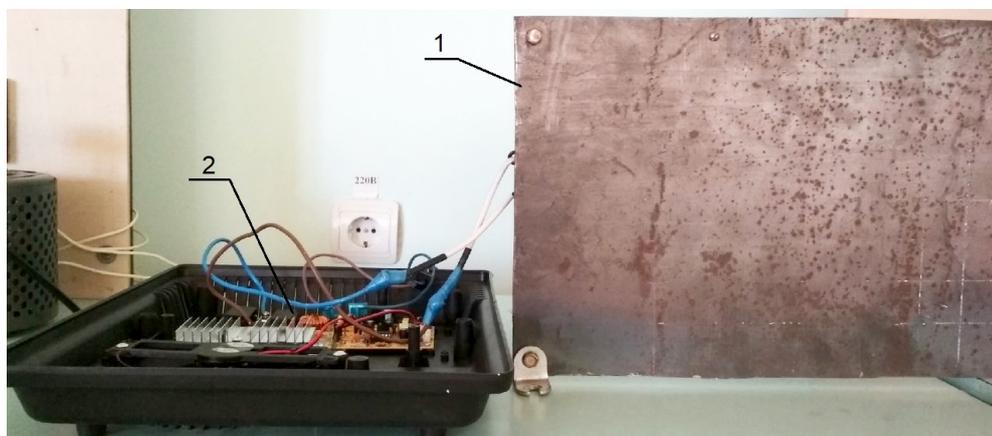


Рисунок 3 – Прототип индукционного нагревательного элемента

- 1 – индукционный нагревательный элемент; 2 – высокочастотный источник питания

В работе [4] проведены исследования по интенсивности нагрева поверхности индукционного нагревательного элемента, в программе ELCUT получен график распределения температуры на поверхности теплообмена, приведенный на рисунке 4.

Проведены исследования на прототипе индукционного нагревательного элемента.

Для измерения температуры поверхности теплообмена используется тепловизор Fluketis45, настроенный на коэффициент излучения 0,88 и температуру фона 20 °С. Температура воздуха в помещении составляет 21 °С, относительная влажность 58 %, барометрическое давление 754 мм.рт.ст.

Для наглядности на рисунке 4 совмещены температуры поверхностей теплообмена для теоретической модели и прототипа индукционного нагревательного элемента.

Среднее значение расхождения температур на поверхности теплообмена по длине индукционного нагревательного элемента теоретической модели и прототипа составляет 3,1 %.



Рисунок 4 – График распределения температуры на поверхности теплообмена:

- 1 – температура поверхности теплообмена модели;
- 2 – температура поверхности теплообмена прототипа

Снижение температуры в центральной зоне, кривой 2 рисунка 4, объясняется меньшей плотности тока (краевой эффект) и, как следствие, меньшим тепловыделением в этой области.

Вывод. С большой уверенностью можно сказать, что предлагаемая теоретическая модель является адекватной, так как отклонение температуры на поверхности теплообмена теоретической модели и прототипа составляет менее 5 %.

Список литературы

1. Пилипенко, Н. В. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности инженерных систем и сетей: учебное пособие / Н. В. Пилипенко, И. А. Сиваков. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 274 с.
2. Кудрявцев, И. Ф. Электрический нагрев и электротехнология: учебники и учеб. пособ. для высш. с.-х. учеб. заведений / И. Ф. Кудрявцев, В. А. Карасенко. – М.: Колос, 1975. – 384 с.: илл.
3. Korepanov A. S. Energy characteristics of induction waterheater / A. S. Korepanov, P. L. Lekomtsev, A. M. Niyazov // IOPConference Series: Earth and Environmental Science. – Volume 433. – Issue 1, 14 February 2020. – № 012035.
4. Корепанов, А. С. Расчет электрических и тепловых характеристик при проектировании плоских индукционных водонагревателей / А. С. Корепанов // Интеграционные взаимодействия молодых ученых в развитии аграрной науки: м-лы Национальной научно-практической конференции, 04–05 дек. 2019 г., в 3 т. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2020. – Т. 2. – С. 334–340.
5. Плоский индукционный нагреватель. Патент РФ № 181899, 26.07.2018 / А. С. Корепанов, П. Л. Лекомцев, А. С. Соловьев.
6. Корепанов, А. С. Исследование плоского индукционного нагревателя / А. С. Корепанов // Развитие энергосистем АПК: перспективные технологии: м-лы Междунар. науч.-практ. конф. Института агроинженерии (Челябинск, 2018); под ред. проф., д-ра с.-х. наук М. Ф. Юдина. – Челябинск, 2018. – 82–88 с.

УДК 536.2

А. М. Лукьянченко, С. В. Вендин
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ

СХЕМА АККУМУЛИРОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ

В процессе производства могут образовываться газовые, паровые и жидкостные тепловые производственные выбросы. Рассмотрена схема аккумулирования теплоты низкопотенциальных промышленных выбросов на основе теплового насоса.

Вопросам энергосбережения уделяется большое значение [1–4 и др.]. При этом могут рассматриваться любые пути, обеспечивающие повышение энергетического потенциала как в технологическом, так и конструктивном направлении исследований.

При этом можно выделить следующие пути энергосбережения: повышение КПД энергопотребляющих устройств и установок; разработка энергосберегающих процессов и производств; использование нетрадиционных и альтернативных источников энергии, а также энергии производственных и непроизводственных выбросов.

В процессе производства могут образовываться газовые, паровые и жидкостные тепловые выбросы. Их условно можно разделить на низкопотенциальные и высокопотенциальные. Высокопотенциальные выбросы имеют высокую температуру и их можно использовать сразу, пропуская через теплообменник и получая тепловую энергию. Но для реализации тепла низкопотенциальных выбросов потребуется источник внешней энергии. В его роли и будет выступать тепловой насос, питающийся из сети. Основными узлами теплового насоса выступают (рис. 1): компрессор, конденсатор, испаритель и дроссель.

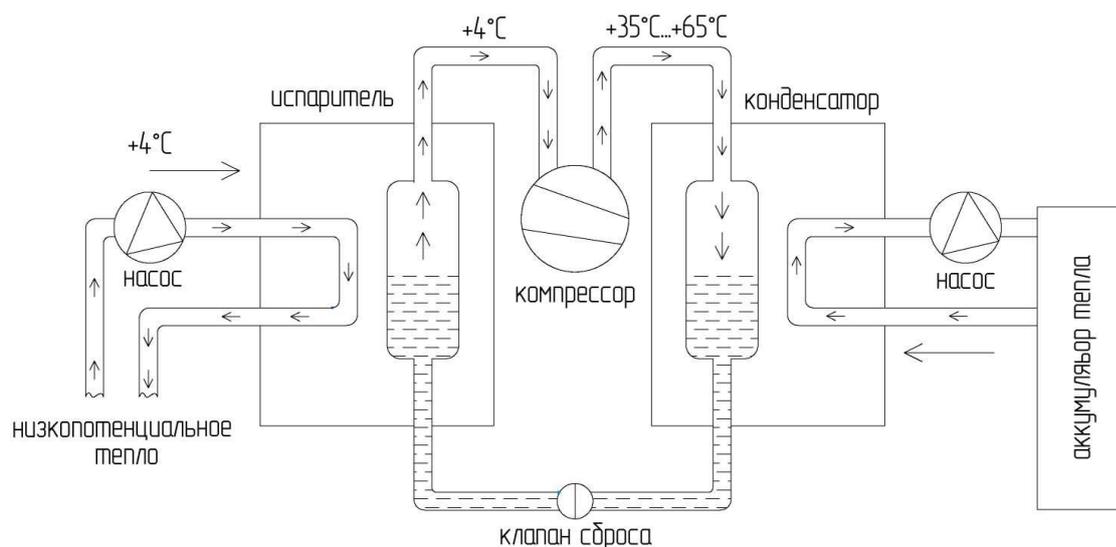


Рисунок 1 – Схема аккумуляции теплоты низкопотенциальных промышленных выбросов

Они образуют внутренний циркуляционный контур посредством трубок. В этом контуре теплового насоса циркулирует хладагент, например, фреон-12.

Для повышения температуры хладагента с помощью компрессора создается высокое давление. Далее пары хладагента конденсируются в конденсаторе, отдавая тепло теплоносителю (например, воде) из внешнего циркуляционного контура. В качестве внешнего циркуляционного контура выступает отопительная система производственного или жилого помещения. Затем хладо-

агент проходит через дроссель, его давление падает, в результате происходит его резкое охлаждение (до отрицательной температуры). На заключительном этапе происходит испарение хладагента в испарителе за счет тепла, получаемого, например, от бросового потока. Затем рабочий цикл повторяется.

Наиболее важным показателем теплового насоса является его коэффициент трансформации [5]. Его определяют как отношение тепловой мощности насоса к мощности, потребляемой из генерирующей сети. По некоторым данным, при потреблении 2 кВт электроэнергии с помощью теплового насоса можно получить дополнительно 7–11 кВт тепловой мощности. Коэффициент трансформации теплового насоса повышается с уменьшением разницы температур хладагента в конденсаторе и испарителе. Следовательно, для небольшой разности температур в конденсаторе и испарителе через испаритель нужно пропускать большое количество низкопотенциального теплоносителя. Таким образом будет обеспечиваться эффективная работа теплового насоса. Тепловой насос, потребляя малое количество энергии, способен развивать большую мощность, что обусловлено тепловым эффектом фазовых переходов из одного агрегатного состояния в другое.

Роль компрессора заключается не только в увеличении давления и температуры хладагента, но и в его конденсации. Температура испаренного хладагента должна намного превышать температуру теплоносителя из внешнего циркуляционного контура (отопительной системы), а давление должно быть высоким для эффективной конденсации хладагента. Дроссель, в свою очередь, не только уменьшает давление и температуру хладагента, но и обеспечивает условия для его испарения. Температура хладагента в жидком состоянии должна быть намного ниже температуры низкопотенциального источника, а давление должно быть достаточным для его испарения. Именно за счет фазовых переходов удается перенести значительное количество тепловой энергии. Относительно большое значение коэффициента трансформации теплового насоса объясняется малым потреблением энергии компрессором, что способствует увеличению холодильного коэффициента холодильника [6].

Поскольку тепловой насос может работать и в режиме холодильника, он может, например, использоваться для кондиционирования помещений в жаркую погоду. Кроме того, тепловой насос способен подогревать воду и может использоваться для горячего

водоснабжения. Основными достоинствами тепловых насосов выступают высокий коэффициент трансформации, возможность работы в двух режимах (отопление и кондиционирование), длительный срок службы (15–20 лет). К недостаткам тепловых насосов относят дороговизну, большую поверхность отопительных приборов, ограничение максимальной температуры на выходе из теплового насоса (55–70 °С) [7].

В заключение отметим, что представленная схема аккумулирования теплоты низкопотенциальных промышленных выбросов на основе теплового насоса позволит дополнительно использовать газовые, паровые и жидкостные тепловые производственные выбросы, что положительно скажется на повышении КПД энергопотребляющих устройств и установок и эффективном использовании энергии производственных и непроизводственных выбросов.

Список литературы

1. Гарипов, М. Г. Ветроэнергетика / М. Г. Гарипов // Вестник Казан. техн. ун-та. – Т. 16. – № 2. – 64–65 (2013).
2. Шинкевич, А. И. Повышение инновационной активности в энерго- и ресурсосбережении на основе концепции «Технологических окон возможности» [Текст] / А. И. Шинкевич, И. А. Заряйченко // Вестник Казан. Технол ун-та. – Т. 13. – № 9. – 897–900 (2010).
3. Солдатенков, А. С. Инновации в автоматизированных системах централизованного и децентрализованного теплоснабжения зданий образовательного назначения / А. С. Солдатенков, Е. А. Потапенко, А. О. Яковлев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12. – № 4–3. – С. 618–622.
4. Потапенко, А. Н. О математической модели управления процессом отопления распределенного комплекса зданий для автоматизированных диспетчерских систем / А. Н. Потапенко, Е. А. Потапенко, А. О. Яковлев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2006. – № 3. – С. 23.
5. Гарипов, М. Г. Использование низкопотенциального тепла Земли с помощью теплового насоса / М. Г. Гарипов, В. М. Гарипов // Вестник КТУ. – 2014. – Т. 17. – № 14. – С. 197–198.
6. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Химия, 1975. – 754 с.
7. Германович, А. Альтернативные источники энергии. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы / А. Германович. – СПб.: Наука и техника, 2011. – 320 с.

П. Н. Покоев

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯЦИОННОГО СЛОЯ ЛИСТОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

Проведено испытание изоляционного слоя электротехнической стали методом вольтметра и амперметра при воздействии напряжением частотой 50 Гц. Получены вольтамперные характеристики, определён коэффициент изоляционного покрытия.

Актуальность. При циклическом перемагничивании магнитопровода происходят сложные электромагнитные процессы и преобразования электроэнергии в другие виды, поэтому для достижения высоких эксплуатационных показателей трансформатора наряду с ферромагнитными используются слабомагнитные материалы и различные инновационные технологии. Имеется объективное обоснование их использования. Магнитопровод силового трансформатора представляет собой замкнутую магнитную цепь. Он собирается (шихтуется) из заранее заготовленных пластин электротехнической рулонной стали так, чтобы направления линий магнитного потока совпадали с направлением прокатки рулона [1]. С целью уменьшения вихревых токов в магнитопроводе при циклическом его перемагничивании толщина листов электротехнической стали уменьшается до 0,35, 0,3 и 0,27 мм [1].

На поверхность стали наносится жаропрочный изоляционный слой толщиной на каждой стороне не более 5 мкм [1,2] для уменьшения вихревых токов и потерь активной мощности в трансформаторе.

В углах магнитной системы возникают воздушные зазоры между стыкуемыми листами. При шихтовке магнитопровода стыки листов одного слоя перекрываются стыкуемыми листами следующего слоя. Из-за наличия воздушных зазоров и несовпадения направления магнитного потока с направлением прокатки листов угловые зоны магнитопровода становятся зонами повышения напряженности магнитного поля, увеличения потерь активной и общей намагничивающей мощности трансформатора. Для снижения магнитного сопротивления воздушные зазоры магнитопровода предлагается заполнять ферромагнитными пастами [3,4], которые одновременно становятся изоляционным слоем листов электротехнической стали.

Таким образом, изоляционное покрытие выполняет весьма важную роль при работе магнитопроводов электрических машин и трансформаторов.

Цель – провести испытания изоляционного покрытия выбранного экземпляра электротехнической стали.

Задачи исследования:

1. Разработать экспериментальную установку.
2. Подготовить образцы электротехнической стали изоляционных материалов.
3. Провести измерения, снять вольтамперную характеристику и определить коэффициент сопротивления покрытия.

Материалы и методы исследования. Для экспериментального исследования были изготовлены экземпляры листа электротехнической стали с размерами 2,5Ч2,5 см толщиной 23 мм, покрытые изоляционными слоями, изготовленными из различных ферромагнитных паст и оксидных пленок:

а – состав, содержащий 80 % ФП, марки Р-10 и 20 % цатима;
б – стандартная электротехническая сталь NV 23S-095L с покрытием оксидной плёнкой;

в – состав, содержащий 80 % ФП, марки Р-10 и 20 % графитной смазки;

г – состав, содержащий 80 % ФП, марки Р-10 и 20 % мовиля;

Для экспериментального исследования была разработана установка, схема которой представлена на рисунке 1.

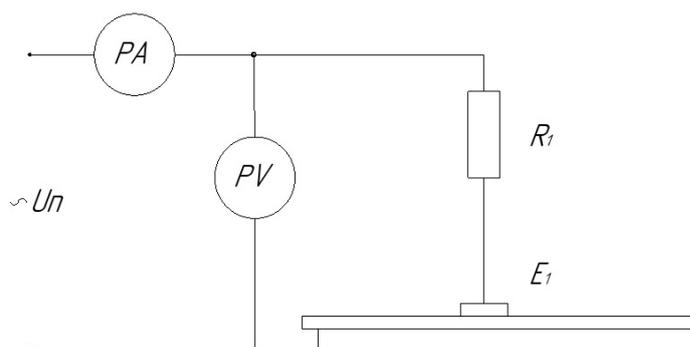


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки по испытанию изоляционного слоя электротехнической стали

Для ограничения тока в электрической схеме был использован резистор $R_1 = 806 \text{ Ом}$. При измерении сопротивления измеряемого слоя создавалось давление на изоляционный слой до $0,5 \text{ Н/мм}^2$. Измерения сопротивления производились при изменении подаваемого напряжения в пределах от 0 до 100 В.

Результаты и выводы. Коэффициент сопротивления одно-
слойного изоляционного покрытия определяется по формуле:

$$R_{и} = \frac{1}{S} \left[\frac{U}{I} - R_1 \right] = \frac{1}{S} [R_{cp} - R_1], \left[\frac{Ом}{см^2} \right],$$

где S – площадь контакта, $см^2$;

R_{cp} – среднее измеренное сопротивление, Ом;

На рисунке 2 представлены вольтамперные характеристики
испытываемых материалов.

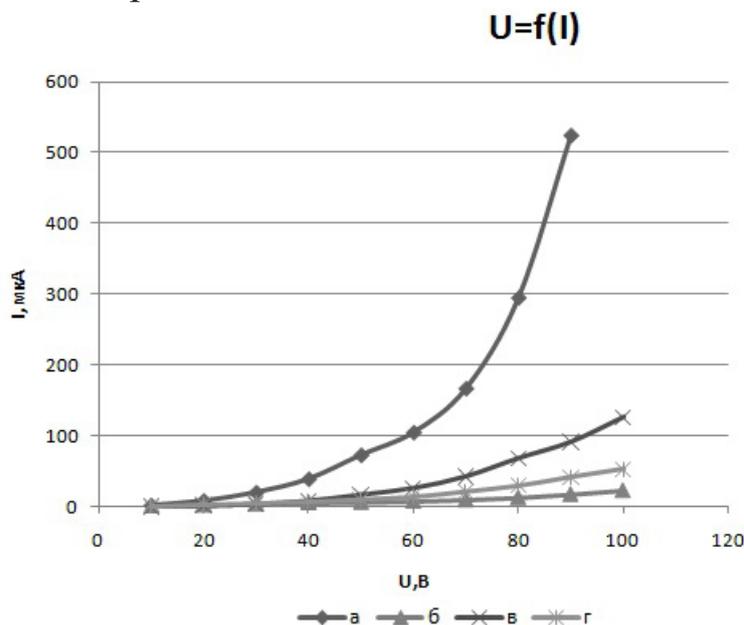


Рисунок 2 – Вольтамперные характеристики испытываемых материалов

1. Коэффициент сопротивления измеряемого покрытия $R_{и}$ стандартной электротехнической стали NV 23S-095L с покрытием оксидной плёнкой (литера б) имеет значения в пределах 0,03 ...0,3 МОм/см².

2. Коэффициент сопротивления измеряемого покрытия $R_{и}$ пасты (литера а) имеет значения в пределах 0,02 ...0,1 МОм/см².

3. Коэффициент сопротивления измеряемого покрытия $R_{и}$ пасты (литера в) имеет значения в пределах 0,02 ...0,18 МОм/см².

4. Коэффициент сопротивления измеряемого покрытия $R_{и}$ пасты (литера г) имеет значения в пределах 0,02 ...0,26 МОм/см².

Список литературы

1. Тихомиров, П. М. Расчет трансформаторов: учеб. пособие для вузов / П. М. Тихомиров. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.: ил.

2. Вольдек, А. И. Электрические машины: учеб. пособие для вузов / А. И. Вольдек. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.: ил.

3. Покоев, П. Н. Испытание ферромагнитной пасты / П. Н. Покоев, В. А. Носков // Научно обоснованные технологии интенсификации сельскохозяйственного производства: м-лы Международной научно-практической конференции: в 3 томах. – Т. 3. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2017. – С. 301–303.

4. Брагин, И. Ю. Разработка и исследование ферромагнитной пасты повышенной вязкости / И. Ю. Брагин, В. А. Носков, П. Н. Покоев, П. Л. Лекомцев, Л. А. Пантелеева, Д. А. Васильев // Вестник НГИЭИ. – 2020. – № 6(109). – С. 36–47.

УДК 621.311.24

Г. К. Половнев, С. В. Вендин
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЗАРЯДКОЙ АККУМУЛЯТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Приведена обобщенная структурная схема системы управления зарядкой аккумуляторов с использованием возобновляемых источников энергии, ее составляющие и режимы работы. Представлены требования к основным элементам схемы.

На фоне общего энергетического кризиса актуальным является вопрос перехода от традиционных источников энергии к новым, альтернативным, которые экологически менее опасны. Прежде всего это энергия Солнца, ветровая энергетика, теплота земли и биотопливо [1–6]. Будущее за альтернативными источниками энергии, потому что они почти неисчерпаемые и низкие по своей себестоимости, безопасны и не связаны с вредными выбросами. Проблема альтернативных источников энергии особенно актуальна на фоне заявлений о том, что запасы нефти, газа будут исчерпаны через 30–50 лет, угля – через 200–300 лет.

Как показывает практика, использование одного источника альтернативной энергии не имеет особого смысла, ведь получать энергию с помощью солнца мы не можем круглосуточно, для выработки энергии от ветра требуется непрерывный поток ветра и т.д., также существует проблема интеллектуального подключения/отключения источников питания (распределение заряда) к потреби-

телям, простых и поистине надежных для этих задач решений сегодня очень мало, именно поэтому разработка системы управления зарядкой аккумуляторов с использованием возобновляемых источников энергии имеет практическую значимость с точки зрения разработки рабочей модели системы, а также получение знаний и методик разработки, описание всех нюансов создания такой модели имеет огромную теоретическую значимость.

Для создания данной системы необходимо понять, как она будет функционировать и с помощью каких элементов. Ниже представлена разработанная обобщенная структурная схема системы управления зарядкой аккумуляторов с использованием возобновляемых источников энергии (рис. 1), а также назначение и требования к основным элементам схемы.

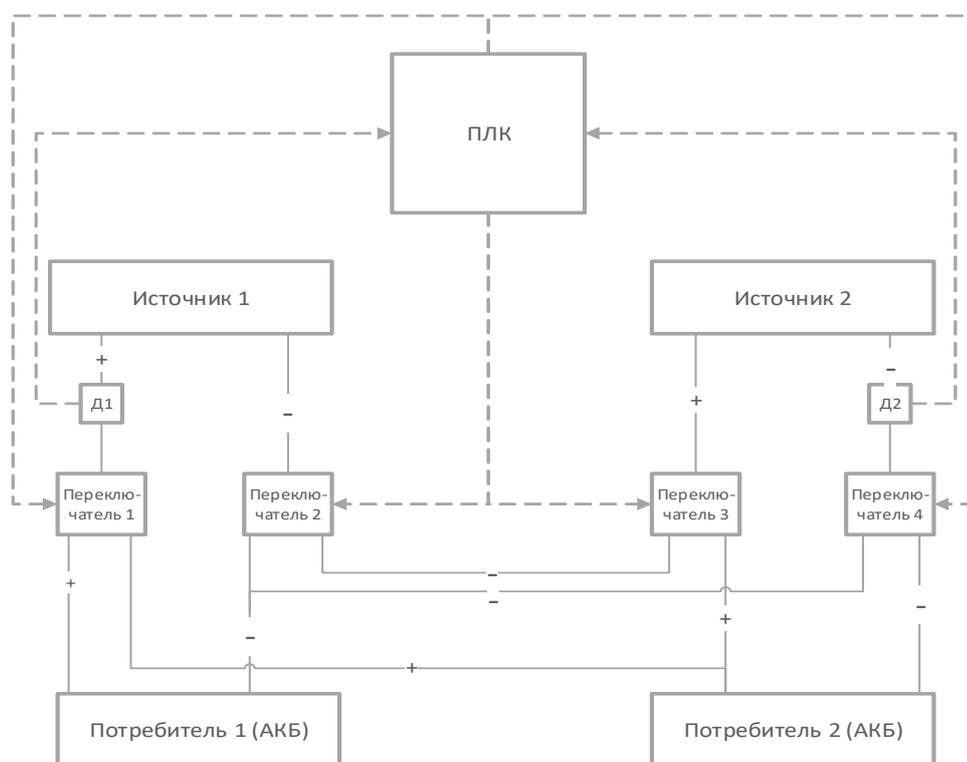


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема системы управления зарядкой аккумуляторов с использованием возобновляемых источников энергии

Основная задача, решаемая разрабатываемой системой, это постоянное и устойчивое питание потребителей. Представленная структурная схема решает данную задачу при помощи интеллектуального переключения между источниками на основе данных, полученных с датчиков. Основными элементами структурной схемы являются: программируемый логический контроллер (ПЛК); источник питания; датчик тока; переключатель; аккумуляторная батарея (потребитель).

Программируемый логический контроллер. Собирает всю нужную информацию системы, а именно производит чтение данных с датчиков тока, который является показателем наличия или отсутствия питания в цепи. Производит управление переключателями на основе полученных данных.

Источник питания. В качестве источника питания выступают альтернативные источники энергии (солнечная энергия, ветер). Каждый источник питания направлен на обеспечение питания своего потребителя (АКБ).

Датчик тока. Датчик тока (Д1, Д2) установлен в систему в качестве обратной связи, которая позволяет определить наличие или отсутствие нужных показателей зарядки.

Переключатель. Выполняет задачу переключения питания от источников питания к потребителям.

Аккумуляторная батарея (потребитель). В качестве потребителя было принято решение использовать АКБ для зарядки и дальнейшей его эксплуатации.

Возможные режимы работы, реализуемые по данной схеме, представлены на рисунках 2, 3 и 4.

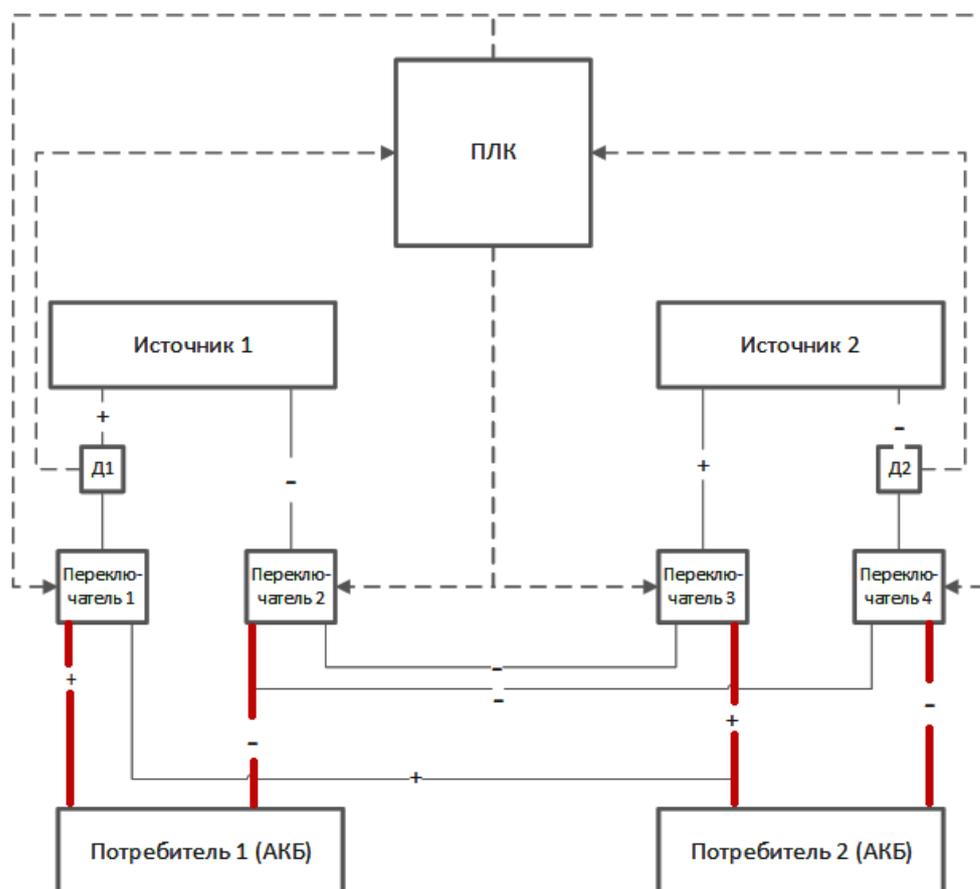


Рисунок 2 – Режим нормальной работы

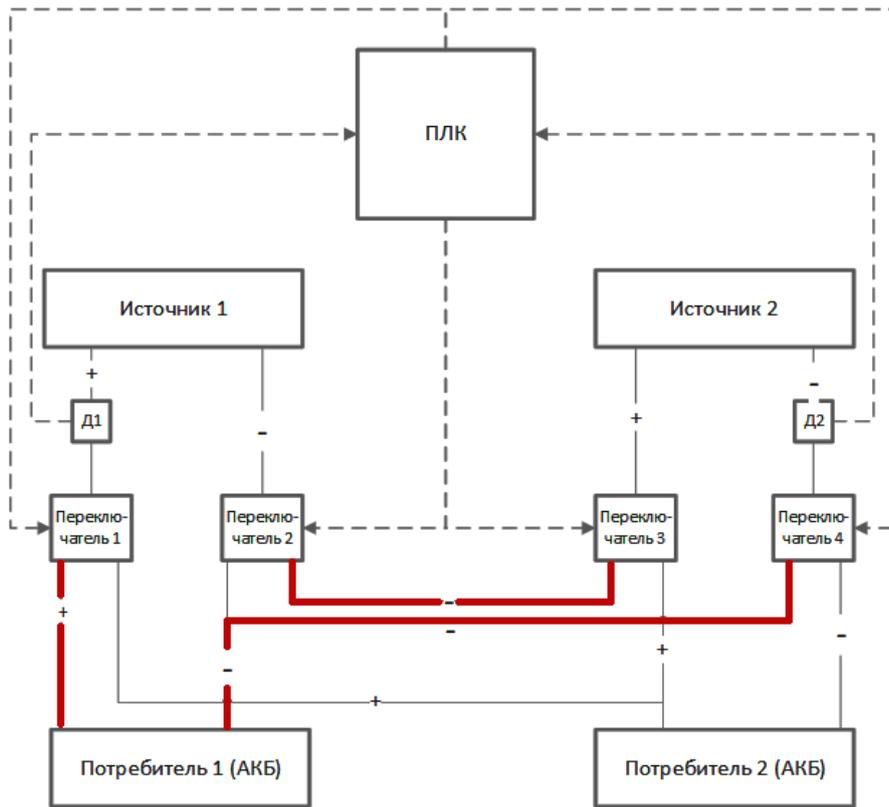


Рисунок 3 – Режим отсутствия или недостаточного заряда первого потребителя

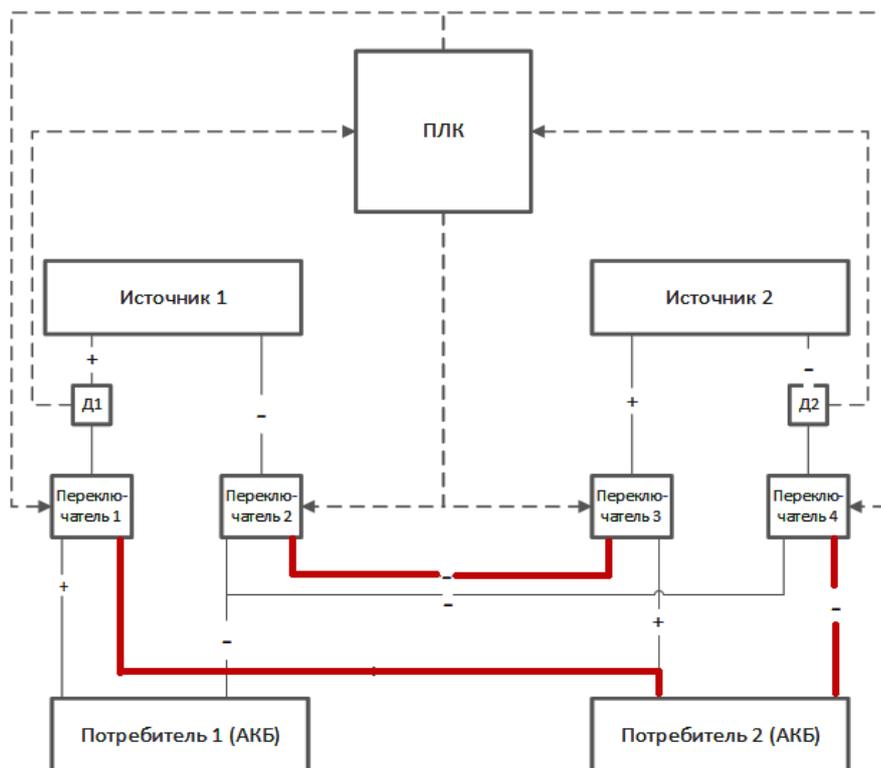


Рисунок 4 – Режим отсутствия или недостаточного заряда второго потребителя

Выводы. Разработана обобщенная структурная схема системы управления зарядкой аккумуляторов с использованием возобновляемых источников энергии. Основная задача, решаемая предлагаемой системой, это постоянное и устойчивое питание потребителей. Представленная структурная схема решает данную задачу при помощи интеллектуального переключения между источниками на основе данных, полученных с датчиков.

Список литературы

1. Мусаев, М. Состояние и мировая практика использования альтернативных источников энергии [Электронный ресурс]. – URL: <http://energy.econews.uz/index.php/2009-02-15-14-14-09/957-state-and-world-practice-of-using-alternative-power-resources> (дата обращения: 12.12.2020).
2. Атлас ветров России = RussianWindAtlas / А. Н. Старков, Л. Ландберг, П. П. Безруких, М. М. Борисенко; М-во топлива и энергетики России, Нац. лаб. Рисо (Дания), Рос. – Дат. ин-т энергоэффективности. – М.: Можайск-Терра, 2000. – 551 с.
3. Плеханов, С. О сырьевых ограничениях развития солнечной энергетики в 2013–2020 гг. / С. Плеханов. – М.: LAP LambertAcademicPublishing, 2013. – 788 с.
4. Вест, К. Источник энергии / К. Вест. – Москва: ИЛ, 2012. – 224 с.
5. Сибикин, Ю. Д. Альтернативные источники энергии / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – М.: РадиоСофт, 2014. – 248 с.
6. Сибикин, Ю. Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – М.: КноРус, 2012. – 240 с.

УДК 621.31:631.3(075.8)

М. Л. Шавкунов, П. Л. Лекомцев, А. С. Корепанов
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРА С РАЗЛИЧНЫМИ ДИСПЕРСНЫМИ СИСТЕМАМИ

Рассмотрена методика определения эффективности работы электрофильтра с различными дисперсными системами. Осуществлен анализ полученных результатов опытов, проведенных по приведенной методике.

В животноводческих помещениях при использовании приточной вентиляции происходит занос пылевых частиц различных размеров в помещение из воздушного бассейна животноводческих предприятий [2–8]. Чтобы избежать повышения заболеваемости, а в даль-

нейшем падежа животных, существует необходимость обеспыливать воздух [5–8]. Происхождение пыли бывает природное и минеральное. Пыль воздействует на кожу, слизистую оболочку глаз и органов дыхания. Если животное долго находится в запыленном помещении, происходит сольное воздействие пылевого состава на органы дыхания, из-за чего дыхание животного можно отметить как поверхностное. Это связано с ухудшением вентиляции легких, поэтому возрастает риск различных заболеваний дыхательных путей, вследствие снижения защитных функций слизистой оболочки случается внедрение в дыхательные пути животного различного рода инфекционных заболеваний.

Также при пыли происходит снижение защитных функций кожного покрова из-за возникающего зуда, различных трещин, раздражений и возникновения всевозможных инфекций.

При пыли снижается освещение, возрастает количество водяных паров, происходит абсорбция УФ-излучения [1, 5–8].

С трехкратной повторностью сделаем замеры в каждом диапазоне размеров частиц. Это необходимо для определения концентрации пыли на входе в установку [3]. С помощью блока управления регулируем напряжение, подаваемое на коронирующую систему установки. Регулирование проводим в диапазоне от U_{min} до U_{max} .

Также необходимо в каждой точке проводить фиксирование силы разрядного тока и числа аэрозольных частиц на выходе из установки. Все замеры проведем в трехкратной повторности.

Рассчитаем мощность коронного разряда по полученным усредненным данным по выражению [2–4]:

$$P_{кр} = U \times I, \quad (1)$$

где U – подаваемое напряжение, В;

I – разрядный ток, А.

Найдем эффективность обеспыливания воздуха из выражения:

$$\eta_{пыли} = \frac{n_{вх} - n_{вых}}{n_{вх}} \times 100 \%, \quad (2)$$

где $n_{вх}$ – концентрация пыли на входе в установку;

$n_{вых}$ – концентрация пыли на выходе из установки.

Анализ результатов показывает, что для частиц размером больше или равному 1 мкм, степень очистки равна 96 % при напряжении электрокоронного разряда, равном 17 кВ (рис. 1).

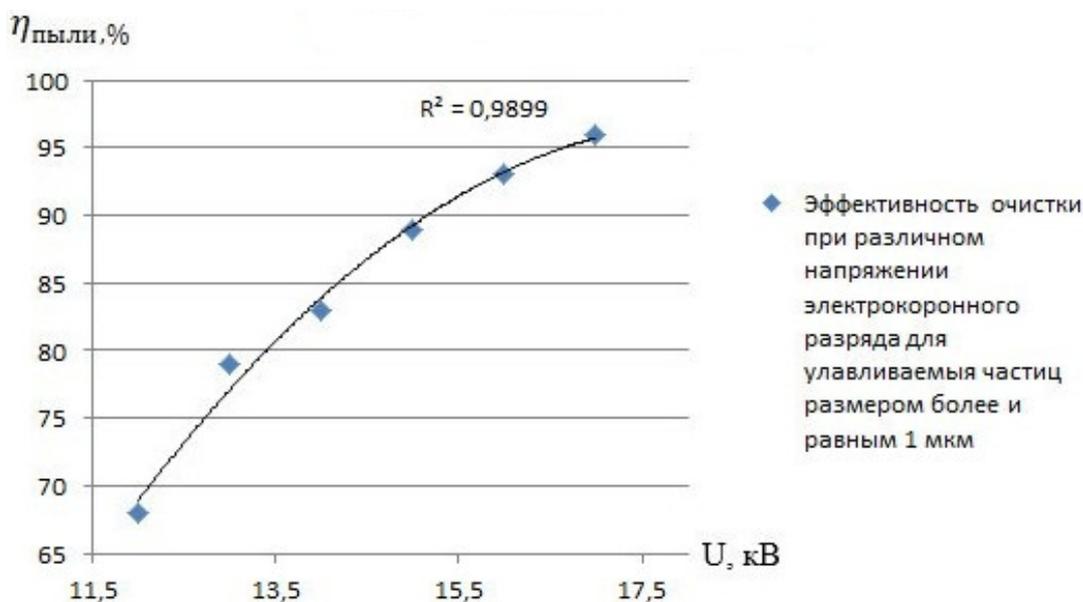


Рисунок 1 – Эффективность очистки при различном напряжении электрокоронного разряда при размере частиц более или равном 1 мкм

Для частиц размерами 0,6 мкм степень очистки ухудшается до значения, равного 83 % при том же напряжении электрокоронного разряда (рис. 2).

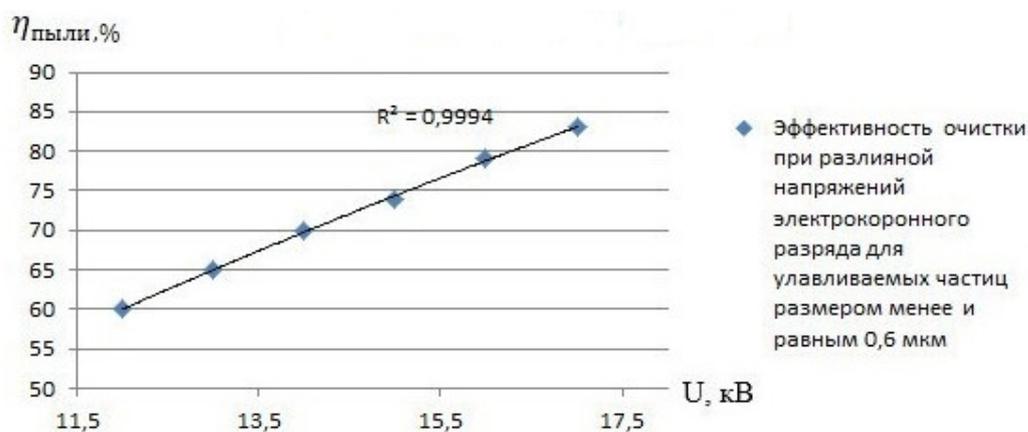


Рисунок 2 – Эффективность очистки при различном напряжении электрокоронного разряда при размере частиц более или равном 0,6 мкм

Таким образом, анализируя данные, можно прийти к выводу, что установка достаточно эффективна для предотвращения распространения инфекции аэрогенным путем при напряжении электрокоронного разряда, равном 17 кВ.

Список литературы

1. ГОСТ Р 51251-99. Фильтры очистки воздуха. Классификация, маркировка. Дата введения 2000-01-01.

2. Кириллов, В. Ф. Аэроионный режим в помещениях при использовании электрофильтров для очистки подаваемого в них воздуха / В. Ф. Кириллов // Химические факторы внешней среды и их гигиеническое значение: сборник. – М.: 1965. – № 4. – 48 с.
3. Левитов, В. И. Дымовые электрофильтры: учебник / В. И. Левитов, И. К. Решидов, В. М. Ткаченко и др. Под общ. ред. В. И. Левитова. – М.: Энергия, 1980. – 448 с.
4. Свиридов, А. А. Временные методические рекомендации по созданию оптимальной среды обитания в птицеводческих помещениях / А. А. Свиридов. – Челябинск, 1979. – 119 с.
5. Шавкунов, М. Л. Анализ методов поддержания микроклимата в животноводческих помещениях / М. Л. Шавкунов // Научные труды студентов Ижевской ГСХА. – Ижевск, 2016. – № 2 (3). – 147–149 с.
6. Шавкунов, М. Л. Анализ способов очистки воздуха в сельскохозяйственных помещениях / М. Л. Шавкунов // Инновационный потенциал сельскохозяйственной науки XXI века: вклад молодых ученых-исследователей: м-лы Всероссийской научно-практической конференции. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. 2017. – С. 235–238.
7. Шавкунов, М. Л. Расчет траектории движения заряженных частиц в электромагнитном поле в зависимости от массы частицы и напряжения коронного разряда / М. Л. Шавкунов, П. Л. Лекомцев // Научные труды студентов Ижевской ГСХА. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2016. – № 1(2). – С. 201–202.
8. Шавкунов, М. Л. Траектория движения заряженной частицы в неоднородном электромагнитном поле / М. Л. Шавкунов, П. Л. Лекомцев // Научное и кадровое обеспечение АПК для продовольственного импортозамещения: м-лы Всероссийской научно-практической конференции. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2016. – С. 227–230.

УДК 658.589

Т. А. Широбокова, Т. В. Цыркина, И. А. Баранова
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

СПОСОБЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ УЛИЧНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

Рассмотрены вопросы улучшения работы уличного освещения в сельской местности. Из-за нехватки финансов администрация вынуждена отключать освещение в ночное время, что создает неудобства для населения. Предлагаемый способ позволяет регулировать интенсивность освещения в зависимости от потока людей.

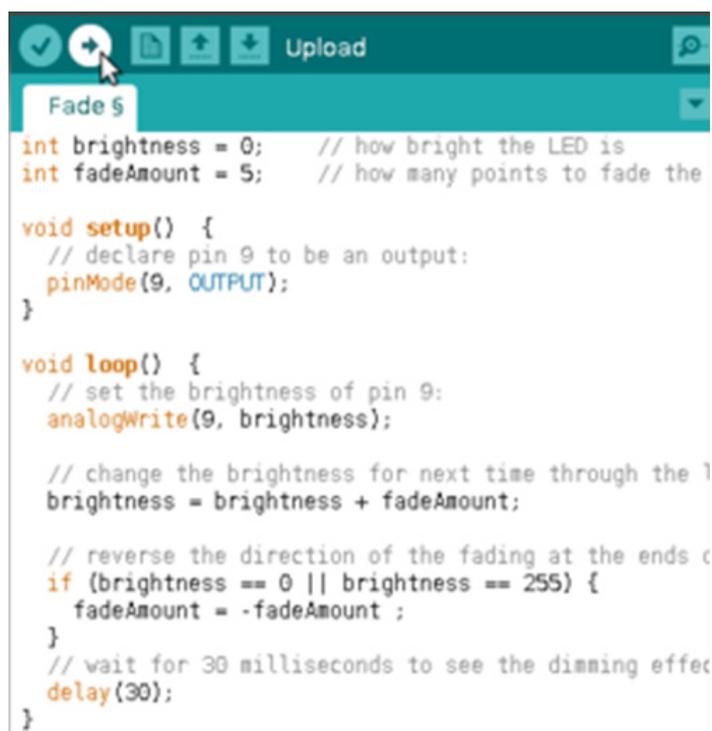
В последние десятилетия проблема энергосбережения в области освещения становится все более актуальной из-за роста вероятности дефицита электроэнергии. Общая доля мирового производства электроэнергии, затрачиваемая на освещение, достигает, по разным источникам, до 20–30 %, и значительная ее часть приходится на уличное освещение [1–8]. Администрации сельских поселений вследствие сильно ограниченных денежных средств, выделяемых из бюджета, в том числе и на освещение, вынуждены экономить, что сказывается и на самом уличном освещении. Для экономии денежных средств время работы установок наружного освещения задается в зависимости от светового дня и работает до 23:00. В ночное время уличное освещение отключается, что создает неблагоприятные и опасные условия для села.

Цель работы – проанализировать существующие методы автоматического управления освещением и выбрать способ управления уличным освещением, создающий комфортные условия для сельских жителей.

На данный момент самым современным и инновационным способом управления системой наружного освещения является автоматическая система управления, состоящая из двух уровней: 1. Верхний – панель диспетчерского управления уличным освещением находится на территории предприятия или объекта, в ответственности которого находятся система освещения (находится под наблюдением дежурного или диспетчера). На верхний уровень поступает вся информация с нижнего уровня, и осуществляется управление его параметрами или программами его работы. 2. Нижний – щит управления уличным освещением находится на участках сетей освещения (контролирует их состояние без присутствия работников).

Для снижения затрат на электроэнергию и реализации способа управления предлагается использование программируемых контроллеров Arduino с использованием языка C++ [9, 10]. В процессор Arduino можно загружать различные программы, которые будут управлять всеми этими устройствами по заданному в программе алгоритму (рис. 1).

Ещё одной отличительной особенностью Arduino является наличие плат расширения, так называемых shields. Для решения проблемы освещения в ночное время в программе прописывается режим работы уличного освещения в дневное и ночное время (рис. 2).



```
int brightness = 0; // how bright the LED is
int fadeAmount = 5; // how many points to fade the

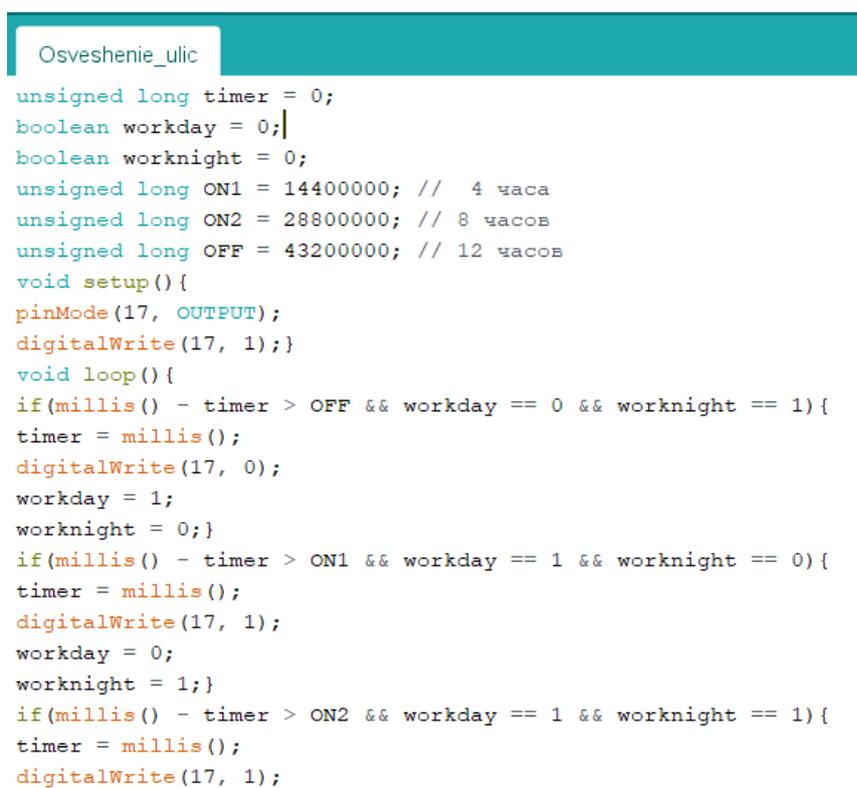
void setup() {
  // declare pin 9 to be an output:
  pinMode(9, OUTPUT);
}

void loop() {
  // set the brightness of pin 9:
  analogWrite(9, brightness);

  // change the brightness for next time through the
  brightness = brightness + fadeAmount;

  // reverse the direction of the fading at the ends of
  if (brightness == 0 || brightness == 255) {
    fadeAmount = -fadeAmount ;
  }
  // wait for 30 milliseconds to see the dimming effect
  delay(30);
}
```

Рисунок 1 – Пример составления программы



```
Osveshenie_ulic

unsigned long timer = 0;
boolean workday = 0;
boolean worknight = 0;
unsigned long ON1 = 14400000; // 4 часа
unsigned long ON2 = 28800000; // 8 часов
unsigned long OFF = 43200000; // 12 часов
void setup(){
  pinMode(17, OUTPUT);
  digitalWrite(17, 1);}
void loop(){
  if(millis() - timer > OFF && workday == 0 && worknight == 1){
    timer = millis();
    digitalWrite(17, 0);
    workday = 1;
    worknight = 0;}
  if(millis() - timer > ON1 && workday == 1 && worknight == 0){
    timer = millis();
    digitalWrite(17, 1);
    workday = 0;
    worknight = 1;}
  if(millis() - timer > ON2 && workday == 1 && worknight == 1){
    timer = millis();
    digitalWrite(17, 1);
  }
```

Рисунок 2 – Пример программы для регулирования освещения в ночное время

Выводы. В настоящее время в ночные часы уличное освещение в целях экономии денежных средств отключается, что является

ся явным нарушением требований к уличному освещению в сельских поселениях. Данное решение позволит включать группу светильников уличного освещения только в самых необходимых местах, что позволит администрациям сельских поселений выполнить свои обязательства в части освещения улиц.

Список литературы

1. Михайлов, Г. С. Уличное освещение: прошлое, настоящее и будущее / Г. С. Михайлов, А. Т. Фоменко // Международный школьный научный вестник. – 2018. – № 4–2. – С. 286–291.
2. Светодиодный осветительный прибор с использованием термодары / М. А. Чепкасова, Т. А. Широбокова, И. Г. Пospelова // Патент на полезную модель RU 191976 U1, 29.08.2019. Заявка № 2019106261 от 05.03.2019.
3. Возмилов, А. Г. Система освещения сельских улиц, территорий парков и площадей / А. Г. Возмилов, И. Ю. Лошкарев, О. В. Логачева, А. И. Стерхов // АПК России. – 2020. – Т. 27. – № 3. – С. 453–458.
4. Стерхов, А. И. Система энергосбережения в освещении улиц и дорог / А. И. Стерхов, И. Ю. Лошкарев, Н. В. Осадчий, С. В. Саенко, Е. Н. Бахуревич // Актуальные проблемы энергетики АПК: м-лы X Национальной научно-практической конференции с международным участием. Под общ. ред. В. А. Трушкина. – Саратов, 2019. – С. 213–215.
5. Кочетков, Н. П. Обоснование рационального режима питания наружного освещения сельских населенных пунктов / Н. П. Кочетков, Т. А. Широбокова // Вестник Московского ГАУ имени В. П. Горячкина. – 2009. – № 1 (32). – С. 15–19.
6. Кочетков, Н. П. Обоснование рационального режима питания установок наружного освещения сельских населенных пунктов / Н. П. Кочетков, Т. А. Широбокова, Е. Г. Трефилов // Вестник Ижевской ГСХА. – 2008. – № 2 (16). – С. 17–20.
7. Снижение расхода электроэнергии в установках наружного освещения / Т. А. Широбокова // Вестник ИжГТУ. – 2007. – № 3. – С. 147–148.
8. Результаты исследования электрического режима светильников наружного освещения при работе от тиристорного стабилизатора напряжения / Т. А. Широбокова // Научное обеспечение реализации национальных проектов в сельском хозяйстве: м-лы Всероссийской научно-практической конференции. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2006. – С. 297–300.
9. Аппаратная платформа Arduino [Электронный ресурс]. – URL: <http://arduino.ru/>. – Заглавие с экрана.
10. Рабион, Н. Д. Реализация каналов GSM/GPRS в беспроводных системах сбора и передачи информации / Н. Д. Рабион, А. О. Ермолаев и др. // Сети и системы связи. – 2006. – № 6. – С. 86–91.

О. Н. Малахова

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ЦИФРОВАЯ ПЕДАГОГИКА В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ КАК СОВРЕМЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ДИСКУРС И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ВЫЗОВ

Поднимается вопрос о цифровой педагогике в высшей школе как современном педагогическом дискурсе, предъявляющем новые требования к преподавателю. Отмечается, что эффективность педагогической деятельности зависит от способности проектировать сценарий учебной деятельности как профессиональной компетенции.

Согласно приоритетному проекту в области образования «Современная цифровая образовательная среда в РФ» от 25 октября 2016 предполагается «...привести образовательные программы в соответствие с нуждами цифровой экономики» [1, с.121]. Это предполагает внедрение новой образовательной среды – digital pedagogy – цифровой педагогике.

Суть цифровой педагогике состоит «не столько в непосредственном использовании цифровых технологий в преподавании, а, скорее, в применении этих инструментов с точки зрения критической педагогике» [2, с. 117–118].

К ним относятся, например, интерактивные платформы Moodle, YouTube, сценарии учебной деятельности, например, e-learning, blended-learning, open-education, on-line courses и т.д. Выбор и освоение перечня инструментов является профессиональным вызовом для преподавателя.

По мнению Л. С. Илюшина, существует 4 основных сценария учебной деятельности, которые позволяют преподавателю повысить уровень профессионализма в условиях цифровизации образования: «стартовый», «настороженно-ответственный», «поисковый» и «навигационный» [3, с. 7].

Выбор базового сценария, однако, не гарантирует преподавателю профессиональный успех.

Он связан с развитием новой профессиональной компетенции – способности проектировать сценарий учебной деятельности и гносеологической коммуникации в соответствии с конкретной образовательной ситуацией [4, с.40].

Список литературы

1. Приоритетный проект в области образования «Современная цифровая образовательная среда в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – URL: <http://neorusedu.ru/about> (дата обращения: 15.10.2020).
2. Сергеева, И. В. Цифровой педагог в онлайн-образовании // Научные труды Института непрерывного профессионального образования. – 2016. – № 6 (6). – С. 117–122.
3. Илюшин, Л. С. Цифровая педагогика для учителя. Выбор собственной стратегии в море возможностей [Электронный ресурс]. – URL: http://teachers.panograd.academy/digital_pedagogy_101 (дата обращения 16.10.2020).
4. Поносов, Ф. Н. Гносеологическая коммуникация и ее исторические формы // Наука Удмуртии. – 2016. – № 3 (77). – С. 39–46.

УДК 1:7/.9

С. И. Платонова, Ф. Н. Поносов
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

АБДУКЦИЯ КАК ЭВРИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОЗНАНИЯ В НАУКЕ НОВОГО ВРЕМЕНИ

Анализируется применение метода абдукции в науке Нового времени. Показано, что обращение к абдуктивной методологии стало существенной частью исследовательской стратегии новоевропейской науки. Абдукция, не являясь строгим логическим методом, обладает эвристическим потенциалом для выдвижения каузальных гипотез. Абдуктивная методология создает новый способ разработки гипотез, предшествующий применению дедуктивного подхода.

В современной науке происходят радикальные трансформации, связанные с использованием больших данных (big data), с цифровизацией научного знания. Многие исследователи утверждают, что в цифровой науке возрастает интерес к методу абдукции, поскольку с помощью абдуктивной логики возможно выдвижение гипотез, объясняющих закономерности больших данных [7, 8]. Абдукция применяется в науке довольно часто, хотя это редко признается. Кроме того, абдукция используется в построении и проверке судебных версий, в исследованиях по искусственному интеллекту, в детективной литературе [5].

Абдукция – это умозаключение, ориентированное на поиск гипотез, объясняющих факты (заметим, что в случае с цифровой

наукой речь идет об умозаключении не от фактов, а от больших данных к гипотезе). Абдуктивное рассуждение начинается с описывающих что-то данных и заканчивается гипотезой, объясняющей эти данные. «Абдукция, отмечает известный философ науки Г. И. Рузавин, приводит не просто к гипотетическим, вероятным заключениям, а служит специфическим методом поиска научных гипотез для объяснения имеющихся фактов» [5, с. 20].

Абдуктивные рассуждения как средство поиска объяснительных гипотез связывают обычно с американским философом Ч. С. Пирсом. Логическую форму абдуктивного рассуждения Пирс представляет в следующем виде:

1. Наблюдается некоторое удивительное явление Р.
2. Р было бы объяснено, если гипотеза Н была бы истинной.
3. Следовательно, имеется основание думать, что гипотеза Н истинна [5, с. 21].

Целью абдукции является формулирование обоснованного вывода, заключения, которое при этом не обязательно окончательно и не подлежит сомнению. Например, предпринимается попытка не вывести лучший способ сбора данных, а скорее найти такой подход, который представляется разумным и обоснованным в свете уже известного о способах сбора данных [6, р. 6].

Поскольку абдукция подразумевает выдвижение гипотезы, идущей от обобщений частных случаев, то традиционная логика не рассматривает такую гипотезу как логическую форму умозаключения. В науке обычно гипотезы используются как элемент гипотетико-дедуктивного метода, в основе которого лежит выведение заключений из гипотез.

В абдуктивном же рассуждении гипотезы выдвигаются на основе установленных фактов. Гипотеза, созданная с помощью абдукции, как правило, носит вероятностный, предположительный характер, поэтому абдуктивные рассуждения не встретили поддержки со стороны логиков. Тем не менее, не будучи строгой логической формой умозаключения, абдукция обладает значительным эвристическим потенциалом.

Рассмотрим на примере науки Нового времени применение метода абдукции. Абдукция довольно часто использовалась учеными, хотя в явном виде редко определялась. Несмотря на то, что абдуктивные рассуждения ввел в науку Ч. С. Пирс (1839–1914), метод абдукции использовался еще учеными Нового времени. Э. Макмаллин полагает, что Г. Галилей, И. Кеплер, Х. Гюйгенс, Р. Бойль

в своей научной деятельности использовали два разных метода: индукцию и абдукцию [2, с. 14].

Иоганн Кеплер, установив законы движения планет, пытался объяснить, почему они двигались так, а не иначе. То есть от кинематического описания движения планет И. Кеплер переходил к динамическому истолкованию того, почему эти движения именно таковы. Кеплер использовал данные Тихо де Браге, полученные при наблюдении за движением планеты Марс. Он подвергает эти данные математической обработке и устанавливает, что орбита Марса является эллиптической. Однако к этой индукции Кеплер добавляет чисто спекулятивную гипотезу о том, что и все остальные планеты Солнечной системы должны двигаться по эллипсу. Таким образом, И. Кеплер использует два научных метода: индукцию и абдукцию. С помощью индукции он осуществляет переход от наблюдаемых конкретных фактов к обобщениям, а далее с помощью абдукции формулирует гипотезу о причинах обнаруженных регулярностей в движении планет.

Христиан Гюйгенс в «Трактате о свете» широко использовал гипотезы, объясняющие наблюдаемые оптические явления. Голландский физик различает установление законов движения света и объяснение причин световых явлений. Распространение света он уподоблял распространению волны по водной поверхности и с помощью этих уподоблений объяснял периодический характер определенных оптических явлений [2, с. 17]. Х. Гюйгенс, так же, как и И. Кеплер, использует два разных метода: индукцию и абдукцию, хотя в явном виде об этих методах не говорит. Он полагает, что в процессе поиска и формулирования нового научного знания активно участвует философия, задавая основные принципы устройства мира.

Британский физик, химик Роберт Бойль в своих исследованиях ссылаясь на ненаблюдаемые причины явлений, в частности, на мельчайшие невоспринимаемые частицы (корпускулы). Р. Бойль полагал, что атомизм дает возможность научного объяснения всех явлений природы. «Почти все качественные определенности природных объектов и процессов могут быть объяснены с помощью движения, величины, фигуры и расположения атомов» [1, с. 228].

Фрэнсис Бэкон, как известно, был сторонником индуктивной методологии. Однако британский ученый понимал, что процесс индукции только обобщает наблюдаемые данные, эмпирические факты [4]. Мало установить, зафиксировать эмпирические связи и вза-

имозависимости. Необходим следующий шаг – поиск объясняющих факты гипотез, поэтому Ф. Бэкон придавал большое значение переходу от подобных обобщений, от следствий к их скрытым причинам. Единственным способом обнаружить эти скрытые причины было выдвижение каузальных гипотез. Такие гипотезы можно было проверить с помощью наблюдаемых следствий, выводимых из них. Г. И. Рузавин справедливо замечает: «Бесчисленные наблюдения показывают, что различные тела при нагревании расширяются, но они не объясняют, почему это происходит. Открытие закона связано как раз с процессом перехода от объясняемого явления к объясняющей гипотезе, а затем к закону или теории» [5, с. 30].

Необходимо отметить, что не все ученые Нового времени признавали подобную методологическую стратегию. Например, Исаак Ньютон высказывался против гипотез, а подлинный метод науки понимал как выведение принципов непосредственно из феноменов без помощи каких-либо гипотез, так как все, что не выводится из феноменов, называется гипотезами. Знание может быть получено только с помощью наблюдения, эксперимента или строгого доказательства. И. Ньютон пытался избежать формулирования гипотез, которые он понимал как сомнительный элемент научного знания. Тем не менее, при изучении свойства всемирного притяжения, которое многими современниками И. Ньютона казалось темным и оккультным качеством, британский физик не смог вывести причину свойства притяжения из наблюдаемых феноменов. Как отмечает сам И. Ньютон, «причину свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю. Все же, что не выводится из явлений, должно называться гипотезой, гипотезам же метафизическим, физическим, механическим, скрытым свойствам, не место в экспериментальной философии» [3, с. 662].

Итак, ученые Нового времени изучали мир в условиях малого объема данных, без использования вычислительных машин и компьютеров. Следовательно, метод абдукции предполагал гипотетическое осмысление природы эмпирически открытых закономерностей, которые выводились из небольшого количества фактов. Утверждалось, что знание может быть получено эмпирическим путем (Ф. Бэкон, И. Ньютон) или как дедуктивный вывод из теории или модели (Р. Декарт). Предполагалась экспликация причинно-следственных, каузальных связей, а целью науки было формулирование законов и закономерностей.

В науке Нового времени мы видим обращение к глубинным гипотетическим каузальным структурам, использование двух взаимосвязанных методов научного познания: индукции и абдукции, хотя в явном виде метод абдукции учеными мог не осознаваться и, соответственно, не определяться. Если античная и средневековая наука характеризуются демонстративностью и дедуктивностью знания, то наука Нового времени предлагает новый методологический инструментарий, сочетающий методы индукции, абдукции и дедукции.

Список литературы

1. Гайденок, П. П. Эволюция понятия науки (XVII–XVIII вв.) / П. П. Гайденок. – М.: Наука, 1987. – 448 с.
2. Колпаков, В. А. Социально-эпистемологические проблемы современного экономического знания / В. А. Колпаков. – М.: Канон+ РООИ Реабилитация, 2008. – 208 с.
3. Ньютон, И. Математические начала натуральной философии / И. Ньютон. – М.: Наука, 1989. – 689 с.
4. Платонова, С. И. Теоретико-методологические основания социального факта / С. И. Платонова // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. – 2016. – № 7–2 (69): – С. 142–146.
5. Рузавин, Г. И. Абдукция и методология научного поиска / Г. И. Рузавин // Эпистемология и философия науки. – 2005. – Т. VI. – № 4. – С. 18–37.
6. Kitchin R. Big data, New epistemologies and Paradigm Shifts / R. Kitchin // Big Data & Society. – 2014. – Vol. 1. – №. 1. – Pp. 1–12.
7. Miller H. J. The Data avalanche is here. Shouldn't we be digging? / H. J. Miller // Journal of Regional Science. – 2010. – № 50 (1). – P. 181–201.
8. Miller H. J., Goodchild M. F. Data-driven geography / H. J. Miller, M. F. Goodchild // GeoJournal. – 2015. – Vol. 80. – Issue 4. – P. 449–461.

СОДЕРЖАНИЕ

Л. П. Артамонова, О. Г. Долговых Характеристика энергопотребления МОУ Малопургинского района УР	3
М. М. Беззубцева, В. С. Волков К вопросу исследований закономерностей процессов механоактивации в электромеханических диспергаторах	7
В. А. Буторин, А. Ю. Плешакова, А. М. Молчан Определение характера изменения сопротивления изоляции электродвигателя от наработки.	11
С. В. Вендин К расчету напряженности электрического поля при СВЧ-обработке продукта внутри диэлектрической оболочки цилиндрической формы.	15
М. Н. Вершинин, С. И. Юран Стимулирование растительных организмов лазером	19
И. Р. Владыкин, Е. И. Владыкина, Д. И. Владыкин Энергоэффективное регулирование температуры в сооружениях закрытого грунта	22
Н. В. Горохова, Е. В. Дресвянникова Современное развитие системы бережливого производства в российской промышленности	27
В. И. Кашин Об особенностях выбора автономных источников энергоснабжения для предприятий АПК	32
Н. П. Кондратьева, К. А. Батурина, А. И. Батурин, М. Ю. Бигбашев Обоснование мигающего светового режима облучения на развитие земляники	36
Н. П. Кондратьева, В. К. Ваштиев, А. В. Радикова, А. А. Шишов Повышение надежности эксплуатации электрооборудования и сетей 6–10 кВ при использовании цифровых технологий	42

В. А. Руденок, Н. П. Кондратьева Эффект синергизма при подготовке семян культурных растений препаратом нанокремния с последующим УФ-облучением	45
Н. П. Кондратьева, В. А. Руденок Повышение надежности пускозащитной аппаратуры при эксплуатации электрооборудования в условиях сельского хозяйства	52
Н. П. Кондратьева, Д. А. Филатов Расчет линии электропередач для теплицы со светодиодными облучателями	56
А. С. Корепанов, Р. И. Гаврилов, П. Л. Лекомцев, Н. Л. Олин Энергетические характеристики кабельных систем отопления	65
А. С. Корепанов, П. Л. Лекомцев, А. М. Ниязов, М. Л. Шавкунов Исследование индукционного нагревательного элемента электрических водонагревателей систем отопления и горячего водоснабжения	69
А. М. Лукьянченко, С. В. Вендин Схема аккумуляирования низкопотенциальных промышленных выбросов.	73
П. Н. Покоев Испытание изоляционного слоя листов электротехнической стали.	77
Г. К. Половнев, С. В. Вендин Система управления зарядкой аккумуляторов с использованием возобновляемых источников энергии	80
М. Л. Шавкунов, П. Л. Лекомцев, А. С. Корепанов Эффективность работы электрофильтра с различными дисперсными системами	84
Т. А. Широбокова, Т. В. Цыркина, И. А. Баранова Способы адаптивного управления уличным освещением в сельской местности	87

О. Н. Малахова

Цифровая педагогика в высшей школе
как современный педагогический дискурс
и профессиональный вызов 91

С. И. Платонова, Ф. Н. Поносков

Абдукция как эвристический метод познания
в науке нового времени. 92

Научное издание

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ АПК

Материалы Национальной научно-практической конференции,
посвященной 100-летию плана ГОЭРЛО

*3–4 декабря 2020 года
г. Ижевск*

Редактор И. М. Мерзлякова
Компьютерная верстка А. А. Волкова

Подписано в печать 01.02.2021 г. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 5,8. Уч.-изд. л. 4,5.
Тираж 300 экз. (первый завод 30 экз.). Заказ № 8167.
Отпечатано в ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА
426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11.