



СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ АГРАРНОЙ СФЕРЫ

Материалы Национальной научно-практической конференции

22 декабря 2023 года



Ижевск, 2023

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УДМУРТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ АГРАРНОЙ СФЕРЫ

Материалы Национальной научно-практической конференции,
посвященной Дню энергетика

*22 декабря 2023 года
г. Ижевск*

Ижевск
УдГАУ
2023

УДК 631.371(06)

ББК 40.76я43

С 56

С 56 **Современные энергетические аспекты развития аграрной сферы:** материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной Дню энергетика, г. Ижевск, 22 декабря 2023 г. – Электрон. дан. (1 файл). – Ижевск: УдГАУ, 2023. – 164 с. – Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа к сборнику: свободный.

ISBN 978-5-9620-0444-0

В сборнике представлены статьи российских ученых, отражающие результаты научных исследований в области электрификации и автоматизации сельского хозяйства.

Предназначен для студентов, аспирантов, преподавателей сельскохозяйственных вузов, работников научно-исследовательских учреждений и специалистов агропромышленного комплекса.

УДК 631.371(06)

ББК 40.76я43

ISBN 978-5-9620-0444-0

© Авторы статей, 2023

© УдГАУ, 2023

Л. П. Артамонова

Удмуртский ГАУ

КРИТИЧЕСКИЙ ДИАМЕТР ИЗОЛЯЦИИ ТЕПЛОПРОВОДА

При выборе изоляции теплопровода необходимо обратить внимание на значение коэффициента теплопроводности материала, он не должен превышать 0,25 Вт/м°C. Основным расчетный параметр при проектировании изоляции – это ее толщина, которая рассчитывается, исходя из допустимых потерь теплоты. Однако в учебной литературе по теплопередаче указывается, что помимо толщины изоляции необходимо также рассчитать ее критический диаметр. На основе анализа различной изоляции теплопровода показано, что на практике такой параметр, как критический диаметр изоляции, не оказывает влияния на теплопотери.

Актуальность. В учебниках по теплопередаче приводится такое понятие, как «критический диаметр изоляции», и отмечается, что при разработке изоляции теплопроводов необходимо учитывать этот параметр, чтобы не получить обратный эффект от применения изоляции. Далее рассмотрим на практических примерах, как реально это выглядит.

Материалы и методика. Термическое сопротивление теплопередаче изолированной трубы (изоляция однослойная) определяется:

$$R_l = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_{mp}} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_3},$$

где d_1 , d_2 и d_3 – внутренний диаметр трубы, внешний диаметр трубы и внешний диаметр изоляции;

α_1 и α_2 – внутренний и внешний коэффициенты теплоотдачи (соответственно, на границе «теплоноситель-внутренняя поверхность трубы» и на границе «поверхность изоляции-окружающая среда»);

λ_{mp} и $\lambda_{из}$ – коэффициенты теплопроводности материала трубы и изоляции.

Таким образом, сопротивление теплопередачи включает в себя четыре элемента: сопротивление теплоотдаче на границе «теплоноситель-внутренняя поверхность трубы» $R_\alpha = \frac{1}{\alpha_1 d_1}$, сопротивление теплопроводности через трубу $R_\lambda = \frac{1}{2\lambda_{mp}} \ln \frac{d_2}{d_1}$,

сопротивление теплопроводности через изоляцию $R_{\lambda} = \frac{1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{d_3}{d_2}$,
 сопротивление теплоотдаче на границе «изоляция-окружающая среда» $R_{\alpha} = \frac{1}{\alpha_2 d_3}$.

Сумма первых двух сопротивлений никак не зависит от наличия и толщины изоляции:

$$R_{t1} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_{мп}} \ln \frac{d_2}{d_1} - const.$$

Сопротивление теплопроводности через изоляцию с увеличением толщины изоляции (с увеличением внешнего диаметра d_3) будет повышаться, $R_{\lambda} = \frac{1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{d_3}{d_2} - \uparrow$, а сопротивление теплоотдачи на границе «изоляция-окружающая среда» с увеличением толщины изоляции будет снижаться, $R_{\alpha} = \frac{1}{\alpha_2 d_3} - \downarrow$.

С учетом вышесказанного теоретические графики изменения термического сопротивления теплопередаче и его отдельных элементов в зависимости от толщины изоляции показаны на рисунке 1.

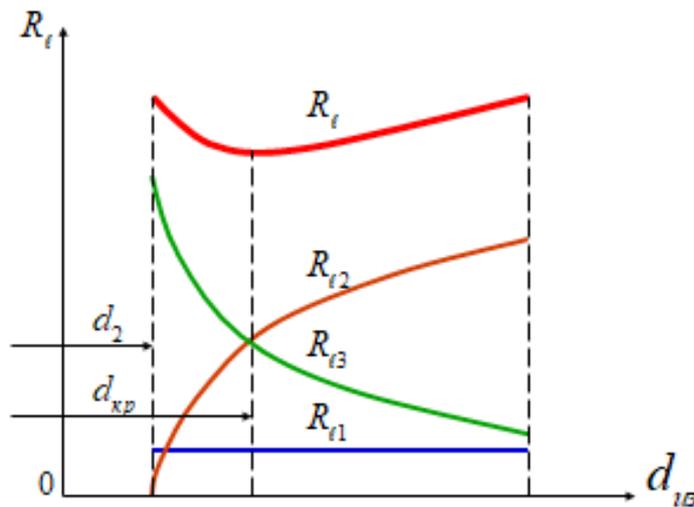


Рисунок 1 – Изменение термического сопротивления теплопередаче в зависимости от толщины изоляции

Как видно из графика, при увеличении толщины изоляции суммарное термическое сопротивление изменяется неоднозначно: сначала оно снижается, а затем повышается. То есть имеет место

минимальное термическое сопротивление, при котором теплопотери возрастают и могут превысить допустимые значения.

Диаметр изоляции, который соответствует минимальному сопротивлению, называют критическим диаметром изоляции, он определяется:

$$d_{кр} = \frac{2\lambda_{из}}{\alpha_2}.$$

Материалы исследования. Теперь проанализируем, как это будет выглядеть на практике. Рассмотрим изменение термического сопротивления на примере изоляции теплопровода системы теплоснабжения с наземной прокладкой в д. Ср. Кечево Малоपुरгинского района УР.

Теплопровод внутренним диаметром $d_1 = 100$ мм и наружным $d_2 = 108$ мм. Температурный график теплоносителя 95/70 °С, скорость теплоносителя в трубе $\omega_m = 0,95$ м/с, минимальная температура самой холодной пятидневки отопительного периода $t_n = -31$ °С. Согласно СП 41-103-2000, при продолжительности отопительного периода более 5000 час (что характерно для данной местности) норма плотности теплового потока с 1 м изолированного теплопровода в открытом воздухе с условным диаметром прохода 100 мм составляет $q = 34$ Вт/м. Коэффициент теплоотдачи на границе «поверхность изоляции-окружающий воздух» $\alpha_2 = 26$ Вт/м² °С.

Для определения термического сопротивления теплопередаче сначала рассчитаем его неизменную часть:

$$R_{i1} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_{mp}} \ln \frac{d_2}{d_1}.$$

В приведенном уравнении неизвестной величиной является α_1 , ее мы определим с помощью критериального уравнения конвективной теплоотдачи:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_1}$$

где λ , ν – коэффициент теплопроводности (Вт/м°С) и коэффициент кинематической вязкости (м²/с) теплоносителя;

Nu – критерий Нуссельта (определяется с помощью критериального уравнения).

Для выбора критериального уравнения определим режим движения теплоносителя по значению критерия Рейнольдса:
режим турбулентный:

$$Re = \frac{\omega_m \times d_1}{\nu} = \frac{0,95 \times 0,1}{0,311 \times 10^{-6}} = 305\,466.$$

Для турбулентного режима движения жидкости в трубе критериальное уравнение имеет вид:

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr_{ж}^{0,43} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_c} \right)^{0,25} = 0,021 \times 305\,466^{0,8} \times \\ \times 1,86^{0,43} \left(\frac{1,86}{1,97} \right)^{0,25} = 662.$$

Отсюда

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_1} = \frac{662 \cdot 0,68}{0,1} = 4515 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}.$$

Термическое сопротивление

$$R_{л1} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_{mp}} \ln \frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{4515 \times 0,1} + \frac{1}{2 \times 50} \ln \frac{0,108}{0,1} = 0,0099 \text{ м}^2 \text{ °C/Вт}.$$

Чтобы рассчитать R_{l2} и R_{l3} , определим толщину различных изоляционных материалов для заданного теплопровода, при которой теплотери не превышают нормативные показатели ($q = 34 \text{ Вт/м}$). Расчет проведем при условии минимальной температуры наружного воздуха ($t_n = -31 \text{ °C}$).

Толщина изоляции для цилиндрических поверхностей рассчитывается, исходя из наружного диаметра трубопровода, типа изоляции, нормативных потерь теплоты, разницы температур теплоносителя и окружающей среды:

$$\delta_{из} = \frac{d_2 (B - 1)}{2},$$

где B – коэффициент, определяемый по формуле:

$$\ln B = 2\pi \times \lambda_{из} \left[\frac{K(t_6 - t_n)}{q_n} - R_{\alpha}^n \right],$$

где K – коэффициент, учитывающий дополнительные потери теплоты через теплопроводные включения в теплопроводных конструкциях, при открытой прокладке, для труб диаметром менее 150 мм $K = 1,2$;

q_n – нормативные теплотери, для труб с диаметром условного прохода 100 мм $q_n = 34$ Вт/м;

t_6 – среднегодовая температура теплоносителя в подающем теплопроводе, для режима 95 °С/70 °С $t_6 = 65$ °С;

t_n – температура окружающей среды, для расчета изоляции применяется среднегодовая температура отопительного периода, для УР $t_n = -5,6$ °С;

R_{α}^n – термическое сопротивление теплоотдаче на границе «изоляция-окружающая среда», $R_{\alpha}^n = 0,07$ м² · °С/Вт.

Значения всех параметров выбраны согласно СП 41-103-2000 «Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов».

Результаты исследований. Далее рассмотрим, как изменяется термическое сопротивление выбранной изоляции с увеличением ее толщины, результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Результаты расчета толщины изоляции

Тип изоляции	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·°С	Расчетная толщина изоляции, $\delta_{из}$, м	Внешний диаметр теплопровода с изоляцией, d_3 , м
Минеральная вата каменная	0,046	0,065	0,238
Минеральная вата шлаковая	0,048	0,07	0,248
Пенополиуретан	0,03	0,04	0,188
Вспененный полиэтилен	0,037	0,05	0,208

Таблица 2 – Результаты расчета термического сопротивления изоляции

Минеральная вата каменная					Минеральная вата шлаковая				
d_3	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_1	d_3	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_1
0,108	0,0099	0	0,356	0,3659	0	0,0099	0	0,356	0,3659
0,238	0,0099	8,5870	0,1616	8,7585	0,248	0,0099	8,6594	0,1551	8,8243

Минеральная вата каменная					Минеральная вата шлаковая				
d_3	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_1	d_3	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_1
0,25	0,0099	9,1304	0,1538	9,2942	0,26	0,0099	9,1516	0,1479	9,3094
0,26	0,0099	9,5652	0,1479	9,7230	0,27	0,0099	9,5447	0,1424	9,6970
0,27	0,0099	9,9565	0,1424	10,1088	0,28	0,0099	9,9235	0,1374	10,0708
0,28	0,0099	10,3587	0,1374	10,5060	0,29	0,0099	10,2891	0,1326	10,4316
0,29	0,0099	10,7391	0,1326	10,8817	0,3	0,0099	10,6422	0,1282	10,7803
0,3	0,0099	11,0870	0,1282	11,2251	0,31	0,0099	10,9838	0,1241	11,1177
0,31	0,0099	11,4565	0,1241	11,5905	0,32	0,0099	11,3145	0,1202	11,4446
0,32	0,0099	11,8043	0,1202	11,9344	0,325	0,0099	11,4760	0,1183	11,6042
0,33	0,0099	12,1413	0,1166	12,2678	0,33	0,0099	11,6350	0,1166	11,7615
0,34	0,0099	12,4565	0,1131	12,5795	0,34	0,0099	11,9460	0,1131	12,0690
0,35	0,0099	12,7826	0,1099	12,9024	0,35	0,0099	12,2479	0,1099	12,3677
Пенополиуретан					Вспененный полиэтилен				
d_3	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_1	d_3	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_1
0,108	0,0099	0	0,356	0,3659	0,108	0,0099	0	0,356	0,3659
0,188	0,0099	9,2385	0,2046	9,4530	0,208	0,0099	10,6757	0,1849	10,8705
0,2	0,0099	10,2698	0,1923	10,4720	0,21	0,0099	11,0811	0,1832	11,2741
0,21	0,0099	11,0829	0,1832	11,2760	0,22	0,0099	11,6216	0,1748	11,8063
0,22	0,0099	11,8583	0,1748	12,0430	0,23	0,0099	12,1351	0,1672	12,3122
0,23	0,0099	12,5991	0,1672	12,7763	0,24	0,0099	12,6351	0,1603	12,8053
0,24	0,0099	13,3085	0,1603	13,4786	0,25	0,0099	13,1081	0,1538	13,2719
0,25	0,0099	13,9888	0,1538	14,1526	0,26	0,0099	13,5135	0,1479	13,6713
0,26	0,0099	14,6425	0,1479	14,8003	0,27	0,0099	14,2432	0,1425	14,3956
0,27	0,0099	15,2715	0,1425	15,4239	0,28	0,0099	14,6757	0,1374	14,8229
0,28	0,0099	15,8776	0,1374	16,0249	0,29	0,0099	15,0946	0,1326	15,2371
0,29	0,0099	16,4625	0,1326	16,6050	0,3	0,0099	15,4865	0,1282	15,6246
0,3	0,0099	17,0275	0,1282	17,1656	0,31	0,0099	15,6892	0,1241	15,8232

Как видно на практике, с повышением толщины изоляции термическое сопротивление теплопередачи постоянно растет, не претерпевая никаких перепадов. То есть снижение внешнего термического сопротивления R_{13} не оказывает никакого влияния на динамику изменения общего термического сопротивления R_1 . Величину термического сопротивления, а следовательно и динамику его изменения, определяет R_{12} – термическое сопротивление теплопроводности изоляции.

Расчетное значение критического диаметра для исследуемых изоляций приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Значение критического диаметра изоляции

Тип изоляции	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/м ^{°С}	Коэффициент теплоотдачи, α_2 , Вт/м ² °С	Критический диаметр изоляции, $d_{кр}$, м
Минеральная вата каменная	0,046	26	0,0035
Минеральная вата шлаковая	0,048	26	0,0037
Пенополиуретан	0,03	26	0,0023
Вспененный полиэтилен	0,037	26	0,0028

В теоретических исследованиях указано, что при $d_{кр} < d_2$ – изоляция эффективна, т.е. при любой толщине (больше минимально допустимой при нормативных тепловых потерях) изоляция будет эффективна, а при $d_{кр} > d_2$ – не эффективна.

Как видно из таблицы 3, значения критического диаметра для всех исследуемых изоляционных материалов ничтожны. Даже если выбрать изоляционный материал с предельным значением коэффициента теплопроводности ($\lambda = 0,25$ Вт/м^{°С}), величина критического диаметра составит 0,019 м, что значительно меньше наружного диаметра d_2 теплопровода.

Выводы и рекомендации. Следовательно, при проектировании изоляции значение критического диаметра рассчитывать не имеет смысла, т.к. он никоим образом не определяет теплотери теплопровода.

Список литературы

1. Артамонова, Л. П. Способы повышения надежности распределительных тепловых сетей / Л. П. Артамонова, А. А. Пономарев // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству: материалы Междунар. науч.-практ. конф. в 3 т., Ижевск, 12–15 февр. 2019 г. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2019. – Т. 2. – С. 211–217.
2. Артамонова, Л. П. Снижение энергозатрат в системах теплоснабжения сельхозпредприятий / Л. П. Артамонова // Инновационные электротехнологии и электрооборудование – предприятиям АПК: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 35-летию факультета электрификации и автоматизации сельского хозяйства, 20 апреля 2012 г. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2012. – С. 139–147.

И. А. Баранова

Удмуртский ГАУ

ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ

Рассмотрены статистические методы прогноза потребления электроэнергии, основанные на экспертной оценке. Представлено их описание, выявлены преимущества и недостатки каждого метода. Даны рекомендации по использованию наиболее эффективного метода прогнозирования потребления электроэнергии.

Актуальность. В сфере прогнозирования потребления электроэнергии существует широкий спектр методик, основанных на применении статистического анализа [1–3]. Статистический метод является одним из основных инструментов, используемых при формировании прогнозов потребления электроэнергии, основанных на экспертной оценке. Это связано с тем, что статистический анализ позволяет анализировать и интерпретировать исторические данные о потреблении, выявлять тенденции, сезонные колебания, а также учитывать различные факторы, влияющие на потребление электроэнергии.

Цель исследований. Провести сравнительный анализ методов прогнозирования потребления электроэнергии на основе экспертной оценки.

Поставленная цель предполагает решение следующих задач:

1. Выявить основные способы прогнозирования потребления электроэнергии на основе экспертной оценки.
2. Выявить преимущества и недостатки каждого способа.
3. Выбрать наилучший метод прогнозирования.

Материалы и методика. Прогнозирование эвристическим методом [4] в общем случае характеризуется в виде опроса высококвалифицированного специалиста, который может составить общее видение развития конкретной ситуации и найти для данной ситуации решение. В данном случае предлагаемые пути решения основываются на знаниях и опыте и в какой-то степени на профессиональной интуиции специалиста-эксперта. Из этого можно сделать вывод, что указанные факторы являются субъективными и зависят

от личных качеств специалиста-эксперта, что является для эвристического прогнозирования существенным недостатком. При этом на практике данный подход очень часто применяется, но он не приемлем, так как очень многое зависит от конкретного специалиста-эксперта, а в случае некорректного прогноза последствия ошибочных решений могут привести к некорректному результату, так как на основе значений прогнозного потребления рассчитывается большое количество данных.

Однако следует отметить, что при длительной и качественной подготовке специалиста в данной области, на основании большого объема анализируемой информации, прогнозы, составленные специалистом-экспертом, по точности превосходят в большинстве случаев прогнозы, составленные на базе специализированных компьютерных программ или искусственного интеллекта. Однако такие результаты достигаются в случае, если в энергосистемах режим работы не сопровождается непредвиденными событиями, т.е. происходит стабильное потребление электроэнергии за счет установившегося режима работы крупных потребителей или устойчивых метеорологических условий.

В случае сложных технических объектов такой вид прогнозирования становится достаточно сложным и трудоемким. В связи с этим прогноз потребления может быть составлен не корректно. Пример не корректно составленного прогноза представлен на рисунке 1.

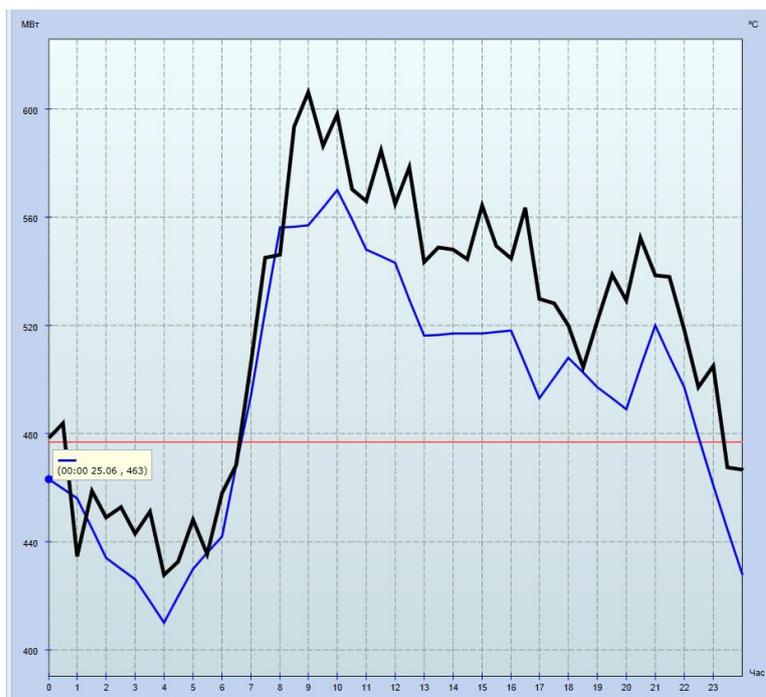


Рисунок 1 – Отклонение фактического потребления от прогнозного

Результаты исследований. Из рисунка 1 видно, что при планировании потребления электроэнергии эксперт учел не все факторы, которые повлияли на траекторию потребления мощности в энергосистеме. Это привело к существенной разнице между прогнозируемым и фактическим потреблением электроэнергии.

Эвристические методы прогнозирования электропотребления могут включать в себя использование экспертных оценок, эмпирических правил, интуиции и предположений, основанных на знаниях и опыте специалистов в области электроэнергетики. Эти методы часто применяются в случаях, когда нет достаточного количества исторических данных или когда требуется учесть сложные и непредсказуемые факторы.

Прогнозирование электропотребления с использованием эвристических методов имеет свои преимущества и ограничения. С одной стороны, эти методы могут быть гибкими и адаптивными к изменяющимся условиям, а также могут учесть контекстуальные особенности и экспертное мнение. Однако они также могут быть менее точными и предсказуемыми по сравнению с формальными статистическими моделями.

В целом прогнозирование электропотребления с использованием эвристических методов является одним из подходов, позволяющих учесть широкий спектр факторов и получить предварительные оценки будущего потребления электроэнергии. Эти методы могут быть полезны при принятии оперативных решений в энергетической отрасли, но требуют осторожного анализа и проверки результатов для достижения наилучших результатов.

Прогнозирование методом моделирования [5] является процессом, при котором создаются математические модели для предсказания будущих значений потребления электроэнергии. Этот метод основан на анализе исторических данных и учете различных факторов, таких, как сезонность, временные ряды потребления, климатические условия, экономические показатели и другие влияющие факторы.

Моделирование электропотребления позволяет установить связи между различными переменными и предсказать будущие тенденции потребления электроэнергии. Это достигается путем разработки математических моделей, которые учитывают прошлые данные и используют их для создания прогнозов на основе заданных условий.

Преимущество метода моделирования заключается в его способности предоставлять более точные и детализированные про-

гнозы на различных временных горизонтах. Это позволяет энергетическим компаниям и регуляторам разрабатывать эффективные стратегии управления электропотреблением, планировать режимы работы энергосистемы и оптимизировать использование ресурсов.

Недостатком прогнозирования электропотребления методом моделирования является необходимость иметь качественную базу данных, содержащую актуальные данные за длительный период потребления электроэнергии, создание адекватных, проверенных и легко перенастраиваемых математических моделей.

Регрессионный метод прогнозирования электропотребления является одним из распространенных подходов в прогнозировании. Он основан на использовании статистической модели, называемой регрессией, для предсказания будущих значений потребления электроэнергии на основе прошлых данных и связанных переменных.

В регрессионном методе прогнозирования электропотребления выбираются релевантные факторы, которые могут влиять на потребление электроэнергии, например, климатические условия, экономические показатели, демографические данные и другие. Затем строится математическая модель, которая определяет коэффициенты регрессии, а они в свою очередь используются для предсказания будущих значений потребления электроэнергии.

Преимущество регрессионного метода заключается в его простоте и понятности. Он позволяет выявить основные факторы, влияющие на потребление электроэнергии, и предсказывать будущие значения на основе этих факторов. Однако для достижения точности прогнозов важно правильно выбрать релевантные факторы и иметь доступ к качественным и актуальным данным.

Выводы и рекомендации. Рассмотрев четыре основных метода прогнозирования потребления электроэнергии на основе экспертной оценки, можно сделать вывод, что наиболее точный и доступный способ – это регрессионный метод и моделирование. Регрессионный метод наиболее понятен и приемлем, если используются актуальные данные и четко определены факторы, влияющие на потребление электроэнергии. Моделирование – наиболее современный способ прогнозирования электроэнергии. С использованием современных программных продуктов, которые позволяют строить модели прогноза, возможно учесть больше факторов и нюансов, влияющих на потребление электроэнергии – это и метеоусловия, суточное потребление, особенности региона проживания

ния, экономические факторы. Для одновременного учета больших показателей, влияющих на потребление электроэнергии, необходимо разрабатывать новые модели и способы учета электроэнергии.

Список литературы

1. Комаров, И. О. Способы учета и экономии электроэнергии / И. О. Комаров, В. К. Герасимов // Научные труды студентов Ижевской ГСХА. – Ижевск: УдГАУ, 2022. – Т. 2 (15). – С. 622–625.
2. Применение нейронных сетей для решения задач электроэнергетики / И. А. Баранова, А. И. Батурич, К. А. Батурина, И. О. Комаров // Инженерное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса России: материалы Нац. науч.-практ. конф. – Ижевск: УдГАУ, 2022. – С. 19–24.
3. Едзиева, З. Т. Автоматизация системы контроля и учета электроэнергии / З. Т. Едзиева // Новая наука: Теоретический и практический взгляд. – 2017. – Т. 1, № 4. – С. 13–16.
4. Дадтеев, Ю. О. Обзор методов краткосрочного прогнозирования потребления электроэнергии / Ю. О. Дадтеев, А. Ю. Владова // Современная математика и концепции инновационного математического образования. – 2020. – Т. 7, № 1. – С. 192–200.
5. Доманов, В. И. Исследование различных математических моделей прогнозов потребления электрической энергии / В. И. Доманов, А. И. Билалова // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. – 2016. – № 3 (85). – С. 152–154.

УДК 004.032.26:621.31-047.72

**И. А. Баранова, А. И. Батурич,
К. А. Батурина, И. О. Комаров, В. В. Федоров**
Удмуртский ГАУ

РАЗРАБОТКА НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ УДМУРТСКОГО ГАУ

Рассмотрен способ разработки нейронной сети для прогнозирования потребления электроэнергии на примере Удмуртского государственного аграрного университета. Разработанная нейронная сеть обучена на статистических данных. По результатам работы нейронной сети прогноз потребления электроэнергии на 2022 г. отличается от действительных данных на 1 %.

Актуальность. У крупных промышленных предприятий в современных условиях потребления электроэнергии возникает задача составления заявки в энергоснабжающую организацию на объем электроэнергии, необходимый в определенный период времени. Если реальные показания потребления будут отличаться от заявленных сумм больше чем на 5 %, на предприятие будут наложены штрафы [1]. Известные методы прогнозирования электрической нагрузки плохо «работают» с «зашумленными» и неполными данными [2, 3]. В настоящее время разрабатываются и внедряются новые подходы к прогнозированию электрической нагрузки. В частности, изучаются проблемы применения нейронных сетей для решения задач прогнозирования энергопотребления [4–12].

Цель исследований. Разработать нейронную сеть для прогнозирования потребления электроэнергии на примере Удмуртского государственного аграрного университета и оценить качество работы нейронной сети.

Из поставленной цели вытекают следующие **задачи**:

1. Выбрать исходные данные для разработки нейронной сети.
2. Разработать структуру нейронной сети.
3. Произвести обучение нейронной сети и определить ошибку обучения.
4. Произвести прогноз потребления электроэнергии и дать оценку работе представленной нейронной сети.

Результаты исследований. Рассмотрим пример разработки нейронной сети для прогнозирования потребления электрической энергии в Удмуртском государственном аграрном университете. За основу обучающих данных были взяты показания электрической энергии по всем объектам университета: учебные корпуса, общежития, столовая, учебно-опытная конюшня, гараж и складские помещения, за 2017–2022 гг. Обучающие данные приведены в таблице 1.

Стоит отметить, что для обучения нейронной сети были выбраны года с 2017–2021 гг. Для прогнозирования потребления электроэнергии был выбран 2022 год.

На основе этих данных была разработана нейронная сеть в программном продукте Matlab R2013b.

На этапе создания для полного описания нейронной сети была разработана трехслойная модель сети:

- 1 слой, входные данные;
- 2 слой, скрытые данные;
- 3 слой, выходные данные.

Таблица 1 – Обучающие и тестовые выборки для создания нейронной сети

Месяц	Год				
	2017 год	2019 год	2020 год	2021 год	2022 год
	кВт*ч	кВт*ч	кВт*ч	кВт*ч	кВт*ч
Январь	240 640	203 881	278 301	239 702	199 038
Февраль	241 155	244 228	246 200	281 698	191 387
Март	184 721	200 346	156 457	281 526	177 990
Апрель	216 734	165 640	115 213	156 484	140 645
Май	121 400	128 226	80 513	154 990	133 383
Июнь	135 686	101 311	90 395	154 774	112 814
Июль	112 932	84 621	84 678	78 583	100 056
Август	92 845	104 843	88 780	77 257	68 293
Сентябрь	153 861	145 575	142 651	81 819	119 323
Октябрь	173 159	176 157	168 124	146 571	148 885
Ноябрь	237 971	202 329	234 409	164 589	186 388
Декабрь	239 917	172 727	231 384	199 763	232 423

В качестве параметров настройки сети при ее создании были выбраны следующие функции:

- функции обучения `tarinlm`, реализующая метод Левенберга-Маркара;
- функция выполнения `mse`, реализующая метод квадратичной ошибки;
- функция настройки для режима адаптации `learnsgdm` – обучающая функция градиентного спуска с учетом моментов.

Тип сети выбран `feed-forwardbackprop` (он же `Feed-forward Backpropagation`) – сеть с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки.

В качестве функции активации была выбрана функция гиперболический тангенс.

После создания нейронной сети были откорректированы веса нейронов относительно исходных данных и пройден этап обучения нейронной сети.

Обучение и тренировка нейронной сети изображены на рисунках 1–4.

На рисунке 1 представлена структура нейронной сети.

Обучение нейронной сети представлено на рисунке 2.

На рисунке 3 представлена сходимость обучающей выборки, коэффициент регрессии $R = 0,83$, что свидетельствует о достоверном результате работы нейронной сети, и выходные данные близки к данным цели.

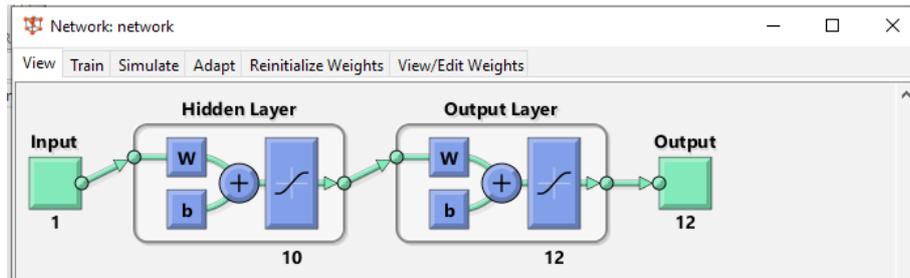


Рисунок 1 – Схема нейронной сети

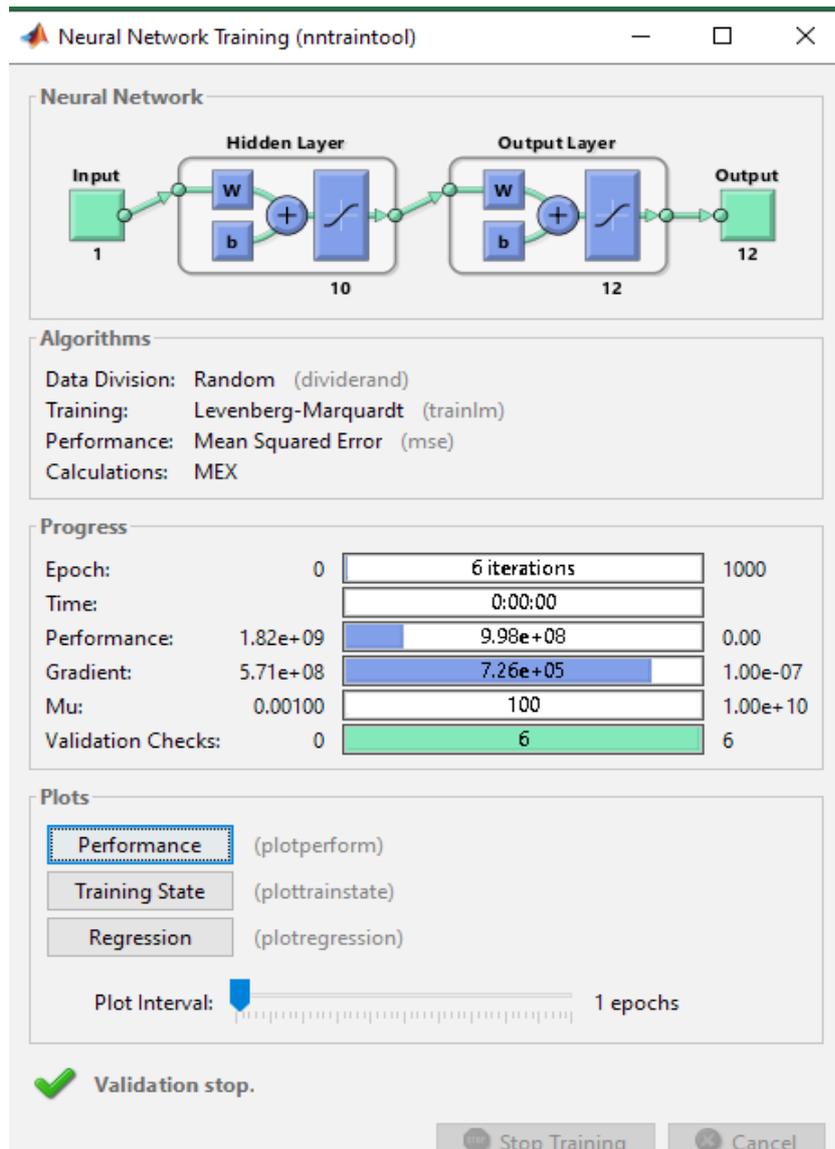


Рисунок 2 – Результаты обучения нейронной сети

После завершения обучения появляются два типа данных: полученные данные и ошибки при обучении. Анализ полученных данных показал, что абсолютная ошибка по прогнозу потребления электроэнергии может достигать 20 кВт*ч. На первый взгляд это кажется высокой ошибкой, однако при увеличении обучающей

выборки ее можно свести к минимуму. Оценка качества обучения нейронной сети была произведена по относительной ошибке всех показаний за 2017–2021 гг. Исходя из таблицы 1, была рассчитана относительная ошибка прогноза потребления электроэнергии. Если средняя ошибка составляет 3,09, то это говорит о продуктивной работе системы, так как низкое значение средней ошибки указывает на хорошую точность предсказаний нейронной сети [5]. Система демонстрирует эффективность в обработке и анализе данных.

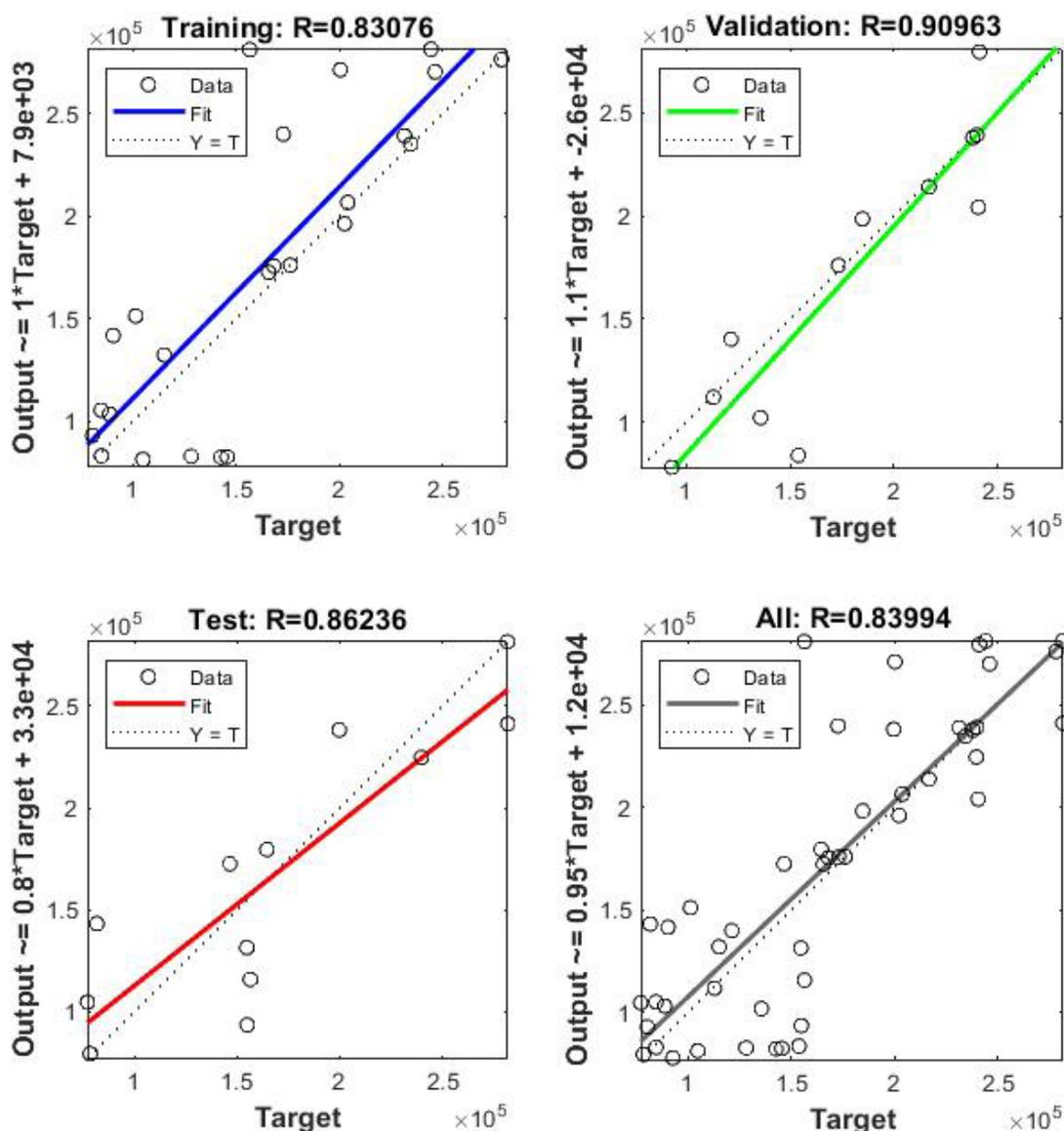


Рисунок 3 – Графики сходимости обучающей выборки

После обучения сети был произведен прогноз потребления электроэнергии на 2022 г. (рис. 4, первый столбец соответствует 2017 г., последний – 2022 г.).

Value				
[220156	206595,8887	276211,8121	220711	209709
270586	281306,7781	270160,1127	252216	197990
195542	220193	200086	281363,4064	190447
214031,3882	172546,4082	132209,8653	132895	125362
135083	115841	93117,5768	145542	123653
120969	121213	111692	131550,471	125990
111980,8426	95292	83094,8563	79639,0274	90613
85958	101349	103297,9789	104824,4048	70845
135623	125974	152344	94623	110326
175944,0583	176040,704	175577,5487	172604,9231	166149
237881,6052	196201,0606	234970,8267	179638,3068	175000
239215,8942	210864	239009,7596	238217,5624	236977]

Рисунок 4 – Спрогнозированные данные на 2022 г.

Сравнивая данные, выданные системой, и реальные данные, можно убедиться, что нейронная сеть действительно делает прогнозы, приближенные к реальности.

При сравнении с реальным количеством потребления электроэнергии за 2022 г. средняя ошибка сети составляет 1 %. Хотя данная ошибка сети считается незначительной, поскольку нет явных закономерностей в реальном распределении потребления, и прогнозы, сделанные нейронной сетью, все равно имеют приближенную точность к реальным данным.

Выводы и рекомендации. Обосновано применение программного продукта matlab для разработки нейронной сети с целью прогноза потребления электроэнергии.

После обучения при тестировании разработанной нейронной сети был получен прогноз потребления электроэнергии на 2022 год. Средняя ошибка работы сети составляет 1 % при сравнении результатов потребления энергии за год. Таким образом, увеличивая объем исходных данных, можно прогнозировать потребление электроэнергии за последующие годы.

Список литературы

1. Таранов, Р. В. Прогнозирование электропотребления при помощи искусственных нейронных сетей с применением технологии CUDA / Р. В. Таранов, Р. В. Маликов // Компьютерное обеспечение и вычислительная техника. – 2016. – № 3. – С. 23–31.
2. Комаров, И. О. Способы учета и экономии электроэнергии / И. О. Комаров, В. К. Герасимов // Научные труды студентов Ижевской ГСХА. – Ижевск: УдГАУ, 2022. – Т. 2 (15). – С. 622–625.
3. Применение нейронных сетей для решения задач электроэнергетики / И. А. Баранова, А. И. Батурин, К. А. Батурина, И. О. Комаров // Инженерное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса России: материалы Нац. науч.-практ. конф. – Ижевск: УдГАУ, 2022. – С. 19–24.
4. Каракаев, А. Б. Обзор исследований моделирования адаптивных систем автоматического управления компонентами электроэнергетических систем / А. Б. Каракаев, Г. А. Галиев // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2020. – Т. 12, № 1. – С. 139–153.
5. Гафаров, Ф. М. Искусственные нейронные сети и их приложения: учебное пособие / Ф. М. Гафаров, А. Ф. Галимянов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. – 121 с.

УДК 621.315.1.048

Е. А. Варянина, Т. А. Широбокова

Удмуртский ГАУ

УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ ДИАГНОСТИКА ИЗОЛЯЦИИ ВЛ

Рассматривается проблема состояния изоляции воздушных линий электропередач. Для выявления дефектов на ранней стадии предлагается использование метода ультрафиолетового контроля. Производится ультрафиолетовое обследование изоляции воздушной линии с помощью двухспектральной камеры типа DayCor. В итоге определили, что метод ультрафиолетового контроля может выявить дефекты на ранних стадиях, что подтверждает эффективность использования ультрафиолетовой диагностики изоляции воздушных линий.

Актуальность. Воздушные линии электропередач (ВЛ) играют ключевую роль в распределении электроэнергии, и состояние изоляции на них имеет прямое влияние на надежность и безопасность электросетей [1–5]. Изоляция может подвергаться различ-

ным видам деградации в процессе эксплуатации, что может привести к снижению надежности оборудования и его сроку службы.

Метод ультрафиолетового контроля (УФК) позволяет выявлять дефекты изоляции на ранних стадиях, поэтому получил наибольшую распространенность в области эксплуатации ВЛ. Согласно [6] не предусматривается никаких иных видов контроля стеклянной изоляции ВЛ кроме внешнего осмотра, поэтому для данного вида изоляции УФК можно считать приоритетным.

Материалы и методика. Актуальными условиями для проведения УФК ВЛ являются: подверженность изоляции ВЛ загрязнениям; сложные погодные условия, оказывающие постоянное воздействие на изоляцию; наличие выработавшей свой ресурс подвесной изоляции; применение современных полимерных подвесных изоляторов, дефекты которых сложно определить визуально. Существенным достоинством применения УФК является то, что при обследовании не требуется наличие токовой нагрузки токоведущих частей, чтобы выявить дефект. Для проведения контроля достаточно, чтобы оборудование находилось под рабочим напряжением [7–8].

Для повышения эффективности выявления дефектов по результатам ультрафиолетового контроля целесообразно проводить обследование одновременно с тепловизионным контролем (ТВК) электрооборудования. В случае, если ТВК подтверждает наличие дефекта, выявленного УФ-контролем, то это означает, что дефект существенно развился. Эти два метода удачно дополняют друг друга, что позволяет существенно повысить вероятность обнаружения дефектов практически любого оборудования.

Результаты исследований. Рассмотрим результаты ультрафиолетового обследования изоляции ВЛ 110 кВ Барда-Константиновка. Параллельно проводится тепловизионное обследование изоляции ВЛ. На рисунке 1 показан фрагмент отчета технической диагностики оборудования Производственного отделения Чайковские электрические сети филиала «ПАО Россети» – «Пермэнерго». Обследование производится с помощью двухспектральной камеры типа DayCor.

Согласно рисунку 1 мы видим, что на опоре № 21 на полимерной крышке изолятора присутствует высокий уровень поверхностных частичных разрядов (ПЧР) и нагрев. Присутствуют следы перекрытия, состояние изоляции низкое. Изолятор рекомендуется к срочной замене. На опоре № 24 также присутствует те-

пловой нагрев и высокий уровень ПЧР в месте цементной заделки металлического стержня на всех элементах гирлянды. Присутствуют следы перекрытия, состояние гирлянды низкое. Гирлянда рекомендуется к замене.



Inspection Report

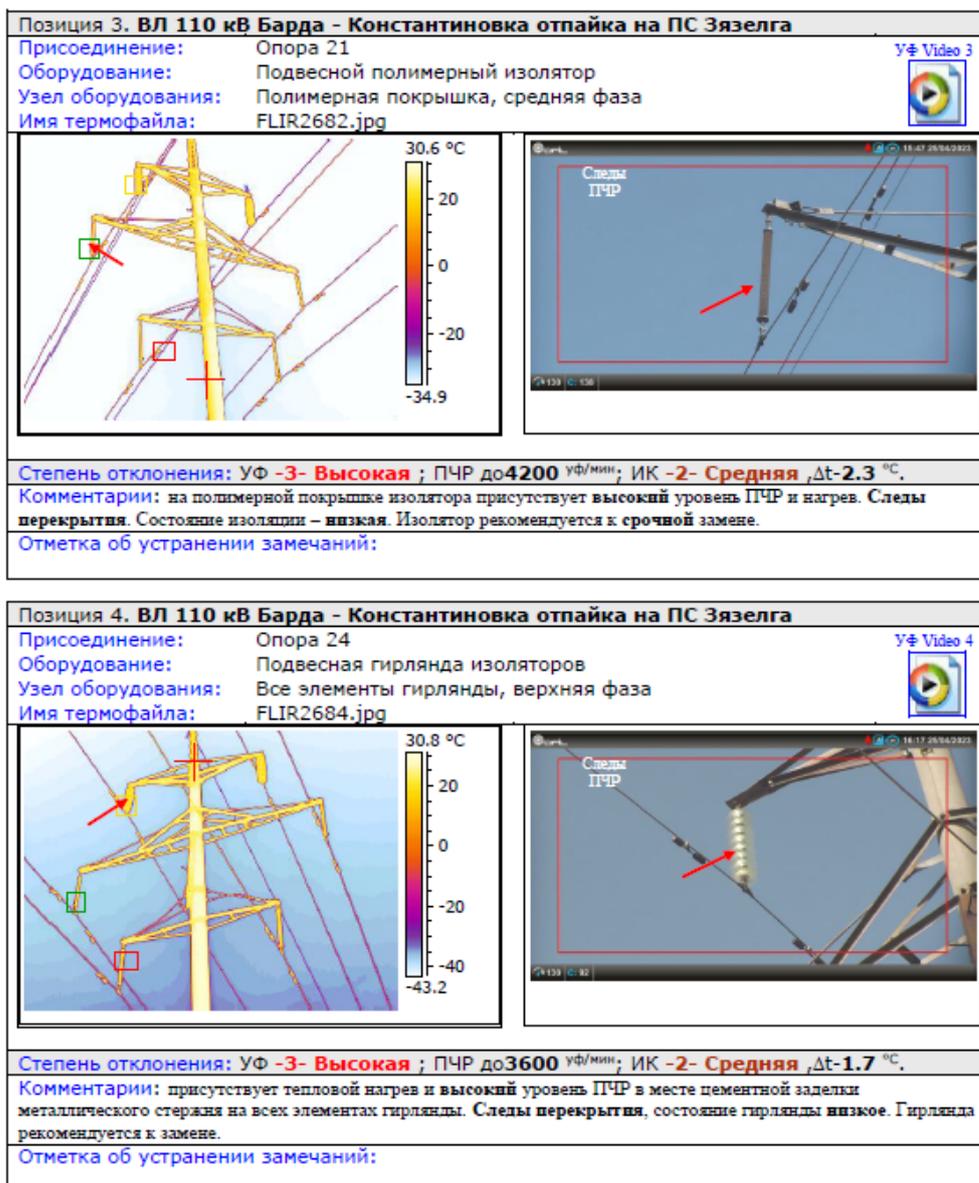


Рисунок 1 – Фрагмент отчета технической диагностики оборудования «Ультрафиолетовое обследование изоляции» ВЛ 110 кВ Барда-Константиновка

Далее на рисунке 2 мы видим все выявленные дефекты изоляции при обследовании ВЛ 110 кВ Барда-Константиновка.

Сводная таблица обнаруженных замечаний и неисправностей									
№	Объект:	Присоединение:	Оборудование:	Узел оборудования:	t окр	ПЧР уф/ммн:	Степень УФ	Степень НК	Изображение Дата
1.	ВЛ 110 кВ Барда - Константиновка отпайка на ПС Зыяелга	Опора 2	Подвесная гирлянда изоляторов	Все элементы гирлянды, верхняя фаза	19.4	3800	3	2	25.04.2023
2.	ВЛ 110 кВ Барда - Константиновка отпайка на ПС Зыяелга	Опора 3	Подвесная гирлянда изоляторов	Все элементы гирлянды, верхняя фаза	19.6	3500	3	2	25.04.2023
3.	ВЛ 110 кВ Барда - Константиновка отпайка на ПС Зыяелга	Опора 21	Подвесной полимерный изолятор	Полномерная покрывка, средняя фаза	19.7	4200	3	2	25.04.2023
4.	ВЛ 110 кВ Барда - Константиновка отпайка на ПС Зыяелга	Опора 24	Подвесная гирлянда изоляторов	Все элементы гирлянды, верхняя фаза	10.4	3600	3	2	25.04.2023
5.	ВЛ 110 кВ Барда - Константиновка отпайка на ПС Зыяелга	Опора 41	Подвесная гирлянда изоляторов	Все элементы гирлянды, верхняя фаза	21.1	3900	3	2	25.04.2023
6.	ВЛ 110 кВ Барда - Константиновка отпайка на ПС Зыяелга	Опора 66	Подвесная гирлянда изоляторов	Все элементы гирлянды, верхняя фаза	21.0	4300	3	2	25.04.2023
7.	ВЛ 110 кВ Барда - Константиновка отпайка на ПС Зыяелга	Опора 81	Подвесная гирлянда изоляторов	Все элементы гирлянды, верхняя фаза	21.1	4000	3	2	25.04.2023
8.	ВЛ 110 кВ Барда - Константиновка отпайка на ПС Зыяелга	Опора 109	Подвесная гирлянда изоляторов	Все элементы гирлянды, нижняя фаза	14.3	2800	2	3	26.04.2023
9.	ВЛ 110 кВ Барда - Константиновка	Опора 37	Подвесная гирлянда изоляторов	Все элементы гирлянды, верхняя фаза	14.7	3200	3	3	26.04.2023
10.	ВЛ 110 кВ Барда - Константиновка	Опора 90	Подвесная гирлянда изоляторов	Все элементы гирлянды, верхняя фаза	14.3	3300	3	1	26.04.2023

Рисунок 2 – Сводная таблица дефектов отчета технической диагностики оборудования «Ультрафиолетовое обследование изоляции» ВЛ 110 кВ Барда-Константиновка

Выводы и рекомендации. Таким образом, обследование изоляции ВЛ методом УФ-контроля позволяет выявлять дефекты на ранней стадии, что значительно снижает аварийные отключения оборудования. Этот метод диагностики помогает расставить приоритеты при выводе оборудования в ремонт, корректирует объем работ по замене изоляции, снижает ремонтные затраты и увеличивает межконтрольные сроки проведения профилактических испытаний, указанных в Стандарте ПАО Россети [6]. Опыт эксплуатации показывает [7–8], что использование систем УФ-диагностики на базе двухспектральных камер типа DayCor позволяет уменьшить число перекрытий изоляции в несколько раз [9]. Также совместное проведение ультрафиолетового и тепловизионного контроля позволит существенно повысить вероятность обнаружения дефектов.

ружения дефектов практически любого оборудования на рабочем напряжении и под нагрузкой.

Список литературы

1. Елизаров, В. В. Методика применения напряжения высокой частоты в высоковольтных устройствах для отпугивания синантропных птиц / В. В. Елизаров, Д. О. Суринский // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 12 (135). – С. 96–100.
2. Повышение качества электроэнергии для потребления в нефтедобывающей отрасли / И. Г. Поспелова, Т. А. Широбокова, В. Н. Кузьмин [и др.]. – DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-1-23-28 // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68, № 1 (42). – С. 23–28.
3. Савчук, И. В. Диагностика технического состояния конденсаторов связи под рабочим напряжением / И. В. Савчук, А. С. Важин, И. Б. Уразалиев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3 (95). – С. 200–204.
4. Оптимизация электрических потерь в АО «Россети Тюмень» на примере ПС 110/10 КВ «центральная» / Д. О. Суринский, И. В. Савчук, Т. А. Широбокова, О. М. Семенкова // Агропромышленный комплекс в ногу со временем: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Тюмень, 15 ноября 2023 г. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. – С. 208–211.
5. Обоснование параметров автономного источника электроснабжения на солнечных модулях и аккумуляторных батареях передвижных электрифицированных машин / С. С. Елисеев, С. М. Бакиров, В. И. Мошкин, Г. Г. Угаров // Наука XXI века: технологии, управление, безопасность: материалы II Национальной научной конференции, Курган, 21 апреля 2022 г. / Отв. ред. Е. Н. Полякова. – Курган: Курганский государственный университет, 2022. – С. 317–322.
6. Объем и нормы испытаний электрооборудования: СТО 34.01-23.1-001-2017.
7. Ильина, Е. В. Опыт применения приборов ультрафиолетового контроля в электросетевой компании (на примере ОАО «МОЭСК») / Е. В. Ильина, Д. Ю. Растегняев // Энергоэксперт. – 2014. – № 4.
8. Масин, Г. «Ультрафиолетовая диагностика состояния подвесной и опорной изоляции в ОАО «Кубаньэнерго» / Г. Масин, А. Тарасенко // Электроэнергия. Передача и распределение. – № 3, май-июнь, 2015.
9. Ультрафиолетовая диагностика изоляции контактной сети: модернизация мобильной системы / Ю. И. Плотников, Ю. М. Федоришин, С. В. Демидов // Железные дороги мира. – 2009. – № 5. – С. 53–60.

Д. А. Васильев, Т. Ю. Котенко, М. И. Студенов

Удмуртский ГАУ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Проанализирована система электроснабжения подстанции с целью определения ее надежности. Рассмотрены числовые показатели, которые отражают степень надежности данной системы. Получены результаты моделирования с использованием разработанной математической модели в пакете SIMULINK. Представлены практические рекомендации по применению данной математической модели.

Актуальность. Вопросы рациональной организации эксплуатации и управления функционированием и развитием электрических сетей в современной электроэнергетике становятся все более актуальными в связи с совершенствованием технологий. Особое значение приобретают задачи, связанные с обеспечением надежности электроснабжения потребителей энергии и принятием мер, направленных на предотвращение аварийных ситуаций и сокращение потерь электроэнергии [1–3].

Для обеспечения надежности системы электроснабжения необходимо предпринимать различные меры. В рамках этих мер учитываются технические, экономические и организационные факторы, которые направлены на сокращение возможного ущерба, возникающего при нарушении нормальной работы потребителей электроэнергии. Особое внимание уделяется определению критериев и количественных показателей надежности, а также обеспечению необходимых технических и эксплуатационных характеристик для функционирующих потребителей. Чтобы достичь оптимальной эксплуатации системы с учетом надежности, требуется разработка соответствующей программы. В этой программе определяются профилактические мероприятия, выбираются резервные элементы и используются эффективные методы для обнаружения неисправностей.

Для эффективного изучения систем электроснабжения, таких, как электроэнергетические системы, необходимо учитывать их размеры, включающие количество элементов и связей, и их зависимость от смежных технических систем, таких, как топливно-энергетический комплекс и технологии предприятия-потребителя.

Кроме того, для обеспечения надежности электроснабжения необходимо постоянно уделять внимание непрерывности процессов производства, распределения и потребления электроэнергии со временем. Это позволит обеспечить потребителей электроэнергии высококачественным энергетическим снабжением в соответствии с заданным графиком потребления электроэнергии и схемой долгосрочной эксплуатации [4, 5].

Надежность участка сети определяется надежностью и параметрами входящих в ее состав элементов (трансформаторов, коммутационной аппаратуры, линий электропередачи и др.) и схемой их соединения [6, 7]. Объектом исследований в данной работе является ПС «Фоки» 35/10 кВ Чайковский РЭС ПО ЦЭС филиала «Пермэнерго» ПАО «Россети Центр и Приволжье».

Целью работы является разработка программного обеспечения для автоматизации процесса моделирования показателей надёжности работы электрических подстанций.

Задачи. Для расчета показателей надежности электроустановок необходимо использовать аналитический метод и составить расчетную схему, отражающую логику связей элементов с точки зрения надежности работы всей установки или с точки зрения отказа всей системы. Производить оценку надежности проектируемой схемы будем с помощью аналитического метода расчета надежности [1, 8]. Выбор метода обоснован тем, что подстанция имеет смешанное соединение оборудования. В результате расчета надежности системы электроснабжения необходимо определить:

1. Интенсивность отказа системы – λ_c .
2. Интенсивность восстановления системы – μ_c .
3. Среднее время безотказной работы – T_0 .
4. Среднее время восстановления – T_e .
5. Вероятность безотказной работы системы за определенный интервал времени t – $P(t)$.
6. Коэффициент готовности системы – K_2 .

Материалы и методика. На основании схемы электрических соединений ПС «Фоки» (рис. 1), составлена расчетная схема для ПС (рис. 2).

При расчете надежности системы электроснабжения подстанции принимаются следующие допущения:

1. Система шин на подстанции абсолютно надёжная.
2. При составлении схемы замещения выделяют вход и выход системы.

3. В качестве входа системы берется точка, в которой соединены все источники.
4. В качестве выхода берется секция шин.

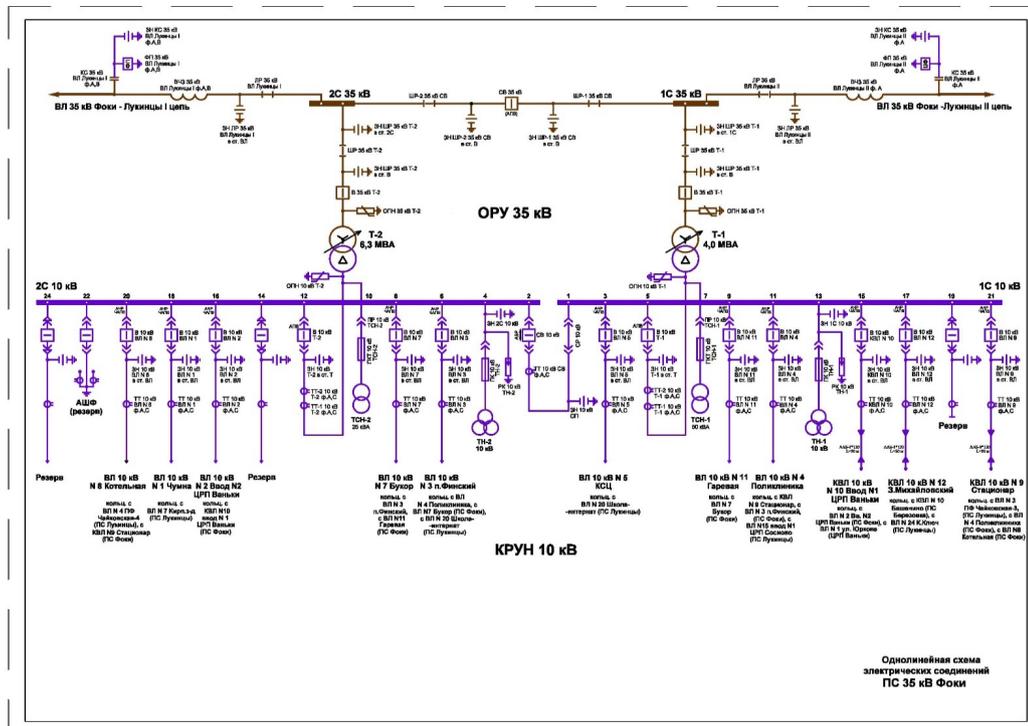


Рисунок 1 – Однолинейная схема электрических соединений ПС 35 кВ Фоки

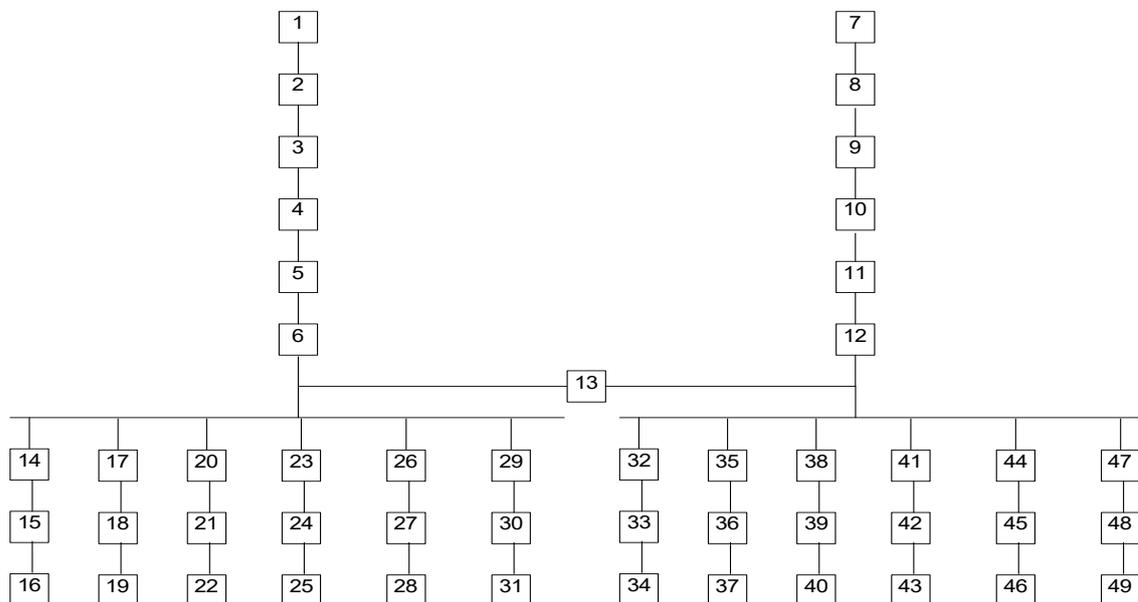


Рисунок 2 – Схема замещения системы электроснабжения подстанции ПС 35 кВ Фоки

Показатели надежности элементов системы (рис. 2) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели надежности элементов исходной системы

Элемент системы	№ элемента	$U_{ном}, \text{кВ}$	$\lambda_c \text{ год}^{-1}$	$\mu_c \text{ год}^{-1}$
Разъединитель 35 кВ	1, 7	35	0,01	730
Выключатель 35 кВ	2, 8	35	0,055	369
Трансформатор	3, 9	35/10	0,035	75,2
Разъединитель 10 кВ	4, 10, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42, 45, 48, 50, 51, 52, 53, 54	10	0,01	730
Выключатель 10 кВ	5, 11, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 40, 43, 46, 49	10	0,03	232
Шина	6, 12	10	0,001	230
Линия	14, 17, 20, 23, 26, 29, 32, 35, 38, 41, 44, 47	10	12	1056

Расчет показателей надежности выполняется поэтапным эквивалентированием последовательно и параллельно соединенных элементов, группируя последовательные элементы по формулам:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \mu_c = \frac{\lambda_c}{\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}},$$

параллельные соединения по следующим формулам:

$$\lambda_c = \frac{\prod_{i=1}^n \lambda_i \times \sum_{i=1}^n \mu_i}{\prod_{i=1}^n \mu_i}, \mu_c = \sum_{i=1}^n \mu_i.$$

Для расчета надежности применяется метод эквивалентирования, который заключается в преобразовании сложных объектов со смешанным соединением элементов в более простые схемы и использовании аналитических выражений [1].

Результаты исследований. Математическая модель оценки надежности подстанции, разработанная для моделирования параметров надежности систем электроснабжения (рис. 3), позволяет в зависимости от технологических условий рассчитывать следующие показатели надежности: интенсивность отказа, интенсивность восстановления системы, среднее время безотказной работы, среднее время восстановления, вероятность безотказной работы системы за определенный интервал времени, коэффициент готовности системы.

Пример реализации блока подсистемы, реализующий вычисление интенсивности отказа и восстановления системы последовательно соединённых элементов, представлен на рисунке 4.

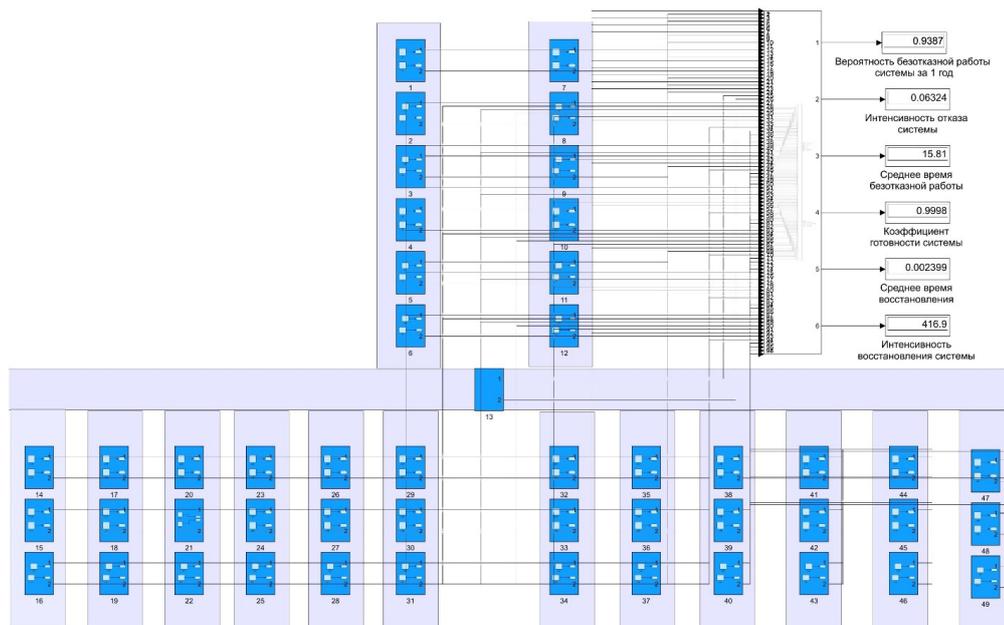


Рисунок 3 – Скриншот математической модели оценки надежности подстанции

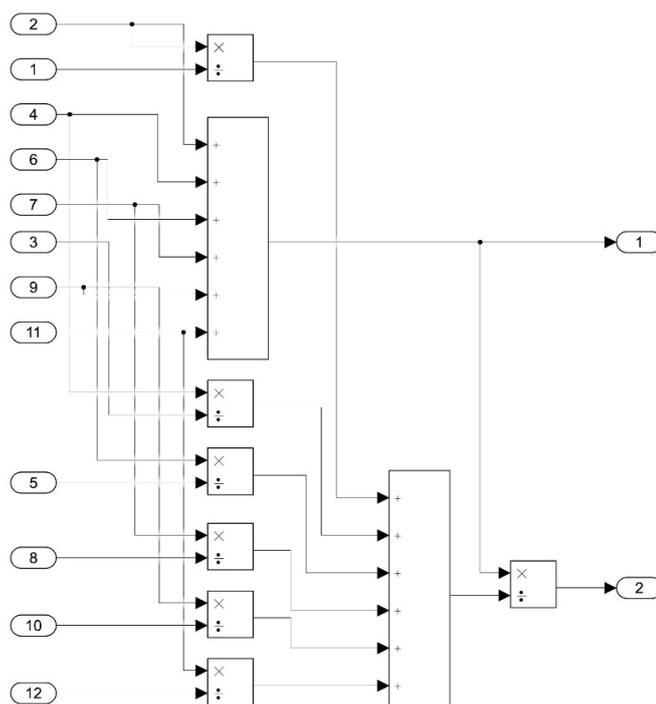


Рисунок 4 – Блок подсистемы, реализующий вычисление интенсивности отказа и восстановления системы последовательно соединённых элементов 1–6,

где выходные блоки 1 – интенсивность отказа системы, 2 – интенсивность восстановления системы, входные блоки 2, 4, 6, 7, 9, 11 – интенсивность отказа системы, 1, 3, 5, 8, 10, 12 – интенсивность восстановления системы

Оценка ущерба от недоотпуска электроэнергии возможна благодаря математической модели надежности подстанции, кото-

рая также позволяет моделировать аварийные ситуации и выбирать траекторию исследований в зависимости от поставленных задач.

По результатам компьютерного моделирования показателей надежности работы подстанций.

Интенсивность отказа системы и интенсивность восстановления системы:

$$\lambda_c = 0,03 \text{ год}^{-1}, \mu_c = 232,61 \text{ год}^{-1}.$$

Время работы на отказ:

$$T_o = 33,333 \text{ лет.}$$

Время восстановления:

$$T_g = 4,3 \times 10^{-3} \text{ год.}$$

Коэффициент готовности:

$$K_g = 0,99986.$$

Вероятность безотказной работы за 1 год:

$$P(t) = 0,97.$$

Вероятность отказа работы за 1 год:

$$Q(t) = 0,03.$$

Выводы и рекомендации. Создание обоснованных предпосылок для определения основных показателей надежности электрических систем при воздействии различных факторов является практическим применением результатов исследования. Эти результаты позволяют прогнозировать показатели надежности электрооборудования в зависимости от условий эксплуатации, оценить степень опасности и выявить «уязвимые места» в электрических системах, а также разработать мероприятия по повышению эффективности функционирования электрооборудования. По значению коэффициента готовности системы можно судить о работоспособности проектируемого объекта. Подстанцию Фоки можно

считать надежной ($K_z = 0,99986$), т.е. способной выполнить требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания и ремонтов.

Список литературы

1. Бочкарев, С. В. Диагностика и надежность автоматизированных систем: учебное пособие / С. В. Бочкарев, А. И. Цаплин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 485 с.
2. Острейковский, В. А. Теория надежности: учебник для вузов / В. А. Острейковский. – Москва: Высшая школа, 2003. – 463 с.
3. Половко, А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
4. Северцев, Н. А. Теория надежности сложных систем в отработке и эксплуатации: учебное пособие для вузов / Н. А. Северцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2023. – 473 с.
5. Тимошенко, С. П. Основы теории надежности : учебник и практикум для вузов / С. П. Тимошенко, Б. М. Симонов, В. Н. Горошко. – Москва: Юрайт, 2023. – 445 с.
6. Труханов, В. М. Надежность в технике / В. М. Труханов. – Москва: Машиностроение, 1999. – 598 с.
7. Ушаков, В. Я. Электроэнергетические системы и сети: учебное пособие для вузов / В. Я. Ушаков. – Москва: Юрайт, 2022. – 446 с.
8. Шишмарёв, В. Ю. Надежность технических систем: учебник для вузов / В. Ю. Шишмарёв. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2023. – 289 с.

УДК 629.73-519

И. Г. Гузев, М. Б. Цыркин, Л. А. Пантелеева, Д. А. Васильев
Удмуртский ГАУ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БПЛА ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЛЭП

Приводится описание, разновидности и сравнительный анализ беспилотных летательных аппаратов для обследования линий электропередач.

Актуальность. В современном мире технологии играют ключевую роль в различных сферах жизни, включая энергетику. Одним из наиболее важных элементов энергетики являются линии электро-

передачи, которые обеспечивают передачу электроэнергии на большие расстояния [1]. Однако для обеспечения надежной и безопасной работы таких линий необходимо регулярно проводить их обследование и диагностику. В этом контексте беспилотные летательные аппараты становятся все более популярными, поскольку они могут обеспечить быстрое и эффективное обследование ЛЭП.

Материалы и методики. *Разновидности БПЛА для обследования ЛЭП.* Сегодня на рынке представлено множество различных типов БПЛА, которые могут использоваться для этой цели. Среди них можно выделить мультикоптеры, самолеты и вертолеты. Каждый из этих типов имеет свои преимущества и недостатки, что делает их выбор для конкретной задачи обследования ЛЭП сложным [2]. Мультикоптеры являются наиболее распространенным типом БПЛА. Они обладают хорошей маневренностью, возможностью зависать в воздухе и относительно низкой стоимостью. Однако их использование может быть затруднено при сильном ветре или в условиях плохой видимости.

Самолеты БПЛА обладают большой дальностью полета и высокой скоростью, но при этом они требуют больше времени на подготовку и запуск. Кроме того, они менее маневренны, чем мультикоптеры.

Вертолеты БПЛА также обладают высокой маневренностью и возможностью зависания в воздухе. Они могут использоваться в сложных условиях, таких, как сильный ветер или плохая видимость. Однако они имеют высокую стоимость и требуют больше места для хранения и обслуживания [3].

Результаты исследований. *Сравнение БПЛА при обследовании ЛЭП, преимущества и недостатки.*

Преимущества мультикоптеров:

– маневренность и простота управления: благодаря четырем роторам мультикоптер способен выполнять сложные маневры и зависать в воздухе, а это отличный выбор для съемки в труднодоступных местах;

– компактность и малый вес: мультикоптеры имеют небольшие размеры и вес, что позволяет легко переносить их и запускать, что идеально для использования их в сложных условиях, таких, как городская среда.

Недостатки мультикоптеров:

– ограниченная дальность полета: из-за небольшого размера батарей и двигателей мультикоптеры обычно имеют ограничен-

ную дальность полета, что может быть проблемой при обследовании больших территорий;

- зависимость от погодных условий: мультикоптеры более чувствительны к ветру и другим погодным условиям, что может затруднить съемку или даже привести к аварии [4].

Преимущества самолетов:

- большая дальность полета и продолжительность полета: самолеты могут иметь дальность полета до нескольких сотен километров и продолжительность до нескольких часов, поэтому они больше всего подходят для обследования обширных территорий;

- высокая скорость и высота полета: самолеты способны летать на высоких скоростях и высотах, обеспечивая результативную производительность при съемке.

Недостатки самолетов:

- сложность управления и необходимость специального оборудования: из-за больших размеров и веса самолетами сложно управлять вручную, и требуется специальное оборудование для контроля и управления;

- ограничения по маневренности: в отличие от мультикоптеров самолеты не могут выполнять такие сложные маневры, как зависание в воздухе или быстрое изменение направления [5].

Преимущества вертолетов:

- отличная маневренность: вертолеты способны зависать на месте, быстро менять направление и перемещаться в узких пространствах, поэтому их лучше применять для работы в условиях городской среды и в местах с большим количеством многоэтажных зданий;

- возможность вертикального взлета и посадки: вертолеты могут взлетать и садиться вертикально, что упрощает процесс запуска и посадки.

Недостатки вертолетов:

- большой размер и вес: вертолеты имеют большие размеры и вес по сравнению с мультикоптерами и самолетами, что увеличивает стоимость и сложность транспортировки;

- низкая скорость и высота: вертолеты обычно имеют меньшую скорость и высоту полета по сравнению с самолетами, хотя это может варьироваться в зависимости от модели.

Выводы и рекомендации. В зависимости от требований и условий проведения обследования ЛЭП каждый из трех типов БПЛА имеет свои преимущества и недостатки. Мультикопте-

ры идеально подходят для работы в ограниченном пространстве, таком, как городская застройка или сложная местность, благодаря своей маневренности и компактности. Самолеты обеспечивают большую дальность и продолжительность полета, а также высокую скорость и высоту, что позволяет использовать их для обследования обширных и сложных территорий. Вертолеты имеют преимущества маневренности, вертикального взлета и посадки, поэтому их использование незаменимо для проведения сложных операций в условиях ограниченного пространства [6].

Для обследования линий электропередач наиболее подходящими БПЛА будут самолеты. Линии электропередач имеют большую протяженность, а это значит, что для обследования потребуются БПЛА с высокой дальностью полета. При обследовании линий электропередач не требуется высокая маневренность, которой обладают мультикоптеры и вертолеты [7].

Список литературы

1. EV. Энерговестник. Использование беспилотных летательных аппаратов в ТЭК. – URL: energovestnik.ru.
2. Валиев, А. Эксплуатация беспилотников в электросетевом комплексе России / А. Валиев // Электроэнергия. – 2011. – № 6.
3. Инновационные и отраслевые решения с использованием беспилотников (проект Russiandrone.ru). – URL: <http://rusdrone.ru/otraslevyeresheniya/monitoring-lep.html>.
4. Применение малых беспилотных летательных аппаратов для съемки местности и подготовки геоинформационного контента в чрезвычайных ситуациях / В. К. Хазалия, П. Ю. Орлов, П. Р. Руднев, А. В. Гречищев. – Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2013. – Т. 7, № 2. – С. 61–66.
5. Мультироторный БПЛА как средство получения геоинформационного контента в чрезвычайных ситуациях / В. К. Хазалия, А. В. Гречищев, П. Ю. Орлов [и др.] // Геоинформационные науки и экологическое развитие: новые подходы, методы, технологии. Геоинформационные технологии и космический мониторинг: материалы VI Международной конференции в 2 т. – 2013. – С. 234–240.
6. Обследование ВЛ с БПЛА и другие методы контроля и поиска повреждений на воздушных линиях (test-energy.ru). – URL: <https://testenergy.ru/obsledovanie-vl-s-bpla/?ysclid=lgp5w511bi24427084>.
7. Возможности применения беспилотных авиационных комплексов в электроэнергетике для мониторинга ЛЭП (rusdrone.ru). – URL: <https://rusdrone.ru/blog/arkhiv/vozmozhnosti-primeneniya-bespilotnykh-aviatsionnykhkompleksov-v-elektroenergetike-dlya-monitoringa-/?ysclid=lgp5w3wa7756424446>.

И. Г. Гузев, С. И. Юран

Удмуртский ГАУ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАТЧИКОВ И СПОСОБОВ ИХ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Приводятся описание, разновидности, сравнительный анализ датчиков и способов их установки для обнаружения загрязняющих веществ в водной среде. Приводится краткий обзор методов обнаружения загрязнителей.

Актуальность. Загрязнение водных ресурсов является одной из самых серьезных проблем современного мира, которая может привести к серьезным экологическим и экономическим последствиям. Для мониторинга состояния водных объектов и предотвращения загрязнения необходимо использовать эффективные методы обнаружения загрязняющих веществ [1–4]. Проведен сравнительный анализ датчиков и методов их установки для определения различных загрязнителей в водной среде.

Материалы и методика. *Методы обнаружения загрязнителей.* Существует ряд методов определения загрязняющих веществ в водных объектах, включая химические, физические и биологические методы [5]. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки, зависящие, в том числе, от способов установки датчиков для обнаружения определенных загрязнителей.

Химические методы основаны на использовании химических реагентов для определения концентрации загрязняющих веществ. Эти методы требуют установки датчиков непосредственно в водном объекте, что делает их более дорогостоящими и сложными в обслуживании.

Физические методы основаны на измерении физических параметров, таких, как температура, электропроводность, кислотность, мутность и др. Эти параметры могут указывать на присутствие определенных загрязняющих веществ, таких, как тяжелые металлы, пестициды и нефтепродукты. Физические датчики могут быть установлены как на поверхности воды, так и на глубине, что позволяет контролировать состояние водных объектов в различных условиях.

Биологические методы основаны на определении реакции водных организмов на присутствие загрязняющих веществ. Эти методы требуют установки датчиков на определенной глубине и наблюдения за поведением водных организмов, которое может указывать на наличие загрязнителей. Биологические датчики более дорогие и сложные в установке и обслуживании, но они обеспечивают более точный анализ состояния водных объектов.

Фотометрические методы обнаружения загрязнителей в водной среде являются одними из наиболее распространенных и точных методов анализа [5–7]. Они основаны на измерении оптической плотности водной среды, которая пропорциональна концентрации определяемого вещества. Эти методы обладают рядом преимуществ, а именно: простота измерения, высокая точность и чувствительность, а также возможность определения широкого спектра загрязнителей. Одним из недостатков данных методов является высокая вероятность загрязнения оптической части датчика в процессе работы.

Разновидности датчиков для определения загрязняющих веществ в водной среде. Для определения загрязнителей используются различные типы датчиков, которые могут быть классифицированы по принципу работы, точности, чувствительности и другим параметрам [8]. Основными типами датчиков для этих целей являются электрохимические, оптические, ультразвуковые и др.

Электрохимические датчики основаны на измерении электрического потенциала между двумя электродами при контакте с анализируемым веществом. Они обладают высокой точностью и чувствительностью, но требуют регулярной калибровки и замены электродов.

Оптические датчики используют измерение интенсивности света, рассеянного или поглощенного анализируемым веществом, для определения его концентрации [6, 9–11]. Они обладают высокой точностью и быстрым действием, но могут быть подвержены влиянию внешних факторов, таких, как загрязнение оптической части датчика, которое может существенно затруднить анализ водной среды и снизить достоверность определения вредных веществ в исследуемой жидкости.

Таким образом, существует множество различных видов датчиков для определения загрязняющих веществ в водной среде. Выбор конкретного датчика зависит от того, какой параметр необ-

ходимо измерить и какая при этом требуется точность результатов мониторинга.

Результаты исследований. *Сравнительный анализ датчиков и методов их установки.* Существуют различные способы установки датчиков. Выбор оптимального способа зависит от конкретных условий и требований к мониторингу. В данной работе рассматриваются варианты установки датчиков в трубах, по которым течет контролируемая водная среда.

Один из самых простых и распространенных способов установки датчиков – это его врезка в трубу. Для этого в трубе проделывается отверстие, в которое затем устанавливается датчик. Этот метод подходит для установки как внешних, так и внутренних датчиков. Однако данный способ требует остановки работы трубопровода и может вызвать дополнительные затраты на ремонт трубы после установки датчика.

Также для установки датчиков внутри трубы можно использовать специальные муфты. Такие муфты монтируются на трубу, они имеют отверстия для установки датчиков. Муфты могут быть изготовлены из различных материалов, включая металл, пластик и керамику, в зависимости от условий эксплуатации. Данный метод установки позволяет быстро и легко заменить датчик в случае его выхода из строя или проведения профилактических работ.

В целом, выбор метода установки датчика зависит от конкретных задач и условий эксплуатации. Важно учитывать такие факторы, как тип трубы, расстояние до объекта контроля, требуемая точность измерений и стоимость оборудования. Ниже приводятся некоторые модели встраиваемых датчиков.

Проточный фотометр TurbiScat позволяет непрерывно контролировать мутность водной среды на двух углах (90 и 25 градусов), а также цветность пробы с высокой чувствительностью, точностью и воспроизводимостью. Датчик устанавливается в стандартные вставки в трубопроводы различного диаметра (рис. 1).

В поточном нефелометре AquaScat S датчик может быть врезан в напорный трубопровод любого диаметра, причем как в пластиковый, так и в металлический. Для измерения мутности в открытых резервуарах или самотечных каналах датчик может быть установлен на погружной штанге. Кроме того, при врезке в напорный трубопровод может быть использовано специальное соединение, позволяющее извлекать датчик для обслуживания без сброса давления в трубопроводе (рис. 2). Это позволяет осуществлять

врезку непосредственно в рабочий трубопровод без необходимости монтажа параллельной линии.



Рисунок 1 – Установка датчика на трубопроводе с использованием стандартной вставки



Рисунок 2 – Врезка датчика в напорный трубопровод

Выводы и рекомендации. Рассмотрены различные методы установки датчиков в трубы для обнаружения загрязняющих веществ в водной среде. В ходе анализа были выявлены преимущества и недостатки каждого из вариантов установки датчиков.

Так, врезка в трубу может использоваться для внутренних и внешних датчиков, но требует остановки работы трубопровода и может повредить трубу.

При использовании муфт, которые монтируются на трубе, в них вырезаются отверстия для установки датчиков. В случае необходимости датчики могут быть легко заменены. Однако этот метод требует дополнительных затрат на муфты и их установку.

Следует сказать, что выбор метода установки датчиков зависит от многих факторов, таких, как тип трубы, вид загрязняющих веществ, которые необходимо обнаружить, и бюджет проекта. Важно учитывать все преимущества и недостатки каждого метода, чтобы выбрать наиболее подходящий вариант для конкретной ситуации.

При установке датчиков в трубах с использованием муфт или при помощи врезки наиболее технологичными являются оптические датчики, которые обладают высокой точностью и быстродействием.

Список литературы

1. Использование многозондового модулированного лазерного излучения для идентификации сгустков веществ в потоке жидкости / В. А. Алексеев, С. И. Юран, В. П. Усольцев, Д. Н. Шульмин // Приборы и методы измерений. – 2023. – Т. 14, № 3. – С. 207–213. – DOI 10.21122/2220-9506-2023-14-3-207-213.
2. System of Laser Monitoring of Water Pollution with Application of Relative Description of Signal Shape / V. A. Alekseev, S. I. Yuran, V. P. Usoltsev, D. N. Shulmin // Devices and Methods of Measurements. – 2020. – Vol. 11, No. 2. – P. 114–121. – DOI 10.21122/2220-9506-2020-11-2-114-121.
3. Комплекс контроля изменений оптической плотности сточных вод / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран, Д. Н. Шульмин // Приборы и методы измерений. – 2018. – Т. 9, № 1. – С. 7–16.
4. Автоматизированная система определения залпового загрязнения воды оптическими методами / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран, Д. Н. Шульмин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 3 (31). – С. 119–132. – DOI 10.15593/2409-5125/2018.03.10.
5. Автоматический контроль цветности в жидкостях и измерение концентраций и примесей. – URL: <https://www.sigrist.ru/catalog/avtomaticheskij-kontrol-tsvetnosti-v-zhidkostyakh-i-izmerenie-kontsentratsiy-primesej/protochnyy-fotometr-in-line-by-pass-colorplus-2/> (дата обращения: 07.11.23 г.).
6. Оптические датчики. – URL: <https://www.sigrist.ru/catalog/avtomaticheskij-kontrol-tsvetnosti-v-zhidkostyakh-i-izmerenie-kontsentratsiy-primesej/protochnyy-fotometr-in-line-by-pass-colorplus-2/> (дата обращения: 05.12.23 г.).
7. ГОСТ 29024-91 Анализаторы жидкости турбидиметрические и нефелометрические. Общие технические требования и методы испытаний.
8. Стафеев, С. В. Основы оптики / С. В. Стафеев. – Санкт-Петербург: Политехника, 2006. – 400 с.
9. Промышленный мутномер воды SIGRISTWTM 500. – URL: <http://www.aptinstr.nl/?r=/product/view/17> (дата обращения: 03.12.23 г.).

10. Оптические датчики «Optek» контроля и мониторинга различных жидкостей, питьевой воды и сточных вод в трубопроводах в реальном режиме времени. – URL: <http://optek.com> (дата обращения: 03.12.23 г.).

11. Нефтемер SIGRISTKFLJ. – URL: <http://www.photometer.com/en/products/archive.html> (дата обращения: 26.11.23 г.).

УДК 697:728.61

**А. А. Зарипов, О. С. Дмитриева,
А. Ю. Долматова, К. А. Батурина**
Удмуртский ГАУ

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Проводится сравнительный анализ, представлен принцип работы, преимущества и недостатки современных систем теплоснабжения индивидуальных жилых домов.

Актуальность. В настоящее время многие люди предпочитают жить в своих домах и коттеджах. Стоимость энергоносителей постоянно растет, поэтому и затраты на отопление становятся все больше. В связи с этим все большую популярность приобретают современные технологии энергосбережения, которые помогают снизить затраты на постоянно дорожающие энергоресурсы.

Цель: выявить более энергоэффективную систему теплоснабжения индивидуального жилого дома.

Материалы и методы. Теоретический анализ различных источников научной литературы.

Результаты исследований. Современные системы отопления можно разделить на две большие категории: традиционные и основанные на новых технологиях. В традиционных системах используется один основной источник тепла – котел, который работает на определенном виде топлива и передает тепловую энергию с помощью теплоносителя (рис. 1).

Инновации в этой области направлены на улучшение работы оборудования и повышение его эффективности, которая достигает 90 %. Ко второй группе относятся системы, основанные на ис-

пользовании энергосберегающего оборудования, такие, как электрические котлы, гелиосистемы и солнечные коллекторы.

Пример эффективного использования энергии в газовых котлах – это конденсационные модели, оборудованные самыми современными теплообменниками. Главное их преимущество – при сжигании метана получается вода, которая сразу испаряется в зоне горения и таким образом забирает часть тепла. В конденсационном котле теплообменник устроен так, что он заставляет пар конденсироваться, возвращая эту энергию. Благодаря такому решению эффективность теплогенератора может достигать 96 % [1, 2].

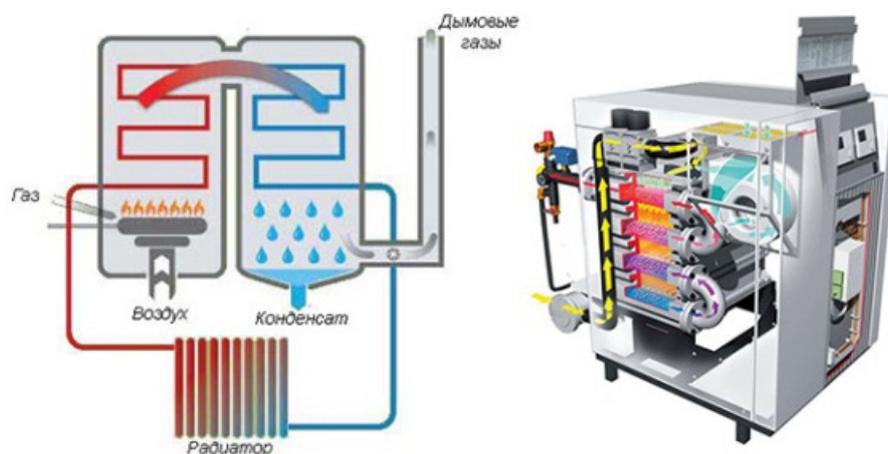


Рисунок 1 – Конденсационный котёл

Со временем горелочные устройства претерпели изменения, и теперь они подают определенное количество топлива и воздуха, а также автоматически регулируют интенсивность горения. Этот процесс также затронул котлы, работающие на сжигании древесных пеллет, которые способны достигать эффективности до 85 % [3] (рис. 2).



Рисунок 2 – Котёл, основанный на сжигании древесных пеллет

В регионах с более высоким уровнем солнечной активности используются системы отопления домов, основанные на использовании энергии солнца. Они называются гелиоустановками (рис. 3). Однако их недостатком является то, что коллекторы, которые собирают солнечную энергию, бесполезны в ночное время. В среднем эффективность гелиоустановок составляет около 60 % [4, 5] (рис. 4).

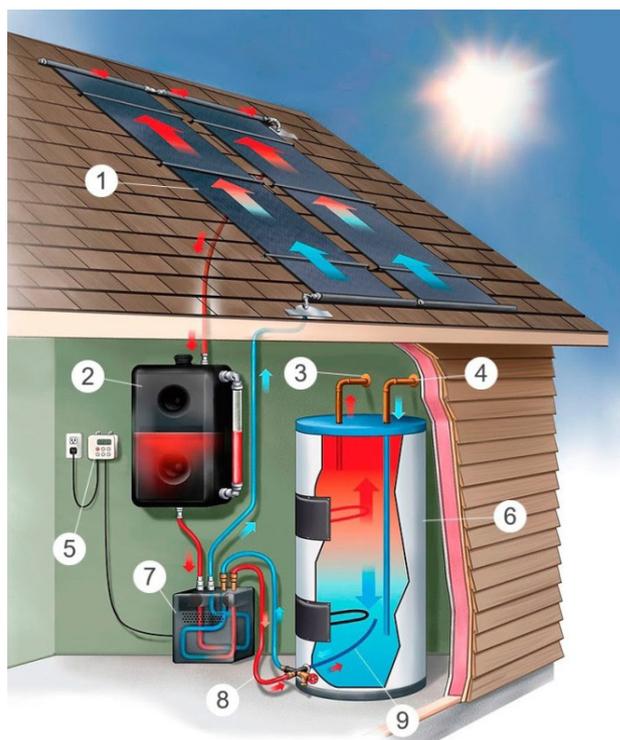


Рисунок 3 – Устройство гелиоустановки:

1. Солнечный коллектор.
2. Буферный бак.
3. Горячая вода.
4. Холодная вода.
5. Контроллер.
6. Теплообменник.
7. Помпа.
8. Горячий поток.
9. Холодный поток.

Энергоэффективность

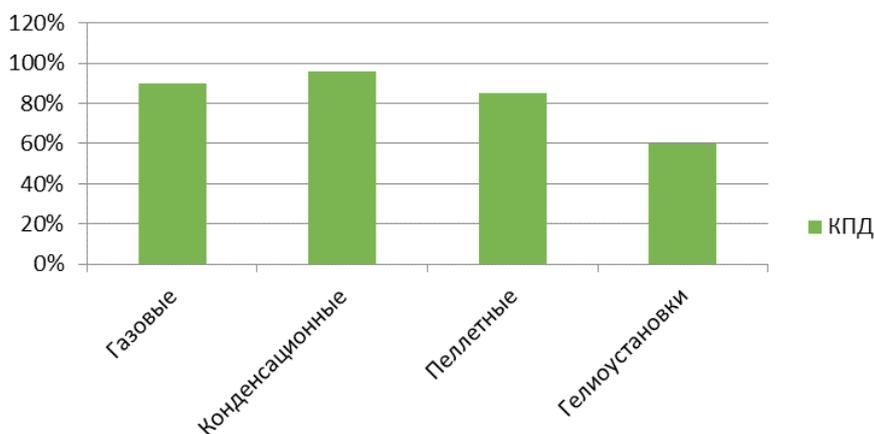


Рисунок 4 – Эффективность отопительных установок

Выводы и рекомендации. Наиболее эффективной системой отопления считается система с компенсационным котлом. Ее эффективность максимальна. А вот гелиоустановка наименее эффективна, так как ее работа сильно зависит от изменений погоды. Как правило, владельцы частных домов предпочитают традиционные системы отопления, работающие на природном газе. Это объясняется рядом причин: газовые котлы доступнее по цене и проверены временем и суровыми климатическими условиями.

Список литературы

1. Применение нетрадиционных источников в теплоснабжении: учебно-методический комплекс для студентов / Сост. И. Н. Прокопеня, А. А. Матявин. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2013.
2. Удовенко, В. Е. Автономное теплоснабжение, системы дымоудаления: справочное пособие / В. Е. Удовенко, Е. Х. Китайцева, К. Е. Паргунькин. – Москва: Полимергаз, 2006.
3. Корепанов, А. С. Анализ тепловизионного контроля ограждающих конструкций жилого здания / А. С. Корепанов, П. Л. Лекомцев, М. Л. Шавкунов // Инновационные решения стратегических задач агропромышленного комплекса: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию Удмуртского ГАУ. В 3 т., Ижевск, 28 февр. – 5 марта 2023 г. – Ижевск: УдГАУ, 2023. – Т. 3. – С. 97–102.
4. Корепанов, А. С. Исследование низкотемпературных систем обогрева помещений / А. С. Корепанов, М. Л. Шавкунов, Р. И. Гаврилов // Развитие производства и роль агроинженерной науки в современном мире: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Ижевск, 16–17 декабря 2021 г. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2021. – С. 305–309.
5. Ермаков, Д. М. Оценка эффективности использования пенополиуретана в качестве изоляции теплопроводов / Д. М. Ермаков // Молодые исследователи – регионам: материалы Международной научной конференции, Вологда, 17 апреля 2023 г. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2023. – С. 307–309.

А. Г. Злобин, Л. А. Пантелеева

Удмуртский ГАУ

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ В ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ВУЗА

Приводится обзор набора цифровых инструментов для педагогической деятельности. Представлена классификация основных цифровых инструментов, распределенных на группы: сервисы для видеоконференций; инструменты для командной работы; инструменты аналитики и визуализации; сервисы для создания интерактивного контента; платформы для создания онлайн-курсов.

Актуальность. Глобальная цифровизация общества, массовое внедрение цифровых технологий рождает новые задачи адаптации современного специалиста. Безусловно, это сказалось и на современном образовании, которое довольно трудно представить без цифровых инструментов, автоматизирующих образовательный процесс [3]. Еще не так давно нам приходилось делать расчеты, производить анализ, составлять целые тексты вручную, а уже сейчас за нас это умеют делать программы. К тому же в современное общество все больше начинает продвигаться искусственный интеллект, который умеет составлять целый текст или за малый промежуток времени нарисовать картинку, и все по одному запросу. Данные цифровые инструменты (далее – программное обеспечение) могут дать преподавателю-педагогу возможность более плавно распределять свое время, более понятно и доступно объяснять материал, снизить трудозатраты и использовать свои силы в более необходимом направлении. Происходит автоматизация в учебно-воспитательном процессе, позволяющая оперативно и достоверно получать информацию, сокращая объем документооборота.

Цель: исследование современных цифровых образовательных технологий. Для достижения цели было решено поставить следующие задачи:

1. Подобрать список цифровых инструментов, наиболее подходящих в педагогической деятельности.
2. Проверить стабильность работы цифровых инструментов, набор параметров и возможностей.

3. Выбрать самые лучшие или выяснить их применимость, подходящих в педагогической деятельности, то есть имеется вероятность, что цифровых инструментов в определенной деятельности может быть несколько.

Материалы и методика. Исследование проведено на основе подбора цифровых инструментов, наиболее подходящих для работы в педагогической деятельности.

Результаты исследований. В нашем понимании цифровые инструменты, зачастую представляющие собой программное обеспечение, – это технологии, призванные работать с большими объемами информации и представлять данную информацию в систематизированном виде для более удобного восприятия.

Проблематикой данного направления можно считать обеспеченность педагогического состава, то есть нет финансовой возможности получения необходимого программного обеспечения, так как большинство таковых предоставляются за фиксированную стоимость или через подписку на определенный срок, невозможность получения необходимого программного обеспечения в условиях санкций тоже имеет место быть и не исключена возможность использования нелегального программного обеспечения. Даже если необходимое программное обеспечение имеется, то необходимо потратить какое-то количество времени, чтобы изучить интерфейс программы, научиться ею пользоваться и правильно применить программу в своей деятельности.

Информационные инструменты можно использовать в различных задачах профессиональной деятельности. Например, при дистанционном обучении можно использовать сервисы для видеоконференций (рис. 1), таким образом можно не тратить время на передвижение к месту обучения, а сразу перейти к проведению занятий. К сожалению, на этом плюсы заканчиваются, так как часть информации обучающимися не усваивается и обратной связи от обучающихся может не быть. В любой момент могут возникнуть проблемы с передачей данных, или микрофон с камерой руководителя видеоконференции может быть не качественным. Поэтому сервисы для видеоконференций считать отличным вариантом стоит лишь в том случае, если собраться на полноценное занятие не представляется возможным. При этом следует заметить, что и дистанционный, и аудиторный форматы образования должны развиваться с учетом потребностей и возможностей личности обучающегося [4, 6, 7].



Рисунок 1 – Сервисы для видеоконференций

Дополнительным цифровым инструментам формата дистанционного обучения является информационный портал вуза, на котором можно ознакомиться с лекциями, пройти тестирования или практику. Вопросы создания педагогической системы информационно-аналитического сопровождения и оценки качества информационно-образовательной деятельности поднимались не один раз [2–8].

Одним из самых полезных цифровых инструментов для преподавателя-педагога может стать – MS Excel. Казалось бы, кто не умеет им пользоваться, но данный цифровой инструмент раскрывается, когда на его основе начинают создавать различные программы, так как MS Excel умеет не только считать, но и подбирать различные логические вариации.

Самым востребованным цифровым инструментом в педагогической деятельности является программа для обзора презентации – MS PowerPoint. И это не просто так, правильно и красиво оформленная презентация создает эффективное восприятие материала.

Для обзора и построения геометрии очень полезными инструментами являются – AutoCAD, NanoCAD и Компас 3D, но ряд CAD-программ требует от пользователя немало времени на обучение, но в перспективе с их помощью, можно создавать 2D и 3D-чертежи различных объектов, начиная от самых простых, заканчивая крупнейшими объектами строительства.

С расчетом небольших формул может справиться обычный калькулятор, но, если формулы достаточно сложные, можно воспользоваться программой Photomath. В Photomath можно не только вводить формулы, но и фотографировать формулу с подставленными значениями и сразу же производить расчет.

Выводы и рекомендации. Был произведен подбор цифровых инструментов, проверена стабильность работы цифровых инструментов, протестирован набор параметров и возможностей. В процессе исследования были выведены положительные стороны цифровых инструментов, но в отдельных случаях выявлены и их недостатки.

Список литературы

1. Торкунова, Ю. В. Моделирование информационной системы управления инновационно-образовательной деятельностью в вузе / Ю. В. Торкунова // Образовательные технологии и общество. – 2012. – Т. 15, № 4. – С. 637–643.
2. Помыткина, Т. Ю. Современные тенденции образования: вызовы постиндустриального общества // Педагогическое взаимодействие: возможности и перспективы: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Саратов, 25–26 марта 2021 г. – Саратов: Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского, 2021. – С. 188–192.
3. Помыткина, Т. Ю., Проблемы дистанционного обучения в медицинском вузе и пути их решения / Т. Ю. Помыткина, Е. А. Тютрюмова // Актуальные вопросы современного медицинского образования: материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Ижевск, 11–12 сентября 2020 г. – Ижевск: Ижевская государственная медицинская академия, 2020. – С. 27–30.
4. Поносов, Ф. Н. Выбор студентами цифрового образовательного ресурса: психологический аспект / Ф. Н. Поносов, О. Н. Малахова, О. А. Жученко // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Акмеология образования. Психология развития. – 2021. – Т. 10, № 2 (38). – С. 158–167. – DOI 10.18500/2304-9790-2021-10-2-158-167.
5. Галиахметова, Н. П. Исследование эффективности использования дистанционных технологий в образовательном процессе / Н. П. Галиахметова // Инновационные направления интеграции науки, образования и производства: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Керчь, 11–15 мая 2022 г. – Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2022. – С. 461–464.
6. Малахова, О. Н. Мониторинг психических состояний студентов в условиях дистанционной и аудиторной образовательной коммуникации / О. Н. Малахова, О. А. Жученко // Открытое и дистанционное образование. – 2017. – № 4 (68). – С. 5–12. – DOI 10.17223/16095944/68/1.
7. Проектирование безопасной образовательной среды в условиях дистанционного обучения: психолого-педагогический аспект (на примере аграрного вуза) / О. А. Жученко, О. Н. Малахова, И. Т. Русских, Н. П. Галиахметова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Познание. – 2022. – № 12. – С. 50–54. – DOI 10.37882/2500-3682.2022.12.11.

**А. Г. Злобин, А. А. Хохряков,
Д. В. Стрелков, Л. А. Пантелеева**
Удмуртский ГАУ

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА ЗЕЕБЕКА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРООСВЕЩЕНИЯ

Рассмотрены физические основы термоэлектрических явлений на примере явления Зеебека. Проанализированы требования к материалам для термоэлектрических батарей. Дан обзор использования термоэлектрических явлений в промышленности и на производстве.

Актуальность. В процессе эксплуатации светодиодного осветительного оборудования основной проблемой является нагрев, который может вызвать выход из строя самих светодиодов. Вследствие нагрева снижается коэффициент полезного действия светодиодных светильников. Тот же самый нагрев можно отнести к потерям энергии, которую можно попытаться аккумулировать. Методы перевода тепловой энергии в электрическую могут быть различными, но мы попытаемся исследовать один конкретный метод, основанный на эффекте Зеебека. Эффект Зеебека заключается в следующем – разнородные контакты, соединенные последовательно, лежащие в границе температурных сред, каждый из которых контактирует со своей температурной средой, будут генерировать термо-ЭДС [1]. Данный эффект был открыт Т. И. Зеебеком в 1821 г. В 1834 г. Жан Шарль Пельтье открыл эффект, обратный эффекту Зеебека [2, 3]. Эффект Пельтье позволяет получить разность температур на контактных керамических пластинах, между которыми полупроводниковый материал, за счет приложенной электрической энергии к выводам так называемого элемента Пельтье (рис. 1).

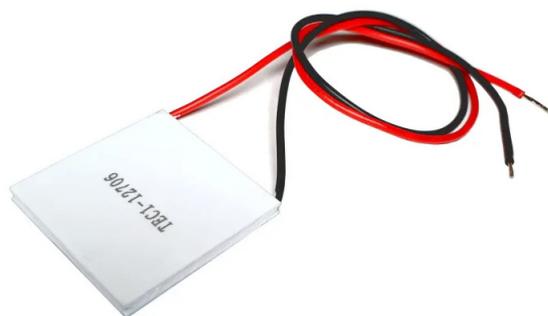


Рисунок 1 – Элемент Пельтье

Наша задача состоит в том, чтобы выяснить целесообразность применения элемента Пельтье в качестве преобразователя разности температур в электрическую энергию, то есть нашей задачей является преобразование потерь в полезную энергию.

Материалы и методы. Объектом исследования является светодиодный светильник с предустановленными элементами Пельтье в тех местах, где светильник нагревается больше всего. Чем больше будет составлять разница температур, тем больше будет составлять термо-ЭДС, поэтому идеальными условиями можно считать зимний период времени, когда температура вне светильника отрицательна, а температура внутри светильника положительна.

В реальности не представляется возможным создать полноценный стенд для проведения исследований, но мы можем смоделировать светодиодный светильник и приложенные к нему элементы Пельтье. Моделирование было проведено в программном обеспечении AutoCAD 2022.

Результаты исследований. В ходе исследования были построены модели, по которым были проведены расчеты габаритов конструкции, было рассмотрено несколько вариаций расчетов при разных температурах окружающей среды.

В программном обеспечении AutoCAD был отрисован светодиодный светильник, были распределены равномерно элементы Пельтье. Размер одного элемента Пельтье – 40×40 мм, что позволяет нам разместить их по поверхности светильника в два ряда (рис. 2).

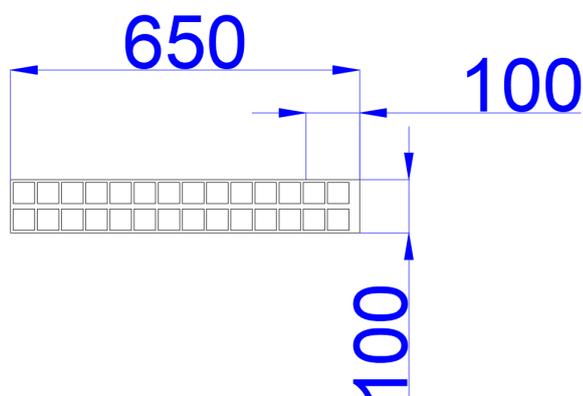


Рисунок 2 – Элементы Пельтье на верхней панели светильника (вид сверху)

Ниже можно ознакомиться с результатами исследования (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты исследования

Кол-во элементов, шт.	Температура внутри светильника, К/°С	Температура снаружи светильника, К/°С	Напряжение на выходе, В	Общая стоимость элементов Пельтье, руб.
28	338/65	303/30	0,56	13384
		288/15	0,80	
		273/0	1,04	
		258/-15	1,28	
		243/-30	1,52	

Выводы и рекомендации. По результатам исследования можно говорить о нецелесообразности использования элементов Пельтье в качестве источника ЭДС из-за низкого КПД и их стоимости. Неравномерный нагрев и распределение теплового потока приводит к тому, что часть элементов не улавливает значимой разницы в температурах и не производит электрическую энергию.

Список литературы

1. Крицкий, О. В. Физические основы термоэлектрических явлений и их использование в промышленности / О. В. Крицкий, А. Р. Крицкая, Н. А. Силаева // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2014. – № 12-1. – С. 13–16.
2. Кропотова, Н. А. Устройство для автономного электроснабжения на основе элементов Пельтье при реализации эффекта Зеебека / Н. А. Кропотова // NovaInfo. – 2017. – № 60. – С. 150–155.
3. Шостаковский, П. Г. Термоэлектрические источники альтернативного электропитания / П. Г. Шостаковский // Новые технологии. – 2010. – № 12. – С. 131–138.

УДК 628.977-047.645

**Н. П. Кондратьева¹, Р. Г. Большин²,
С. Н. Мардарьев³, А. А. Четошников⁴**

¹Удмуртский ГАУ

²ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева

³ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ

⁴ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОСВЕЩЕНИИ ЦЕХА

Приводится сравнительный анализ существующих энергосберегающих технологий при освещении помещений с использованием различных средств автоматики для контроля. Использование сквозных цифровых технологий для управления системой светодиодного (LED) освещения цеха позволяет без потери в уровне освещенности помещения заменить ртутные источники света с экономией электроэнергии от 40 до 90 %.

Актуальность. Энергосбережение (экономия энергии) – реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное (рациональное) использование (и экономное расходование) топливно-энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии [1, 2, 3].

Благодаря энергосбережению решается:

1) экологическая задача по сохранению природных ресурсов и уменьшению загрязнения окружающей среды выбросами продуктов сгорания топлива;

2) экономическая задача по снижению себестоимости товаров и услуг.

Актуальность энергосбережения растет во всех странах в связи с опережающим ростом цен на основные традиционные виды энергоресурсов и постепенным истощением их мировых запасов [4, 5, 6].

Стимулом развития энергосбережения являются энергетические кризисы и экологические проблемы. Несмотря на широкое внедрение энергосберегающих источников света, на освещение тратится около 30 % всей вырабатываемой электроэнергии. Поэтому разработка энергосберегающих технологий при освещении цеха является актуальной задачей.

Материалы и методика. Для реализации энергосберегающих технологий при освещении используются системы интеллектуального освещения с элементами искусственного интеллекта [7], заключающиеся в возможности управления источником излучения (светом) голосом или цифровыми автоматизированными системами, позволяющими мониторить работу осветительных приборов как внутри, так и снаружи помещения [8, 9]. Например, лампы Sber E14 или Sber E27 (рис. 1). При этом использование умных розеток и выключателей позволяет управлять работой осветительных приборов, например, светодиодных (LED) лент, которые встраиваются в локальные светильники.

К достоинствам LED-ламп относятся: высокий срок службы до 50 тыс. часов, энергоэффективность; устойчивость к вибрации и механическим ударам; возможность безотказно работать при температурах от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$; отсутствие дополнительных балластных резисторов или зажигающих импульсных устройств; высокая светоотдача; возможность использования в световом дизайне.

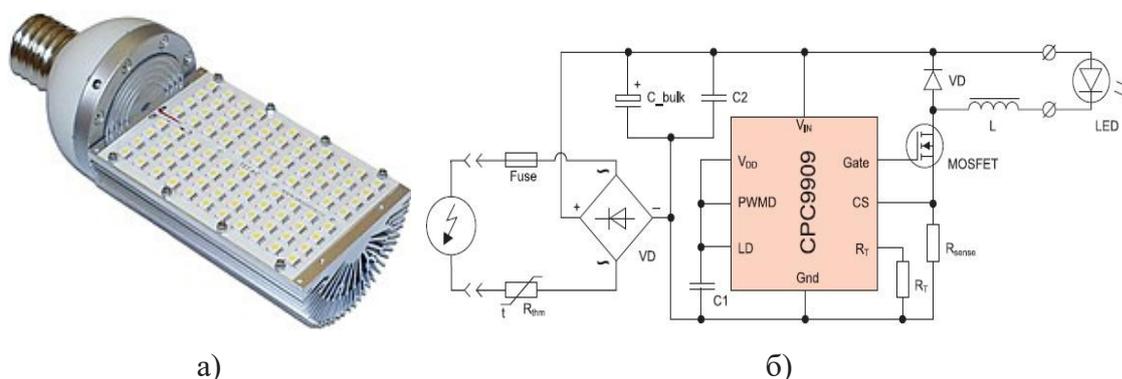


Рисунок 1 – Фото лампы Sber E27 (а) и принципиальная электрическая схема светодиодной лампы с ШИМ-регулятором (б)

Главный недостаток – высокая стоимость по сравнению с лампами накаливания.

Разработка энергосберегающих технологий при освещении цеха базируется:

- 1) на профессионально грамотном размещении LED-источников с учетом местного освещения, общего и рабочего;
- 2) на использовании LED-ламп только для выполнения своих должностных обязанностей и диммировании мощности LED-источников, например, уличного освещения около цеха с 23-00 до 6-00 часов;

3) на повышении светоотдачи существующих источников за счет плановых осмотров и удаления грязи при необходимости, а также применении эффективных отражателей;

4) на замене ламп накаливания с низкой светоотдачей и сроком службы 1000 час., замене ртутных люминесцентных ламп со сроком службы 10 000 час. на энергоэффективные, экологические чистые LED-лампы со сроком службы 50 000 час.;

5) на применении цифровых устройств управления освещением с элементами специального искусственного интеллекта: датчиков движения, акустических датчики, датчиков освещенности, таймеров, цифровых систем дистанционного управления;

6) на использовании сквозных цифровых технологий для создания интеллектуальных распределённых систем управления освещением, позволяющих минимизировать затраты на электроэнергию для освежения производственного цеха.

Результаты исследований. Применение LED-ламп для освещения цеха позволяет рационально использовать энергоресурсы. Энергосберегающие технологии при освещении цеха базируются на цифровой системе контроля освещенности, состоящей из силового блока управления освещением, контроллеров, панели управления, умных выключателей, диммеров для регулирования уровня освещенности, датчиков движения, реагирующих на присутствие или отсутствие человека в помещении. Энергосберегающие технологии при освещении цеха предусматривают автоматическое выключение и включение LED-ламп по таймеру в соответствии с графиком рабочего процесса [5, 7, 8]. Кроме этого предусмотрено автоматическое управление работой LED-ламп с помощью датчиков движения, которые реагируют на появление человека: LED-лампы включаются сразу, когда вы зайдете в помещение, и выключаются через несколько минут после вашего выхода из помещения, то есть здесь реализован полный автоматический контроль.

Выводы и рекомендации. Проведенные исследования показали следующие преимущества интеллектуальной цифровой системы для реализации энергосберегающих технологий при освещении цеха LED-лампами: современные LED-светильники имеют высокую светоотдачу, экономичны, экологически безопасны. Замена ламп накаливания на LED снижает затраты на потребление электроэнергии до 70 % даже в круглосуточном режиме работы. Такое экономично выгодное освещение является идеальным вари-

антом для использования в промышленных масштабах. Разработка энергосберегающих технологий при освещении цеха с использованием LED-ламп позволяет без потери в уровне освещенности помещения заменить ртутные источники света с экономией электроэнергии от 40 до 90 %.

Список литературы

1. Разработка цифровой автоматизированной системы управления для реализации энергоэффективного освещения / Н. П. Кондратьева, Р. Г. Большин, М. Л. Туктарев, М. Г. Краснолуцкая // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 95-6. – С. 66–68.

2. Применение цифровых автоматизированных технологий для энергоэффективной системы освещения животноводческих помещений / Н. П. Кондратьева, И. С. Чернов, Р. Г. Большин, М. Г. Краснолуцкая // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 96-9. – С. 55–59.

3. Мардарьев, С. Н. К вопросу применения нейронных сетей в световых технологиях / С. Н. Мардарьев, Е. Л. Белов, Н. П. Кондратьева // Научно-образовательная среда как основа развития интеллектуального потенциала сельского хозяйства регионов России: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. – Чебоксары, 2023. – С. 335–337.

4. Мардарьев, С. Н. К вопросу исследования ФАР рабочего света сельскохозяйственной техники / С. Н. Мардарьев, С. А. Овчукова, Н. П. Кондратьева // Научно-образовательная среда как основа развития интеллектуального потенциала сельского хозяйства регионов России: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. – Чебоксары, 2023. – С. 337–339.

5. Кондратьева, Н. П. Организация рабочего места IT-оператора на удаленных объектах / Н. П. Кондратьева, А. А. Шишов, Р. Г. Большин // Инновационные решения стратегических задач агропромышленного комплекса: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию Удмуртского ГАУ. В 3 т. – Ижевск, 2023. – С. 93–97.

6. Мардарьев, С. Н. «УМНЫЕ» сети в сельской энергосистеме / С. Н. Мардарьев, В. Г. Григорьев // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. – Чебоксары, 2023. – С. 192–198.

7. Четошников, А. А. Использование цифровых технологий для интенсификации самостоятельной работы студентов / А. А. Четошников // Аграрная наука – сельскому хозяйству: материалы XVII Междунар. науч.-практ. конф. В 2-х книгах. – Барнаул, 2022. – С. 41–43.

8. Программа для автоматического регулирования систем освещения / Т. А. Широбокова, И. Г. Пospelова, Е. А. Мыльников, К. С. Иксанова // Свиде-

тельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022617215, 19.04.2022. Заявка № 2022615469 от 30.03.2022.

9. Бакиров, С. М. Методика расчета и моделирования светодиодных осветительных приборов / С. М. Бакиров, Т. А. Широбокова // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 4 (131). – С. 31–40.

УДК 658.26:674

**Н. П. Кондратьева¹, Р. З. Ахатов¹, Р. Г. Большин²,
М. Г. Краснолуцкая³, В. В. Селунский⁴**

¹Удмуртский ГАУ

²ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева

³ЧОУ ДПО «УНИЦ «Омега»

⁴ФГБОУ ВО Южно-Уральский технологический университет

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ООО «УВАДРЕВ-ХОЛДИНГ»

Приводятся методы энергосбережения, позволяющие экономить средства на обслуживании и ремонте оборудования, сократить потери теплоносителя при авариях на теплотрассе, а также увеличить срок эксплуатации сетевого насоса. Применение современной цифровой системы автоматизации котельной обеспечивает работу оборудования в соответствии с заданным температурным режимом, без постоянного нахождения на объекте обслуживающего персонала.

Актуальность. ООО «Увадрев-Холдинг» одно из крупных лесоперерабатывающих предприятий в Удмуртии. В 1935 г. Совет Народных Комиссаров Удмуртии постановил открыть лесозавод в поселке Ува. ООО «Увадрев-Холдинг» производит высококачественную ламинированную древесно-стружечную плиту. Территория комплекса охватывает площадь в 57 гектаров и полностью обеспечена всеми инженерными коммуникациями. На предприятии расположено большое количество электроустановок с различными приводами и исполнительными механизмами. Электроснабжение осуществляется от трех фидеров № 7, № 15 и № 26 по воздушным линиям электропередач 10кВ от ПС «Садовая» 220/110/10кВ районных электрических сетей. На территории располагаются РУ-10кВ, ТП-10/0,4кВ закрытого типа. Для отопления производственных и административных зданий на территории предприятия находятся три газовые котельные. В соответствии с Федеральным за-

коном от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» необходимо рационально использовать энергетические ресурсы, внедрять мероприятия по энергосбережению, использовать энергетические ресурсы, учитывая производственные, технологические, экологические и социальные условия [3, 4, 6].

Для решения этих задач необходимо использовать современные методы повышения энергоэффективности для газовых котельных с водогрейными котлами, используя сквозные цифровые технологии для автоматического регулирования работы котельной в наиболее экономичном режиме [9, 10, 11]. Также необходимо установить цифровые приборы контроля и сигнализации с выводом на диспетчерский пункт для обеспечения безопасной эксплуатации оборудования. Все эти мероприятия являются актуальными для предприятия ООО «Увадрев-Холдинг», так как позволят предприятию получить прибыль от сэкономленных энергоресурсов.

Материалы и методика. Первое энергосберегающее мероприятие – использование температурного графика [5, 7, 8]. Температура теплоносителя в тепловой сети изменяется согласно температурному графику и зависит от температуры окружающей среды (табл. 1). С помощью температурного графика устанавливается соответствие температуры передаваемого и возвратного теплоносителя в соответствии со среднесуточными температурными показателями окружающей среды.

Таблица 1 – Температурный график тепловой сети

Температура наружного воздуха $T_{нв}$, °С	Температура сетевой воды в подающем трубопроводе $T1$, °С			Температура воды в подающем трубопроводе системы отопления $T3$, °С		Температура воды после системы отопления $T2$, °С
	150	130	115	105	95	
1	2	3	4	5	6	7
+8	53,2	50,2	46,4	43,4	41,2	35,8
0	72,4	66,5	60,5	56,0	52,4	43,3
-5	83,9	76,2	68,8	63,5	58,9	47,6
-10	95,3	85,6	76,9	70,8	65,3	51,7
-15	106,5	94,8	84,8	77,9	71,5	55,6
-20	117,5	103,8	92,6	84,8	77,5	59,4
-25	128,5	112,7	100,2	91,6	83,5	63,0
-30	39,3	128,4	107,6	98,4	89,3	66,5
-35	150	130	115	105	95	70

Для крупных предприятий используется график 150/70, 130/70, 115/70, для местных тепловых пунктов – 105/70,95/70. Числитель – максимальная температура воды на входе в систему, а знаменатель – на выходе. Использование температурного графика позволяет значительно экономить на энергетических ресурсах.

Второе энергосберегающее мероприятие – снижение потребления электрической энергии вспомогательным оборудованием. Наибольшее потребление электрической энергии осуществляется сетевыми насосами, так как они предназначены для перекачивания сетевой воды в подающий трубопровод. Сократить потребление энергетических ресурсов можно двумя методами: 1) за счет подбора электродвигателя более точной мощности; 2) за счет использования частотно-регулируемого электропривода.

Результаты исследований. В котельной установлены сетевые насосы LOWARA FCE 80-200/150 со следующими техническими данными: производительность – 96 м³/ч.; напор – 36 м.в.ст.; скорость вращения – 2900 об./мин.; мощность электродвигателя – 15 кВт (рис. 1, а).



а)



б)

Рисунок 1 – Сетевой насос Lowara FCE80-200/150 (а) и преобразователь частоты Emotron FDU 48-046-54 CE (б)

В первом случае электродвигатель работает 24 часа в сутки с одной и той же мощностью. При этом сетевой насос не регулируется с помощью цифровых микроконтроллеров, при возникновении аварийных режимом может выйти из строя до прибытия обслуживающего персонала.

При использовании частотно-регулируемого электропривода устанавливается в сеть сетевого насоса частотный преобразова-

тель, который полностью контролирует технологический процесс насоса [1, 2].

Частотный преобразователь обеспечивает:

- плавный пуск и торможение электродвигателя, защиту от гидравлического удара в системе, что позволяет избежать преждевременного выхода из строя оборудования;
- защиту электродвигателя и самозащиту от перегрузок, замыканий на землю, обрывов линии питания;
- регулирование скорости вращения электродвигателя в зависимости от технологического процесса;
- значительную экономию электрической энергии по сравнению с применением других методов регулирования;
- отсутствие необходимости применения механических устройств регулирования, что снижает затраты на обслуживание оборудования.

Применение преобразователя частоты в исследуемой котельной является одним из мероприятий по энергосбережению. Он позволяет снизить расходы энергетических ресурсов, а также контролировать технологический процесс и управлять им в автоматическом режиме.

Произведем выбор преобразователя частоты и разработаем программу регулирования частоты вращения электродвигателя сетевого насоса в зависимости от давления в обратном трубопроводе.

Выберем преобразователь частоты по условиям мощности:

$$P_{ном.дв.} < P_{ном.ПЧ},$$

где $P_{ном.дв.}$ – номинальная мощность двигателя, кВт;

$P_{ном.ПЧ}$ – номинальная мощность преобразователя частоты в нормальном режиме работы, кВт.

Для насоса Lowara FCE – 80-200/150 подберем преобразователь частоты Emotron FDU 48-046-54 CE (рис. 1, б):

$$15 \text{ кВт} < 22 \text{ кВт}.$$

Следовательно, преобразователь частоты выбран правильно.

Для управления работой частотного преобразователя используем программируемое реле Zelio Logic (SR2/SR3) (рис. 2).

Разработка программы для работы реле осуществляется с помощью программного обеспечения Zelio Soft.



а)



б)

Рисунок 2 – Программируемое реле Zelio Logic SR2 B121JD (а) и преобразователь давления ПД-100 (б)

Преимущества выбранного обеспечения:

- Простое и удобное программное обеспечение Zelio Soft упрощает настройку интеллектуальных логических реле Zelio Logic.
- Обладает непревзойденной гибкостью в решении с помощью языка функциональных блоков (FBD) или контактов (LADDER).
- Возможность обнаружения любых ошибок программирования с функцией тестирования согласованности.
- Наличие режимов моделирования и мониторинга: тестирование программы в реальном времени с подключением интеллектуальных реле к ПК или без подключения.
- Возможность загрузки и отправки программ потребителю.

Целью разработки программы для логического реле Zelio Soft является регулирование частоты вращения электродвигателя с помощью частотного преобразователя в зависимости от давления.

Для контроля давления в трубопроводе используем преобразователь давления ПД-100 (рис. 2, б). Давление в трубопроводе по программе не превышает допустимого значения, так как мощности электродвигателя насоса хватает для перекачки сетевой воды. Если в трубопроводе происходит падение давления ниже минимального, то частотный преобразователь выходит в аварию, сообщая об этом диспетчеру.

Выводы и рекомендации. Таким образом, для предприятия ООО «Увадрев-Холдинг» предлагаются следующие энергосберегающие мероприятия: 1) использование температурного гра-

фика для автоматического установления соответствия температуры передаваемого и возвратного теплоносителя в соответствии со среднесуточными температурными показателями окружающей среды; 2) снижение потребления электрической энергии вспомогательным оборудованием благодаря использованию частотного преобразователя и логического реле Zelio Logic. Для реализации этих мероприятий необходимо использовать современные методы повышения энергоэффективности, базирующиеся на применении сквозных цифровых технологий, обеспечивающих автоматическое регулирование работой котельной в наиболее экономичном режиме.

Предлагаемые методы энергосбережения позволяют сэкономить средства на обслуживании и ремонте оборудования, сократить потери теплоносителя при авариях на теплотрассе, а также увеличить срок эксплуатации сетевого насоса.

Современная цифровая система автоматизации котельной установки позволяет оборудованию работать в соответствии с заданным температурным режимом без постоянного нахождения на объекте обслуживающего персонала.

Список литературы

1. Применение цифровых автоматизированных технологий для реализации энергоэффективных световых решений в аграрной сфере / Н. П. Кондратьева, Р. Г. Большин, М. Г. Краснолуцкая [и др.] // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 99-7. – С. 117–121. – DOI 10.18411/trnio-07-2023-396.

2. Корепанов, И. Я. Применение и перспективы развития цифровых технологий в агропромышленном комплексе / И. Я. Корепанов, Н. П. Кондратьева // Инженерное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса России: материалы Нац. науч.-практ. конф., посвященной памяти кандидата технических наук, доцента Виталия Александровича Носкова, Ижевск, 20 декабря 2022 г. – Ижевск: УдГАУ, 2022. – С. 31–36.

3. Современные цифровые средства автоматизации для реализации энергосберегающих электротехнологий в аграрной сфере / Н. П. Кондратьева, Р. Г. Большин, М. Г. Краснолуцкая [и др.] // Актуальные проблемы науки и техники: материалы II Международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию ИМИ – ИжГТУ и 60-летию СПИ (филиал) ФГБОУ ВО ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Сарапул, 19–21 мая 2022 г. – Ижевск: Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова, 2022. – С. 648–652.

4. Разработка цифровых автоматизированных систем управления для реализации энергосберегающих технологий / Н. П. Кондратьева, Р. Г. Большин,

М. Г. Краснолуцкая, И. Я. Корепанов // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы XIII Нац. науч.-практ. конф. с международным участием, Саратов, 29–30 апреля 2022 г. – Саратов: Амирит, 2022. – С. 81–85.

5. Цифровые инновационные энергосберегающие технологии в АПК / Н. П. Кондратьева, Р. Г. Большин, М. Г. Краснолуцкая [и др.] // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 21–22 декабря 2021 г. – Минск: Белорусский государственный аграрный технический университет, 2021. – С. 206–208.

6. Коноплев, Т. Ф. Пути совершенствования системы управления энергосбережением и повышением энергоэффективности предприятий газовой отрасли / Т. Ф. Коноплев // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. – 2023. – № 1 (217). – С. 45–51. – DOI 10.33285/1999-6942-2023-1 (217)-45-51.

7. Коноплев, Т. Ф. Методология формирования алгоритма эффективного управления энергосбережением и повышением энергоэффективности предприятия газовой отрасли на основе экспертной системы оценки качества / Т. Ф. Коноплев // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. – 2023. – № 3 (219). – С. 11–17. – DOI 10.33285/1999-6942-2023-3 (219)-11-17.

8. Цымоха, А. Е. Основы энергоресурсосбережения / А. Е. Цымоха // Современная экономика: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. ст. XIII Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 частях. – 2018. – С. 76–78.

9. Kondratieva, N. P. Study of operating modes of a controllable lighting system consisting of a triac dimmer and a LED light source with a controllable driver / N. P. Kondratieva, D. A. Filatov, P. V. Terentiev // Light & Engineering. – 2020. – Vol. 28, No. 4. – P. 84–90. – DOI 10.33383/2019-083.

10. Ovchukova, S. Digital technologies for the implementation of intelligent diagnostics of the insulation of power supply systems with insulated neutral in operating mode / S. Ovchukova, N. P. Kondratieva, A. A. Shishov // Advances of Machine Learning in Clean Energy and the Transportation Industry. – New York : Nova Science Publishers, Inc., 2021. – P. 49-56.

11. Ovchukova, S. A. Energy saving in lighting technologies of agricultural production / S. A. Ovchukova, N. P. Kondratieva, O. Y. Kovalenko // Light & Engineering. – 2021. – Vol. 29, No. 2. – P. 21–25. – DOI 10.33383/2020-039.

**Н. П. Кондратьева¹, Р. Г. Большин², М. Г. Краснолуцкая³,
Р. З. Ахатов¹, В. К. Ваштиев¹, А. В. Ваштиева¹**

¹Удмуртский ГАУ

²ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева

³ЧОУ ДПО «УНИЦ «Омега»

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ОБЛУЧАТЕЛЬ НА СВЕТОДИОДНОЙ ЛЕНТЕ RGB ДЛЯ МНОГОЯРУСНЫХ ГИДРОПОННЫХ ТЕПЛИЦ

Приводится сравнительное обоснование применения разработки энергоэффективного облучателя на светодиодной ленте RGB для многоярусных гидропонных теплиц. Энергоэффективный облучатель на светодиодной ленте RGB для многоярусных гидропонных теплиц включает цифровую систему управления спектром излучения, что снижает до 25 % затраты на потребление электроэнергии.

Актуальность. Повышение эффективности предприятий аграрной сферы связано с применением сквозных цифровых технологий с элементами искусственного интеллекта или нейронных сетей, которые обеспечивают эффективные условия для развития биологических объектов, т. е. растений, насекомых или животных [4, 5, 8]. Таким образом, использование сквозных цифровых технологий с элементами искусственного интеллекта или нейронных сетей делает производство рентабельным [1, 3, 6].

Одним из приоритетных направлений является гидропонный способ выращивания растений почвы с применением минеральных питательных растворов на водной основе (рис. 1).



Рисунок 1 – Многоярусные гидропонные теплицы (а), вертикальные гидропонные теплицы на 3-й день выращивания салата (б) и на 28 день выращивания салата (в)

Широкое использование гидропонного метода выращивания имеет ряд преимуществ:

- экологичность;
- полный контроль над параметрами микроклимата;
- возможность управлять продуктивностью культур за счет реализации разных световых технологий;
- экономичное использование пространства;
- уменьшение расхода воды.

На гидропонике обычно выращивают помидоры, перец, огурцы, клубнику, салат и т.д. (рис. 2).

Целью исследований является разработка энергоэффективного облучателя на светодиодной ленте RGB для многоярусных гидропонных теплиц.

Материалы и методы. Систему облучения для гидропонных теплиц мы предлагаем построить на светодиодной ленте RGB, например, марки RGB 5050 60 led/m 24V IP33 LUX стоимостью 1066 руб. за метр. Светодиодная лента RGB выпускается в двух вариантах: влагозащищенности IP20 и IP65, а также IP68 для применения на улице. В один светодиод устанавливаются три кристалла: красный (Red), зеленый (Green) и синий (Blue) (рис. 2, а). Выполненный таким образом светодиод называется RGB-светодиодом, а содержащая их лента – RGB-лентой [2, 7, 9]. Основной характеристикой светодиодных лент на самоклеющейся основе является тип светодиода. В наше время широко распространены два их типа: SMD-5050 и SMD-3028. SMD – это прибор, который монтируется на поверхности. Такие светодиоды плотно прикрепляются к поверхности ленты. Потому они так и называются. Числа 5050 и 3028 – это размеры самого светодиода в миллиметрах. Для светодиода в ленте SMD-5050 размеры составляют 5,0*5,0 мм (рис. 2, б), а для SMD-3028 – 3,0*2,8 мм.

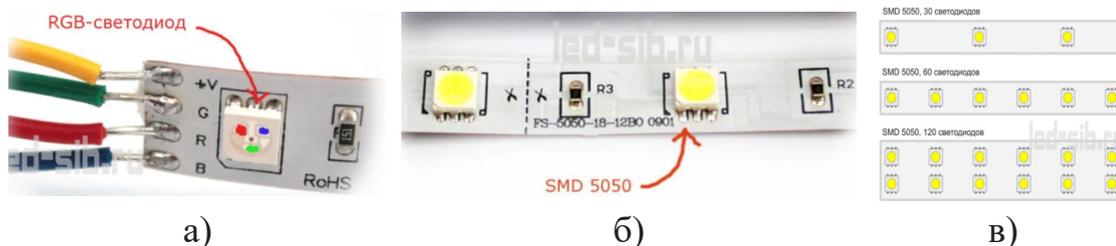


Рисунок 2 – Схема подключения (а), общий вид (б) и виды лент RGB (в)

На каждый из трех кристаллов идет индивидуальное питание, поэтому на входе RGB-лента имеет 4 провода, а не 2 – 1 об-

щий и 3 на каждый цвет, для того, чтобы управлять цветом ленты. Отличаются разноцветные светодиодные ленты количеством светодиодов на один метр ленты (рис. 2, в). На светодиодной ленте rgb на 1 м может быть 30 диодов или 60 или 120.

Для подключения RGB светодиодной ленты необходим блок питания, RGB-контроллер и светодиодная лента RGB. Если требуется подключить более 5 м ленты, то каждая лента подключается к RGB-контроллеру непосредственно или при помощи дополнительных проводов.

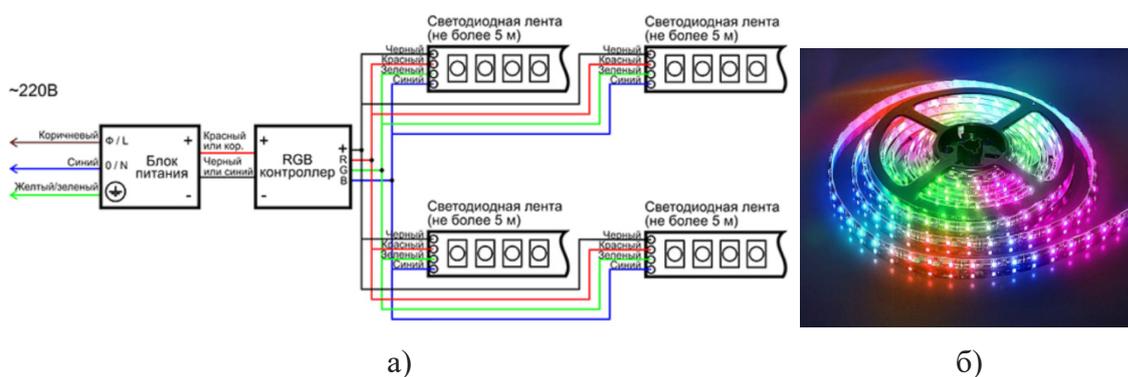


Рисунок 3 – Схема включения светодиодной ленты RGB (а) и фотосветодиодной ленты RGB (б)

Не допускается подсоединение ленты друг за другом, когда начало следующей ленты подключается к концу предыдущей. Провод ко всем следующим лентам ведется параллельно предыдущим лентам. Плюсовые провода лент подключаются к плюсовой клемме выхода (out) диммера. Провода “R”, “G”, “B” подключаются к соответствующим разъемам выхода (out) диммера. Вход (in) RGB-контроллера подключается к выходу (out) блока питания. Все соединения выполняются с соблюдением полярности. Вход в блок питания подключается к сети переменного тока напряжением 220V, например, к розетке или выводам освещения. Обычно в блоках питания используется следующая цветовая маркировка проводов: коричневый – фаза, синий – ноль, желтый/зелёный – защитное заземление. Если вы не уверены, что заземление сети выполнено правильно, то подключать его не стоит. В пластиковых блоках питания провод защитного заземления отсутствует.

Управлять продуктивностью растений можно спектром излучения. Очень нужными для растений являются излучение диапазона 620–595 нм (оранжевый цвет) и 720–600 нм (красный цвет), которые обеспечивают процесс фотосинтеза и «отвечают» за про-

цессы, влияющие на скорость развития растения. В фотосинтезе также участвуют синие, фиолетовые лучи (490–380 нм). Излучение с длиной волны 315–380 нм не позволяет растению «вытягиваться» и отвечают за синтез ряда витаминов. Для выращивания рассады лучше всего подходят спектр с красным, оранжевым, зеленым и синим излучением.

Для реализации эффективного спектра мы предлагаем использовать цифровые технологии с элементами специального искусственного интеллекта. Управлять спектром будет микроконтроллер ATmega8L-8PU стоимостью 360–720 руб. по специально заложенному в нем алгоритму [7, 8, 9].

Результаты исследований. На основе анализа специальной литературы и практических исследований нами был симитирован спектр излучения, состоящий из 25 % синего излучения, 50 % красного излучения и 25 % зеленого излучения. В качестве источника излучения мы использовали ленты RGB 5050 60 led/m 24V IP65 LUX.

Энергоэффективный облучатель на светодиодной ленте RGB для многоярусных гидропонных теплиц включает цифровую систему управления спектром излучения. Использование энергоэффективного облучателя на светодиодной ленте RGB снижает до 25 % затраты на потребление электроэнергии по сравнению с традиционными системами облучения без регулирования спектра. При использовании светодиодов не возникает ожог растений, что позволяет устанавливать их на высоте 10–15 см от посеянных семян.

Благодаря снижению потребления электроэнергии можно укомплектовать установку альтернативными источниками энергии: солнечными или ветряными батареями [10, 11].

Выводы и рекомендации:

1. Одним из приоритетных направлений в развитии аграрной сферы является гидропонный способ выращивания культур.

2. Энергоэффективный облучатель на светодиодной ленте RGB 5050 60 led/m 24V IP65 LUX для многоярусных гидропонных теплиц включает цифровую систему управления спектром излучения.

3. Применение энергоэффективного облучателя на светодиодной ленте RGB снижает до 25 % затраты на потребление электроэнергии по сравнению с традиционными системами облучения без регулирования спектра.

Список литературы

1. Белов, Е. Л. Исследование влияния монохромного освещения на рост и развитие редиса / Е. Л. Белов, В. В. Белов, Л. В. Ларкин // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1 (24). – С. 95–101.
2. Григорьева, Т. М. Автоматизация управления светом – концепция системы освещения помещений / Т. М. Григорьева, В. В. Белов, Т. В. Шаронова // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. – Чебоксары, 2023. – С. 65–71.
3. Эффект синергизма для управления посевными качествами семян люцерны изменчивой с элементами нейросети для контроля дозы УФО / Н. П. Кондратьева, Р. А. Ахатов, Р. Г. Большин [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2023. – № 5 (59).
4. Цифровое средство автоматизации для реализации энергоэффективного режима облучения микрочеренков сливы садовой в культуре *in vitro* / Н. П. Кондратьева, Р. З. Ахатов, Р. Г. Большин [и др.] // Светотехника. – 2023. – № 5. – С. 32–37.
5. Использование цифровых технологий для эффективного управления электротехнологическими облучательными установками / Н. П. Кондратьева, Ю. Х. Шогенов, Б. Г. Зиганшин, Р. З. Ахатов // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 4 (298). – С. 40–43.
6. Force analysis characteristics of the radial-type suspension mechanism / V. V. Belov, E. L. Belov, I. I. Maksimov [et al.] // Перспективы развития аграрных наук: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – 2019. – С. 71–72.
7. Determination of the effective operating hours of the intermittent lighting system for growing vegetables / N. Kondrateva, R. Bolshin, M. Krasnolutskaya [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International AgroScience Conference, AgroScience 2021". – 2021. – С. 012004.
8. Digital automation of energy-efficient *in vitro* irradiation of orchard plum micro cuttings / N. P. Kondrateva, R. Z. Akhatov, R. G. Bolshin [et al.] // Light & Engineering. – 2023. – Т. 31. – № 6. – С. 57–64.
9. Ovchukova, S. A. Digital technologies for the implementation of intelligent diagnostics of the insulation of power supply systems with insulated neutral in operating mode / S. A. Ovchukova, N. P. Kondrateva, A. A. Shishov // Advances of Machine Learning in Clean Energy and the Transportation Industry. Сер. "Computer Science, Technology and Applications" New York. – 2021. – С. 49–56.
10. Strebkov, D. S. Nontracking solar concentrators with louvered heliostats.: Bar to bar effects / D. S. Strebkov, A. E. Irodionov, N. S. Filippchenkova // Applied Solar Energy. – 2015. – Т. 51. – № 4. – С. 306–310.
11. Strebkov, D. S. Nontracking solar concentrators with louvered heliostats. A calculation algorithm / D. S. Strebkov, A. E. Irodionov, N. S. Filippchenkova // Applied Solar Energy. – 2017. – Т. 53. – № 1. – С. 39–44.

**П. Л. Лекомцев, А. М. Ниязов,
Е. В. Дресвянникова, Л. Н. Прокопьев**
Удмуртский ГАУ

АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЯ В ЗАКРЫТЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

При изучении этого вопроса были сформулированы цели создания математического описания электротехнических, динамических и кинетических явлений, происходящих во время электроаэрозольной обработки помещений, для выявления основных принципов распространения и оседания электроаэрозольного облака.

Итогом работы стала математическая модель движения и оседания электроаэрозольного облака внутри закрытого помещения. Мы исследовали принципы электрофизических действий, влияющих на распределение электроаэрозоля, включая силы электростатического рассеивания, гравитационное оседание и коагуляцию.

Мы рассмотрели поступление электроаэрозоля в помещение в процессе работы электроаэрозольного генератора с учетом создаваемого им воздушного потока.

Актуальность. Современные промышленные методы животноводства, способствующие повышению производительности, создают условия для развития патогенных микроорганизмов. Эти микроорганизмы размножаются в организмах инфицированных животных и в продуктах их жизнедеятельности, образуя бактериальный аэрозоль. Этот аэрозоль распространяется в помещениях для содержания животных, оседает на различных поверхностях и попадает в дыхательные пути здоровых животных.

На распространение микроорганизмов внутри помещения влияют конвекционные воздушные потоки и характеристики микроклимата: влажность, температура, наличие пыли. Воздушная среда служит для микроорганизмов средством транспортировки, а движение воздушных масс увеличивает уровень загрязнения помещения патогенами. Кроме того, через вентиляционные системы патогенные микроорганизмы проникают в атмосферу вокруг животноводческих ферм и распространяются на значительные расстояния.

Массовое распространение патогенного бактериального аэрозоля может стать причиной заболеваний среди животных, что повлечет за собой экономические потери в виде снижения продуктив-

ности. Поэтому ветеринарно-санитарные меры по дезинфекции и уничтожению насекомых приобретают особую значимость.

Существуют различные методы дезинфекции помещений: физические, биологические и химические. Физические методы включают использование ультрафиолетового излучения, высоких температур и ионизирующих излучений. Однако они сложны в применении, требуют дорогостоящего оборудования и обеспечивают только поверхностную дезинфекцию, поэтому они подходят для обработки небольших площадей.

Биологические методы основаны на использовании микроорганизмов-антагонистов для уничтожения вредных бактерий и вирусов. Они находятся на стадии разработки и еще не получили широкого применения.

Наиболее распространенными методами дезинфекции являются химические методы. Эффективность обработки зависит от концентрации раствора, температуры и продолжительности обработки. На практике хорошо зарекомендовали себя препараты, обладающие стабильным бактерицидным действием, растворимые в воде, не вызывающие коррозии металлов, без запаха и не оказывающие вредного воздействия на здоровье человека и животных. Однако традиционные методы, такие, как опрыскивание и мытье, являются трудоемкими и требуют предварительной подготовки оборудования и значительных затрат на дезинфектанты. При этом традиционная обработка не гарантирует полного уничтожения микроорганизмов из-за неравномерного распределения раствора по поверхности.

В современном технологическом процессе обработки химические вещества вводятся в помещение в форме аэрозолей. Использование аэрозольной дезинфекции позволяет сократить затраты на дезинфицирующие средства в 3–5 раз [7, 10]. Одновременно с дезинфекцией поверхностей аэрозольная обработка обеспечивает и обеззараживание воздуха в помещениях [5, 7].

Электростатический заряд аэрозольных частиц позволяет усовершенствовать общую технологию обработки помещений. Этот процесс включает в себя придание частицам аэрозоля электростатического заряда. Есть несколько способов это сделать, например, химическая, механическая или тепловая электризация, ионная электростатическая зарядка, которая достигается путем присоединения ионов к поверхности аэрозоля, и зарядка, основанная на разделении зарядов в электрическом поле. Однако наибо-

лее распространенным методом является зарядка в электростатическом поле, так как она технически более реализуема и требует меньше усилий.

Величина и направленность электростатических сил, действующих на капли электроаэрозоля, определяются величиной и знаком заряда, полученного в генераторе аэрозоля. Если знаки зарядов совпадают, электростатические силы вызывают отталкивание между каплями, что способствует быстрому расширению облака электроаэрозоля и равномерному распределению его по всему помещению. По мере приближения электроаэрозоля к поверхностям, подлежащим обработке, вступают в действие зеркальные силы, которые увеличивают скорость оседания электроаэрозоля и усиливают плотность осаждения дезинфицирующего средства на обрабатываемые поверхности. Это позволяет активно контролировать процессы электроаэрозольной обработки помещений [1, 3, 4, 6, 9, 11, 12].

Однако недостаточная изученность закономерностей управления электроаэрозольными процессами замедляет широкое внедрение этого метода в сельскохозяйственной отрасли.

Цель исследования заключается в разработке математической модели для описания процессов распространения и осаждения электроаэрозолей в закрытых помещениях, которая позволит выявить закономерности электрофизических явлений, происходящих в облаке электроаэрозоля при проведении электроаэрозольной обработки.

Материалы и методика. Электроаэрозольная обработка помещения может быть разделена на несколько этапов: образование и начальное распространение электроаэрозольной сферы, полное заполнение помещения электроаэрозолями и оседание электроаэрозоля на внутренних поверхностях помещения. Генерирование и поступление электроаэрозоля в помещение осуществляется с помощью электроаэрозольного генератора. В рамках разрабатываемой модели предполагается, что распространение электроаэрозоля зависит от электростатического рассеивания и воздушного напора, создаваемого генератором, в то время как оседание электроаэрозоля определяется гравитационными силами и коагуляцией электроаэрозоля [2, 8, 13].

Таким образом, изменение количества частиц электроаэрозоля dn в некотором объеме за время dt при работе генератора можно записать в виде

$$\frac{dn}{dt} = \frac{dn_{gen}}{dt} - \left(\frac{dn_e}{dt} + \frac{dn_g}{dt} + \frac{dn_a}{dt} + \frac{dn_c}{dt} \right), \quad (1)$$

где dn_{gen}/dt характеризует рост концентрации электроаэрозоля за счет активной работы генератора, оставшиеся составляющие уравнения определяют уменьшение концентрации электроаэрозоля соответственно за счет электростатического рассеяния dn_e/dt , гравитационного осаждения dn_g/dt , воздушного потока генератора dn_a/dt и коагуляции dn_c/dt .

Увеличение концентрации электроаэрозоля, связанное с работой генератора, можно записать в виде [4]

$$\frac{dn_{gen}}{dt} = \frac{Q_g}{v_k V}, \quad (2)$$

где Q_g – расход жидкости, м³/с;

v_k – объем капли электроаэрозоля, м³;

V – объем обрабатываемого помещения, м³.

Уменьшение концентрации электроаэрозоля за счет электростатического рассеяния и гравитационного осаждения можно записать в следующем виде [8]:

$$\frac{dn_e}{dt} = \frac{v_e S_2 n}{V}, \quad (3)$$

$$\frac{dn_g}{dt} = \frac{v_g S_1 n}{V}, \quad (4)$$

где v_e , v_g – соответственно скорости электростатического рассеяния и гравитационного осаждения электроаэрозоля, м/с;

S_1 – поверхность, на которой осаждаются частицы электроаэрозоля, м²;

S_2 – поверхность, на которой частицы электроаэрозоля не осаждаются, м².

Изменение концентрации электроаэрозоля за счет воздушного потока от генератора можно записать в виде [4]

$$\frac{dn_a}{dt} = \frac{Q_v n}{V}, \quad (5)$$

где Q_v – расход воздуха, м³/с.

Процесс коагуляции электроаэрозоля изучен в [8]

$$\frac{dn_c}{dt} = 8\pi D n^2 r \lambda, \quad (6)$$

где $D = \frac{kT}{6\pi\eta_v r}$;

$$\lambda = \frac{q_1 q_2}{2\varepsilon_0 r k T}$$

D – коэффициент диффузии, м²/с;

r – радиус частиц аэрозоля, м;

k – постоянная Больцмана, Дж/К;

T – температура, К;

η_v – динамическая вязкость воздуха, Н×с/м²;

q_1, q_2 – электрические заряды капель аэрозоля, Кл.

Подставляя (2)...(6) в (1)? получим

$$\frac{dn}{dt} = \frac{Q_g}{v_k V} - \left(\frac{v_e S_2 n}{V} + \frac{v_g S_1 n}{V} + \frac{Q_v n}{V} + 8\pi D n^2 r \lambda \right). \quad (7)$$

Скорости электростатического рассеяния и гравитационного осаждения электроаэрозоля v_e и v_g определим из условия равновесия действующих на частицу сил и сил сопротивления среды при стационарном движении частицы:

$$Eq = 6\pi\eta_v r v_e. \quad (8)$$

$$mg = 6\pi\eta_v r v_g. \quad (9)$$

где E – напряженность электрического поля, В/м;

m – масса аэрозольной капли, кг.

Отсюда:

$$v_g = \frac{mg}{6\pi\eta_v r} = \frac{2g\rho_g r^2}{9\eta_v}. \quad (10)$$

$$v_e = \frac{Eq}{6\pi\eta_v r}, \quad (11)$$

где ρ_g – плотность аэрозольной частицы, кг/м³.

Напряженность электрического поля найдем из уравнения Пуассона. Для сферической системы координат уравнение Пуассона имеет решение [2]

$$\frac{\partial E}{\partial R} + \frac{2E}{R} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}, \quad (12)$$

где R – радиус электроаэрозольной сферы, м;

ρ – объемный заряд аэрозоля, Кл/м³;

ε_0 – электрическая постоянная, Ф/м.

С учетом, что $\rho = qnV$, получим

$$\frac{\partial E}{\partial R} + \frac{2E}{R} = \frac{qnV}{\varepsilon_0} = \frac{\Sigma q}{4/3\pi R^3}. \quad (13)$$

Интегрируя уравнение (13) при граничных условиях $R = 0$, $E = 0$, получим:

$$E = \frac{\Sigma q}{4\pi\varepsilon_0 R^2} = \frac{qnV}{4\pi\varepsilon_0 R^2}. \quad (14)$$

Подставляя (10, 11) с учетом (14) в (6), получим:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{Q_g}{v_k V} - \left(\frac{1}{24} \frac{q^2 n^2}{\varepsilon_0 \pi \eta_v r} + \frac{mgS_1 n}{6\pi \eta_v r V} + \frac{Q_v n}{V} + 8\pi D n^2 r \lambda \right). \quad (15)$$

Пренебрегаем гравитационным осаждением на стадии образования и расширения электроаэрозольной сферы для упрощения моделирования. Принимая $V = 4/3\pi R^3$, получим:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{3Q_g}{4v_k \pi R^3} - \left(\frac{1}{24} \frac{q^2 n^2}{\varepsilon_0 \pi \eta_v r} + \frac{3Q_v n}{4\pi R^3} + 8\pi D n^2 r \lambda \right). \quad (16)$$

При прекращении работы генератора электрически заряженный аэрозоль распространяется внутри помещения под действием физического воздействия (электростатического рассеяния и конвективных потоков воздуха).

Учитывая кратность воздухообмена K_v , которую можно заменить Q_v/V , и подставив в уравнение (15), и приняв $Q_g = 0$, то получим уравнение изменения концентрации. Имеет вид

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{1}{24} \frac{q^2 n^2}{\varepsilon_0 \pi \eta_v r} - \frac{mgS_1 n}{6\pi \eta_v r V} - K_v n - 8\pi D n^2 r \lambda. \quad (17)$$

Таким образом, получены математические модели распространения и осаждения электроаэрозольного облака в закрытом помещении.

Результаты исследований. Уравнения (16) и (17), которые описывают этапы образования и распространения электроаэрозольной сферы внутри помещения и ее осаждение, были решены с использованием численных методов.

Моделирование результатов представлено на рисунках 1 и 2.

Значительное увеличение концентрации электроаэрозоля начинается сразу после запуска генератора и быстро достигает своего максимума в течение 5–10 секунд (рис. 1). На увеличение концентрации электроаэрозоля оказывает влияние работа электроаэрозольного генератора. Наибольшая концентрация электроаэрозоля достигается при низких значениях напряжения зарядки электроаэрозоля на генераторе и небольшом объеме жидкости. Это связано с меньшим влиянием электростатического рассеивания при малых расходах жидкости.

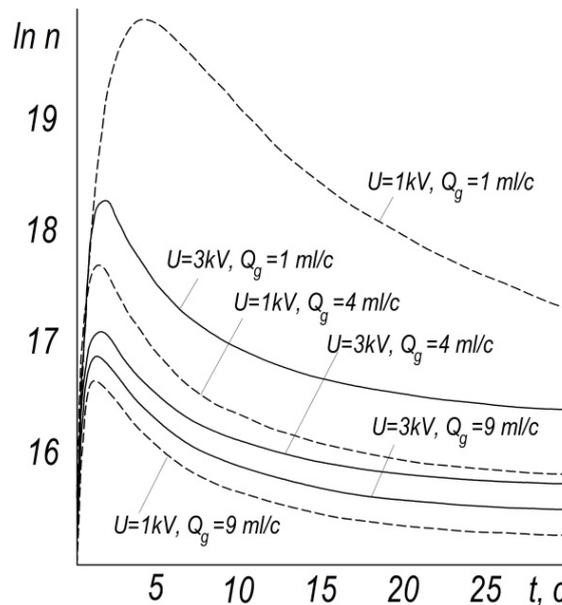


Рисунок 1 – Зависимость $\ln n$ от времени t при разных расходах жидкости Q_g и напряжениях U при расширении электроаэрозольного облака

Впоследствии, по мере распространения электроаэрозоля внутри помещения, количество аэрозольных частиц сокращается под воздействием электростатического отталкивания и коагуля-

ции. Если производительность генератора и значения напряжения зарядки аэрозоля низкие, его концентрация будет наиболее высокой. В дальнейшем увеличение напряжения зарядки приводит к увеличению заряда на каплях электроаэрозоля и, следовательно, к усилению влияния электростатического отталкивания и уменьшению концентрации электроаэрозоля в помещении.

Таким образом, изучение рисунка 1 показывает, что изменение напряжения зарядки позволяет контролировать изменение концентрации электроаэрозоля в широком диапазоне.

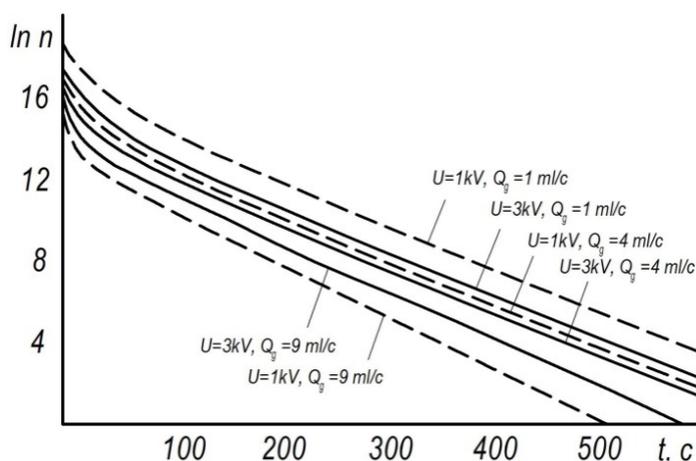


Рисунок 2 – Зависимость $\ln n$ от времени t при разных расходах жидкости Q_g и напряжениях U при осаждении электроаэрозоля

После выключения генератора концентрация электроаэрозоля снижается практически до нуля из-за электростатического отталкивания и гравитационного оседания (рис. 2). При этом концентрация высокозаряженного электроаэрозоля уменьшается быстрее, чем низкозаряженного.

Анализ уравнений (16) и (17) показывает, что коагуляция имеет значительное влияние при сильно полидисперсном и биполярно заряженном аэрозоле.

Выводы и рекомендации. Была предложена упрощенная математическая модель для описания процесса распространения и оседания электроаэрозоля в больших закрытых помещениях. Эта модель учитывает технические параметры электроаэрозольного генератора, такие, как его производительность и расход воздуха, а также напряжение зарядки. Кроме того, она принимает во внимание факторы, влияющие на распределение электроаэрозоля по помещению, такие, как электростатическое отталкивание, гравитационное оседание и коагуляция.

Согласно анализу математической модели, наибольший вклад в увеличение концентрации электроаэрозоля вносит производительность генератора и уровень зарядки аэрозоля. Установлено, что с помощью изменения напряжения зарядки электроаэрозоля можно контролировать его концентрацию в широком диапазоне, что обеспечивает гибкость управления процессом электроаэрозольной обработки помещения. В будущих моделях электроаэрозольных обработок также необходимо учитывать влияние конвекционных потоков, формируемых системами вентиляции сельскохозяйственных помещений.

Список литературы

1. Бородин, И. Ф. Исследование распространения электроаэрозоля в крупногабаритных животноводческих помещениях / И. Ф. Бородин, П. Л. Лекомцев // Доклады РАСХН. – 2006. – № 4. – С. 53–55.
2. Основы электрогазодинамики дисперсных систем / И. П. Верещагин, В. И. Левитов, Г. З. Мирзабекян, М. М. Пашин. – Москва: Энергия, 1974. – 480 с.
3. Дондоков, Д. Д. Осаждение заряженного аэрозоля в закрытом помещении с учетом его воздухообмена / Д. Д. Дондоков, Л. И. Эрдынеева // Вестник Бурятского государственного университета. – 2011. – № 9. – С. 253–257.
4. Лекомцев, П. Л. Электроаэрозольные технологии в сельском хозяйстве: моногр. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2006. – 219 с.
5. Полянинов, В. Ю. Аэрозольная дезинфекция помещений животноводческих и птицеводческих комплексов / В. Ю. Полянинов // Главный зоотехник. – 2006. – № 6. – С. 55–58.
6. Распределение заряженных частиц, создаваемых генератором электроаэрозолей / А. В. Савушкин, П. Л. Лекомцев, Е. В. Дресвянникова, Л. А. Пантелеева // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 3 (52). – С. 48–54.
7. Дезинфекция помещений с помощью аэрозолей электроактивированных растворов / Е. Н. Свентицкий, Е. В. Черняева, Т. С. Егорова [и др.] // Медицина экстремальных ситуаций. – 2011. – № 4 (38). – С. 85–90.
8. Фукс, Н. А. Механика аэрозолей / Н. А. Фукс. – Москва: Изд-во академии наук СССР, 1955. – 351 с.
9. Anand, S. Survival of aerosol particles in a puff with spatially inhomogeneous size spectrum / S. Anand, T. Sarkar, Y. S. Mayya // Journal of Aerosol Science. – 2018. – Vol. 123. – P. 116–121. – DOI 10.1016/j.jaerosci.2018.06.004.
10. Лекомцев, П. Л. Электроаэрозольные генераторы для ветеринарной практики / П. Л. Лекомцев // Актуальные вопросы зооветеринарной науки: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию доктора ветеринарных наук, про-

фессора, почетного работника ВПО РФ, ветерана труда Новых Николая Николаевича, Ижевск, 15 мая 2019 г. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2019. – С. 51–54.

11. Lekomtsev P. L. Study of aerosol charging in electro-aerosol generator / P. L. Lekomtsev, A. V. Savushkin, E. V. Dresviannikova, A. M. Niyazov // Journal of applied engineering sciences – 2017. – Vol 7 (20). – pp. 69–77.

12. Aerosol removal by unipolar ionization in indoor environments / Y. S. Mayya, B. K. Sapra, A. Khan, F. Sunny // Journal of Aerosol Science. – 2004. – Vol. 35, No. 8. – P. 923–941. – DOI 10.1016/j.jaerosci.2004.03.001.

13. Tarasov, V. I. On the theory of bipolar charging of large aerosol particles / V. I. Tarasov, M. S. Veshchunov // Aerosol Science and Technology. – 2018. – Vol. 52, No. 7. – P. 740–747. – DOI 10.1080/02786826.2018.1455964.

УДК 631.22:697.98

**П. Л. Лекомцев, Е. В. Дресвянникова,
А. М. Ниязов, Л. Н. Прокопьев**
Удмуртский ГАУ

ОБЕСПЫЛИВАНИЕ ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АЭРОЗОЛЕЙ

В исследовании разработана математическая модель обеспыливания воздуха в животноводческих помещениях, основанная на электроаэрозольной обработке. Было установлено, что изменение концентрации пыли зависит исключительно от высоты помещения. Концентрация пыли снижается за счет электростатического притяжения между частицами электроаэрозоля и пыли. Самые высокие объемы производимого аэрозоля и значения напряжения зарядки обеспечивают максимальное снижение концентрации пыли. В частности, уменьшение концентрации в четыре раза достигается при расходе генератора в 1 мл/с и напряжении зарядки в 1 кВ и занимает около 3,5 минут.

Актуальность. В современном животноводстве существует тенденция к образованию большого количества пыли в воздухе, вызванного различными технологическими процессами. Эта пыль состоит из механических взвешенных частиц, и ее основная часть имеет органическое происхождение. Такая пыль является благоприятной средой для развития различных бактерий, грибков, спор и других микроорганизмов, которые могут представлять опасность для здоровья животных и людей, работающих на фермах. Попадая в воздух, эта пыль может способствовать распространению инфекционных и респираторных болезней.

Материалы и методика. В связи с этим важным направлением является изучение методов очистки воздуха от пыли с помощью электроаэрозольной обработки [1].

Процесс уменьшения количества пыли в воздухе с помощью электроаэрозолей включает два взаимосвязанных этапа: объединение пылевых и водяных частиц и опускание образованных комплексов под воздействием гравитационных и электрических сил.

На каждый квадратный метр помещения S за время dt осажается определенное количество капель, которое равно $Sn \overleftrightarrow{v}_{oc} dt$. С учетом объема помещения V можно записать:

$$dn = - \frac{S n v_{oc}}{V} dt \quad (1)$$

или

$$\frac{dn}{dt} = - \frac{S n v_{oc}}{V}, \quad (2)$$

где S – площадь помещения, м²;

n – концентрация электроаэрозоля, м⁻³;

v_{oc} – скорость осаждения, м/с;

V – объем помещения, м³.

Интегрируя (2) при начальных условиях $t = 0, n = n_0$, получим

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{S v_{oc}}{V} t\right). \quad (3)$$

Уменьшение количества пыли в воздухе будет прямо пропорционально скорости коагуляции пыли с каплями электроаэрозоля.

$$\frac{dn_p}{dt} = - K n n_p. \quad (4)$$

где n_p – концентрация частиц пыли, м⁻³;

K – коэффициент коагуляции, м³/с.

С учетом (3) получим:

$$\frac{dn_p}{dt} = - K n_0 n_p \exp\left(-\frac{S v_{oc}}{V} t\right). \quad (5)$$

Проинтегрировав (5), получим:

$$\ln n_p = \frac{KV}{Sv_{oc}} n_0 \exp\left(-\frac{Sv_{oc}}{V} t\right) + C. \quad (6)$$

Постоянную C найдем при условии $t = 0, n_p = n_{p0}$

$$\ln n_p = \frac{KV}{Sv_{oc}} n_0 + C, \quad (7)$$

откуда

$$C = \ln n_p - \frac{KV}{Sv_{oc}} n_0. \quad (8)$$

Подставив значение C в (6) и проведя преобразования, получим:

$$n_p = n_{p0} \exp\left\{\frac{KV}{Sv_{oc}} n_0 \left[1 - \exp\left(\frac{Sv_{oc}}{V} t\right)\right]\right\}. \quad (9)$$

Обозначив высоту помещения через h , получим:

$$n_p = n_{p0} \exp\left\{\frac{Kh}{v_{oc}} n_0 \left[1 - \exp\left(\frac{v_{oc}}{h} t\right)\right]\right\}. \quad (10)$$

Из уравнения (8) видно, что изменение количества пыли в помещении зависит только от ее высоты h .

Коэффициент коагуляции зависит от характеристик водяного и пылевого аэрозоля и характера их перемещения. Если не учитывать турбулентную коагуляцию, получим:

$$K = K_{\kappa} + K_{\sigma}, \quad (11)$$

где K_{κ} – коэффициент кинетической коагуляции, $\text{м}^3/\text{с}$;

K_{σ} – коэффициент электростатической коагуляции, $\text{м}^3/\text{с}$.

Коэффициент кинетической коагуляции равен [2]:

$$K_{\kappa} = \pi r^2 \frac{r_d}{r} v = \pi r r_p v, \quad (12)$$

где r_p – размер частиц пыли, м;

v – относительная скорость движения капель электроаэрозоля и частиц пыли, м/с.

Коэффициент электростатической коагуляции выражается зависимостью [3]:

$$K_3 = 1,512\pi \left(\frac{r_p^2 q^2}{\rho_p g(r^2 - r_p^2)} \right)^{2/5} v, \quad (13)$$

где ρ_p – плотность частиц пыли, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Таким образом, коэффициент коагуляции равен:

$$K = \pi v \left[r r_p + 1,512 \left(\frac{r_p^2 q^2}{\rho_p g(r^2 - r_p^2)} \right)^{2/5} \right]. \quad (14)$$

Подставив (12) в (8) и приняв $v = v_{oc}$ получим выражение изменения концентрации пыли в воздухе помещения при электроаэрозольной обработке.

$$n_p = n_{p0} \exp \left\{ \pi h n_0 \left(r r_p + 1,512 \left(\frac{r_p^2 q^2}{\rho_p g(r^2 - r_p^2)} \right)^{2/5} \right) \left[1 - \exp \left(\frac{v_{oc} t}{h} \right) \right] \right\}. \quad (15)$$

Результаты исследований. Изменение концентрации пыли, рассчитанное по выражению (13), представлено на рисунке 1.

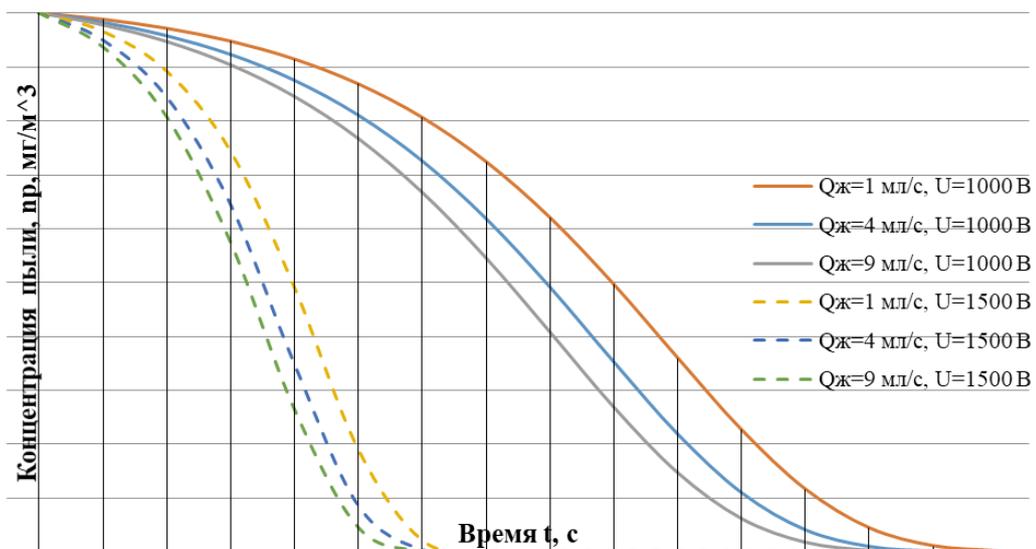


Рисунок 1 – Зависимость концентрации пыли n_d от времени t при разных напряжениях U и расходах жидкости $Q_{жс}$

Рисунок 1 иллюстрирует результаты, полученные для предполагаемой высоты помещения $h = 6$ метров. Заметно, что концентрация пыли в комнате при электроаэрозольной обработке снижается практически до нуля. Наибольшая скорость снижения концентрации пыли наблюдается при высоких расходах жидкости и высоких уровнях зарядки. С увеличением расхода жидкости растет концентрация капель электроаэрозоля, которая в свою очередь ведет к усилению коагуляции водяных капель и пыли.

Повышение напряжения зарядки способствует усилению электростатической коагуляции, что в свою очередь способствует быстрому уменьшению концентрации пыли в помещении.

Расчеты показали, что по мере увеличения высоты помещения графики сдвигаются вправо, то есть время, необходимое для очищения помещения от пыли, увеличивается. Размеры частиц пыли и ее плотность не оказывают заметного воздействия на скорость снижения концентрации пыли.

Выводы и рекомендации. Была создана математическая модель для удаления пыли из воздуха в животноводческих помещениях. Установлено, что изменение концентрации пыли в помещении зависит исключительно от его высоты.

Концентрация пыли в помещении снижается благодаря электростатическому притяжению между частицами электроаэрозоля и пылью. Максимальное снижение концентрации пыли происходит при более высоких объемах производимого аэрозоля и высоких значениях напряжения зарядки.

Уменьшение концентрации пыли в четыре раза при объеме производимого аэрозоля 1 мл/с и зарядном напряжении 1 кВ занимает 3,5 минуты.

Список литературы

1. Лекомцев, П. Л. Электроаэрозольное обеспыливание воздуха помещений / П. Л. Лекомцев, Е. В. Дресвянникова, А. М. Ниязов // Инновационные направления развития энергетики АПК: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящённой 40-летию факультета энергетики и электрификации, Ижевск, 25 октября 2017 г. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2017. – С. 72–76.
2. Лекомцев, П. Л. Математическое моделирование процесса обеспыливания воздуха помещений / П. Л. Лекомцев, Е. В. Дресвянникова // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2007. – № 3 (13). – С. 17–19.
3. Шавкунов, М. Л. Математическое моделирование движения заряженной частицы в электромагнитном поле / М. Л. Шавкунов, П. Л. Лекомцев // Инно-

вационные технологии для реализации программы научно-технического развития сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 томах, Ижевск, 13–16 февр. 2018 г. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2018. – С. 99–101.

4. Лекомцев, П. Л. Электроаэрозольные технологии в сельском хозяйстве: моногр. / П. Л. Лекомцев. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2006. – 219 с. – ISBN 5-9620-0070-6.

УДК 631.348:632.934.1

**П. Л. Лекомцев, Е. В. Дресвянникова,
А. М. Ниязов, Л. Н. Прокопьев**
Удмуртский ГАУ

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЬНОГО МЕТОДА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ВНЕКОРНЕВОГО УДОБРЕНИЯ РАСТЕНИЙ

Исследуется тема защиты растений с помощью электроаэрозолей химических препаратов. Представлены общие принципы проникновения электроаэрозольного потока в слой растений и процесса осаждения частиц электроаэрозоля на элементах растений, а также оценки глубины проникновения электроаэрозольного потока в растительный слой и степени осаждения электроаэрозоля на защищаемых растениях.

Актуальность. Методы защиты растений в условиях закрытого грунта часто включают обработку аэрозольными препаратами [1, 3, 4].

При обработке растений некоторые мелкие частицы аэрозоля надолго остаются в воздухе и уничтожают летающих вредителей, таких, как белокрылки, минирующие мухи, флоридские мухи и плодовые комарики. Это обеспечивает наличие активной газовой фазы, что повышает токсичность препаратов. Более крупные частицы обеспечивают покрытие листвы препаратом и продолжительность его действия.

Материалы и методика. При использовании незаряженного водного аэрозоля его стабильность, видимость и способность оставаться во взвешенном состоянии возрастают при уменьшении температуры в теплице. Эффективность препаратов повышается с увеличением влажности воздуха [3, 4]. Если влажность воз-

духа ниже 60 %, капельки водного тумана испаряются на расстоянии нескольких метров от места распыления. Поэтому рекомендуется использовать незаряженный аэрозоль при низких температурах (менее 15 °С) и максимально возможной влажности воздуха (более 80 %).

В отличие от традиционных методик опрыскивания применение растворов химических препаратов с последующим зарядом в электрическом поле имеет ряд преимуществ. Среди них: равномерное распределение препаратов по растениям, обработка как наружной, так и внутренней поверхности листьев, уменьшение временных и трудовых затрат на обработку, снижение расхода препаратов, возможность распыления при высоких температурах и пониженной влажности [4–7].

Эффективность обработки зависит от степени осаждения частиц электроаэрозоля на растениях и от глубины проникновения электроаэрозоля в слой растений.

Процессы рассеивания электроаэрозолей в растительной среде весьма сложны, поскольку структура самой растительности оказывает влияние на конфигурацию электрического поля. Также процесс осаждения капель электроаэрозоля зависит от скорости воздушного потока и характера его движения, начальной концентрации электроаэрозоля, степени шероховатости поверхности растений и так далее.

Существуют два основных варианта размещения генераторов электроаэрозолей в помещениях защищенного грунта: 1) на передней части вблизи растений и 2) поверх растительного слоя. Рассмотрим оба этих варианта размещения генераторов.

Результаты исследований. Если генераторы расположены на передней части, электроаэрозольный поток проникает в растительный слой благодаря первоначальному импульсу скорости и воздушному потоку в виде турбулентной струи [3]. Количество движения во входящей струе остается постоянным.

$$M_o = const. \quad (1)$$

В полупроницаемом слое происходит уменьшение количества движения струи. Принято считать, что уменьшение количества движения в маленьком элементе слоя пропорционально объему этого элемента и равно $\Delta V \xi \rho_e v^2$, где ξ – значение, постоянное для всего слоя и определяющее степень его проницаемости, m^{-1} .

Уменьшение количества движения струи на отрезке длиной dx

$$dM = - \xi M dx. \quad (2)$$

Проинтегрировав (2) при условии $x = x_1$ и $M = M_0$ получим:

$$M(x) = M_0 \exp[- \xi(x - x_1)], \quad (3)$$

где x_1 – расстояние от генератора до полупроницаемого слоя, м.

Количество движения в набегающей струе найдем по выражению

$$M_0 = \pi \rho_\epsilon r_0^2 v_0^2, \quad (4)$$

где r_0 – радиус выходного отверстия генератора, м;

v_0 – средняя скорость воздуха в выходном отверстии генератора, м/с.

Полученные зависимости (3) демонстрируют, что уменьшение количества движения зависит исключительно от начальной скорости струи и проницаемости слоя растений (рис. 1). Графики получены при размещении генератора на расстоянии 1 метра от слоя растений. Значение заряда капель электроаэрозоля оказывает незначительное воздействие на глубину проникновения. По графикам видно, что глубина проникновения струи в слой растений уменьшается при снижении ее проницаемости. Глубина проникновения при начальной скорости аэрозоля 120 м/с составляет 8...10 м.

Для определения скорости турбулентного потока в слое растений примем, что из-за непрерывности течения струи в струе, проходящей через полупроницаемую преграду, сохраняется подобие профилей скоростей, как и в невозмущенном потоке, и что эти профили соответствуют уравнению профиля основного участка невозмущенного потока.

Скорость на основной оси незаряженной струи определяется формулой Толмина [2]:

$$v_m = \frac{0,96 v_0 r_0}{a x}, \quad (5)$$

где a – константа, зависящая от структуры потока в начальном сечении и имеющая величину порядка 0,07...0,08.

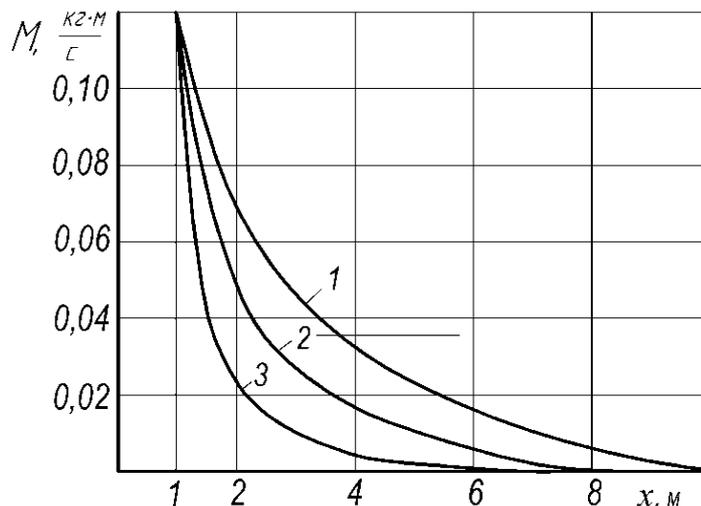


Рисунок 1 – Зависимость количества движения M от глубины растительного слоя x при разной степени проницаемости ζ :
1 – $\zeta = 0,4$; 2 – $\zeta = 0,6$; 3 – $\zeta = 0,8$

При зарядке аэрозоля к основной скорости движения потока добавляется скорость электростатического рассеивания электроаэрозоля. Формула для скорости движения электроаэрозоля получена в виде

$$v_{me} = \frac{0,96\eta_e r v_0 r_0 + 0,053E q a x}{\eta_e r a x}, \quad (6)$$

где η_e – динамическая вязкость воздуха, $\text{Н}\times\text{с}/\text{м}^2$;

r – радиус капле электроаэрозоля, м;

E – напряженность электрического поля генератора, В/м;

q – электрический заряд капле электроаэрозоля, Кл.

Расчётные зависимости, полученные по формуле (6), представлены на рисунке 2. Как видно из рисунка 2, скорость турбулентного аэрозольного потока существенно снижается при движении в глубь слоя растений.

Это происходит из-за сопротивления воздуха движению частиц аэрозоля. Но скорость заряженного аэрозоля уменьшается по сравнению со скоростью незаряженного аэрозоля из-за действия сил электростатического рассеивания.

Расстояние до границы струи аэрозоля от ее оси определяется выражением

$$L = 3,4 a x. \quad (7)$$

С учетом электростатического рассеяния

$$L_e = 3,4 a x + \frac{0,18E q a^2 x^2}{\eta_e r v_0 r_0}. \quad (8)$$

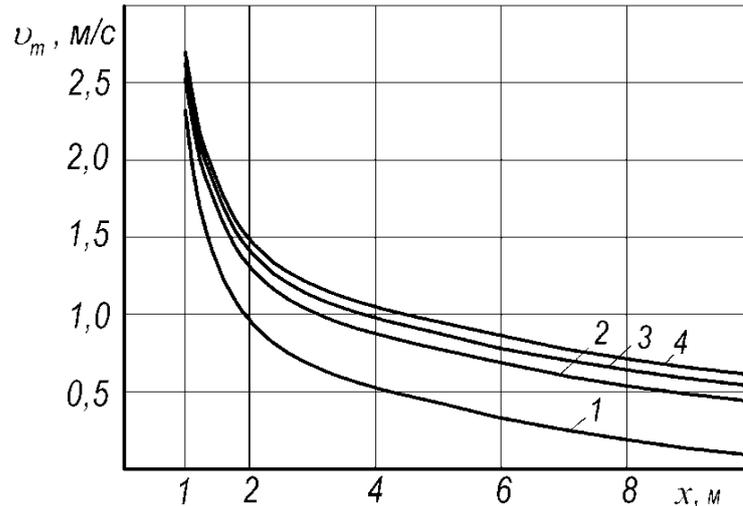


Рисунок 2 – Зависимость скорости турбулентной струи v_m от глубины растительного слоя x при разном напряжении U :
1 – $U = 0$; 2 – $U = 1$ кВ; 3 – $U = 1,2$ кВ; 4 – $U = 1,5$ кВ

Расчётные зависимости, полученные с помощью формулы (8), показаны на рисунке 3. Как можно заметить на рисунке 3, при одинаковой глубине проникновения радиус потока электроаэрозоля в 1,5–2 раза превышает радиус потока незаряженного аэрозоля. Это говорит о том, что при равных условиях использование электроаэрозоля позволяет обработать больший объём растительного материала.

Соотношение расстояний до границ струи заряженного и незаряженного аэрозолей можно определить по выражению (9) и отражено на рисунке 4.

$$\frac{L_e}{L} = 1 + \frac{0,55E q a x}{\eta_e r v_0 r_0}. \quad (9)$$

Так, на расстоянии 6 м от генератора это соотношение составляет 1,6...2,2. Таким образом, при обработке растений заряженным аэрозолем, по сравнению с незаряженным, зона обработки увеличивается.

В общем случае можно заключить, что применение электроаэрозолей увеличивает ширину обрабатываемого слоя растений в 1.5...2 раза по сравнению с незаряженными аэрозолями. Однако глубина проникновения электроаэрозоля в слой растительности не превышает 8...10 метров. Это требует установки генераторов через каждые 20 метров, что может быть экономически нецелесообразным в больших теплицах. Либо необходимо создать мобильную электроаэрозольную установку, что предполагает дополнительные затраты.

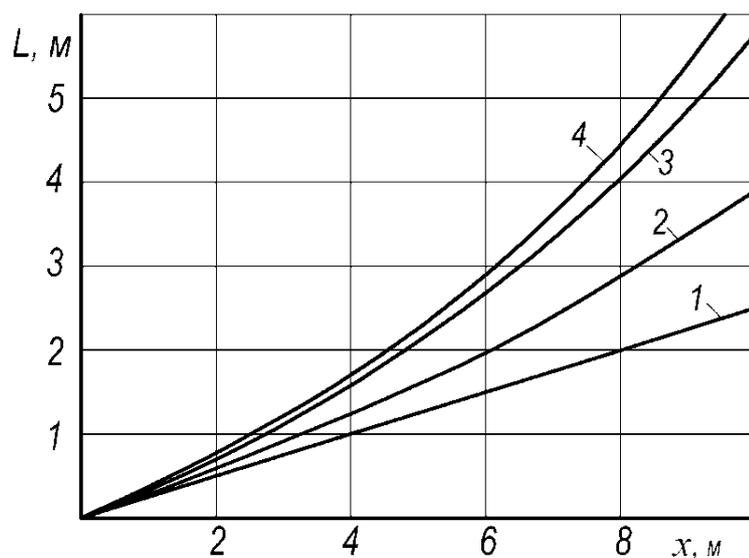


Рисунок 3 – Зависимость расстояния до границ струи L от длины струи x при разном напряжении U :
 1 – $U = 0$; 2 – $U = 1$ кВ; 3 – $U = 1,2$ кВ; 4 – $U = 1,5$ кВ

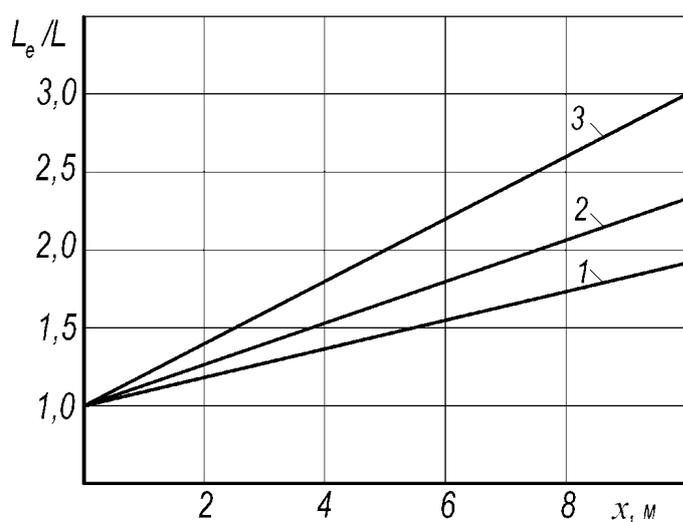


Рисунок 4 – Зависимость соотношения до границ струи заряженного и незаряженного аэрозоля от длины струи x при разном напряжении U :
 1 – $U = 1$ кВ; 2 – $U = 1,2$ кВ; 3 – $U = 1,5$ кВ

Выводы и рекомендации:

1. Были разработаны математические модели, описывающие распространение электроаэрозоля в слое растительности при двух возможных вариантах размещения генераторов.

2. Было установлено, что уменьшение количества движения электроаэрозольного потока в растительном материале при фронтальном размещении генераторов зависит только от начальной скорости потока и проницаемости слоя растительности. Глубина проникновения потока при исходной скорости аэрозоля 120 м/с составляет 8–10 метров.

3. Если говорить об одинаковой глубине проникновения электроаэрозоля и незаряженного аэрозоля в слой растительности, то радиус электроаэрозольного облака в 1,5–1,7 раза больше, чем у обычного аэрозольного облака. Это обеспечивает увеличение ширины обрабатываемой зоны растений в 1,5–2 раза по сравнению с применением обычного аэрозоля.

Список литературы

1. Лекомцев, П. Л. Осаждение электроаэрозольной струи в растительном слое / П. Л. Лекомцев, А. М. Ниязов, Е. В. Дресвянникова // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 6 (57). – С. 21.

2. Дунский, В. Ф. Монодисперсные аэрозоли / В. Ф. Дунский, Н. В. Никитин, М. С. Соколов. – Москва: Наука, 1973. – 191 с.

3. Патент № 2378832 С1 Российская Федерация, МПК А01N 39/02, А01N 25/02, А01M 7/00. Способ уменьшения сноса аэрозоля при распылении пестицидов и средств для защиты растений: № 2008147644/15: заявл. 03.05.2007 : опубл. 20.01.2010 / Р. К. Манн, Д. Л. Вэлкор, Р. Е. Баучер [и др.]; заявитель ДАУ АГРОСАЙЕНСИЗ ЛЛС.

4. Лекомцев, П. Л. Электроаэрозольные технологии в сельском хозяйстве: моногр. / П. Л. Лекомцев. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2006. – 219 с. – ISBN 5-9620-0070-6.

5. Лекомцев, П. Л. Расчет конвекционного тока механического электроаэрозольного генератора / П. Л. Лекомцев, Е. В. Дресвянникова // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 4 (38). – С. 124.

6. Study of aerosol charging in electro-aerosol generator / P. L. Lekomtsev, A. V. Savushkin, E. V. Dresvyannikova, A. M. Niyazov // Journal of Applied Engineering Sciences. – 2017. – Vol. 7, No. 2 (20). – P. 69–77.

7. Электроаэрозольное увлажнение воздуха. Особенности подбора параметров работы генератора / А. В. Савушкин, П. Л. Лекомцев, Е. В. Дресвянникова, А. М. Ниязов // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 2 (20). – С. 672–675.

8. Tarasov, V. I. On the theory of bipolar charging of large aerosol particles / V. I. Tarasov, M. S. Veshchunov // *Aerosol Science and Technology*. – 2018. – Vol. 52, No. 7. – P. 740–747. – DOI 10.1080/02786826.2018.1455964.

9. Лекомцев, П. Л. Расчет расположения электроаэрозольных генераторов / П. Л. Лекомцев // *Инновационные технологии для реализации программы научно-технического развития сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. в 3 т., Ижевск, 13–16 февраля 2018 г.* – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2018. – С. 57–60.

УДК 631.371:621.313.12:544.772

П. Л. Лекомцев, Е. В. Дресвянникова, А. М. Ниязов
Удмуртский ГАУ

ПРОЦЕСС ЗАРЯДКИ АЭРОЗОЛЯ В ГЕНЕРАТОРЕ

Получена упрощенная математическая модель генерации электроаэрозоля. Приведены теоретические и экспериментальные зависимости конвекционного тока от параметров работы генератора. Качественное изменение формы аэрозольного облака при наличии электрического заряда обусловлено воздействием высокого напряжения на процесс зарядки. Заряженное облако по сравнению с незаряженным отличается более высокой скоростью распространения в пространстве, равномерностью распределения в объеме. Непосредственно рассматривается процесс генерации, а также основные вопросы, касающиеся генерации электроаэрозоля, влияние электрического поля на процесс распада капли, косвенно рассмотрено влияние скорости подачи воздуха на распад струи.

Актуальность. Использование заряженных аэрозолей в сельском хозяйстве позволяет качественно улучшить технологию ветеринарных и агротехнических обработок. В электрически заряженном аэрозоле, по сравнению с незаряженным, возникают дополнительные силы взаимодействия частиц – электростатического рассеивания и зеркального отображения. Электрические силы действуют по всем направлениям, что способствует выравниванию концентрации по объему помещения при одновременном увеличении скорости осаждения аэрозоля. Направление и величина сил зависят от размера, величины и полярности заряда, концентрации частиц и объема обработки, что открывает новые возможности для управления процессами распространения и осаждения электроаэрозоля [1, 4, 3, 6, 8, 11, 13]. Однако недостаточное развитие научной базы инженерного расчета и проектирования электро-

аэрозольных генераторов сдерживает широкое применение метода в сельском хозяйстве.

Цель исследования состоит в разработке математической модели генерации электроаэрозоля.

Задачи исследований. Получить математическое выражение для расчета конвекционного тока электроаэрозольного генератора с учетом зарядки в электрическом поле вытянутой жидкой нити. Экспериментально подтвердить полученную модель.

Материалы и методы. Математические методы расчета. Экспериментальные исследования.

Результаты исследований. Процесс образования электрически заряженного аэрозоля состоит в формировании специальными устройствами пленки жидкости с последующей ее зарядкой и распадом в электрическом поле на отдельные заряженные капли.

При распылении жидкостей механическими генераторами на кромке диска образуется жидкий тор, из которого вытягиваются отдельные нити [5, 10]. На некотором расстоянии от кромки диска эти нити распадаются на однородные по размерам капли.

Электрически заряженные капли, двигаясь в электрическом поле и воздушном потоке генератора, создают ток переноса электрических зарядов – конвекционный ток. Конвекционный ток – одна из основных характеристик процесса генерации электроаэрозоля, которая определяет эффективность электризации аэрозольных частиц и степень их дробления.

В движущейся среде полный ток сквозь некоторую поверхность можно записать как

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{d\sigma_s S}{dt} = \sigma_s \frac{dS}{dt} + S \frac{d\sigma_s}{dt}, \quad (1)$$

где σ_s – плотность заряда на поверхности S , Кл/м².

В выражении (1) произведение $\sigma_s \frac{dS}{dt}$ характеризует макродвижение поверхностных зарядов, т.е. конвекционный ток, причем dS/dt представляет скорость образования новой поверхности, например, в виде пленки, нитей или отдельных капель. Величина $d\sigma_s/dt$ – скорость изменения плотности зарядов на поверхности S – определяет ток проводимости или ток смещения в среде. Таким образом, конвекционный ток определяется лишь первым слагаемым, стоящим в правой части уравнения (1).

Таким образом, можно записать

$$I_k = \sigma_s \frac{dS}{dt}. \quad (2)$$

Рассмотрим модель генерации электроаэрозоля при следующих допущениях: полагаем, что жидкая нить является цилиндром длиной l , диаметр которого уменьшается от кромки отверстия к его периферии (рис. 1); цилиндр заряжается в равномерном поле напряженностью E ; ось цилиндра может быть направлена вдоль поля или перпендикулярно E ; контактным сопротивлением нити пренебрегаем, поверхностную проводимость принимаем равной 0; цилиндр аппроксимируем вытянутой полусферой.

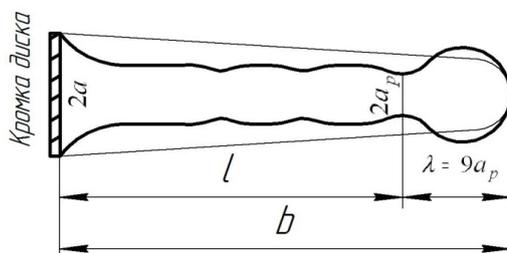


Рисунок 1 – Схема жидкой нити

Электрическое поле генератора, в отсутствие объемного заряда, полностью определяется выбранной системой электродов и формой напряжения.

Объемный заряд, возникающий в окружающем пространстве при генерации электроаэрозоля, искажает электрическое поле в зоне зарядки капель, оказывая тем самым запирающее действие на конвекционный ток, снижая эффективность зарядки капель.

Система исходных уравнений, описывающих электрическое поле генератора электроаэрозолей, может быть представлена в виде

$$\operatorname{div} E = \frac{\rho}{\varepsilon_0 \varepsilon}. \quad (3)$$

$$\operatorname{div} j_k = \operatorname{div}(\rho v) = \frac{\partial \rho}{\partial t}; \quad (4)$$

$$m \frac{dv}{dt} = qE + \frac{k_c}{b_r} (v - w), \quad (5)$$

где E – напряженность электрического поля генератора, В/м;

ρ – объемный заряд, Кл/м³;
 v – скорость частицы, м/с;
 q – заряд частицы, Кл;
 b_r – подвижность частицы, м²/(В×с);
 m – масса частицы, кг;
 w – скорость воздушного потока, м/с;
 k_c – коэффициент аппроксимации сопротивления среды.

Найдем распределение объемного заряда. Для стационарного процесса $\partial\rho/\partial t = 0$, тогда уравнение сохранения электрического заряда (4) для цилиндрических электродов преобразуется к виду

$$\frac{1}{R} \frac{\partial \rho v}{\partial R} = 0 \quad (6)$$

или

$$\frac{1}{R} \left(v \frac{\partial \rho}{\partial R} + \rho \frac{\partial v}{\partial R} \right) = 0, \quad (7)$$

где $u = (w + v_0) \times R_0/R$;

R_0 – радиус внутреннего электрода, м.

Решая уравнение (7), имеем

$$\frac{1}{R} \left[(w + v_0) \frac{R_0}{R} \frac{\partial \rho}{\partial R} + \rho (w + v_0) R_0 \left(-\frac{1}{R^2} \right) \right] = 0 \quad (8)$$

или

$$\frac{\partial \rho}{\partial R} = \frac{\rho}{R}. \quad (9)$$

При $\rho = \rho_0$ и $R = R_0$ получим

$$\rho = \rho_0 \frac{R_0}{R}, \quad (10)$$

где $\rho_0 = \frac{I_k}{(w + v_0)F_0}$ – начальная плотность объемного заряда, Кл/м³;

F_0 – площадь внутреннего электрода, м²;

I_k – конвекционный ток, А.

С учетом (10) уравнение (3) примет вид

$$\frac{1}{R} \frac{\partial ER}{\partial R} = \frac{\rho_0 R_0}{\varepsilon_0 \varepsilon R}. \quad (11)$$

Преобразуем выражение (11) к виду

$$\frac{1}{R} \left(R \frac{\partial E}{\partial R} + E \frac{\partial R}{\partial R} \right) = \frac{\rho_0 R_0}{\varepsilon_0 \varepsilon R}. \quad (12)$$

Решая линейное дифференциальное уравнение (12) с использованием интегрального условия $U = \int_{R_0}^R E dR$ и полагая $R_0 = R$, получим

$$E = \frac{U \varepsilon_0 \varepsilon_1 - \rho_0 [RR_1 \ln R_1/R - R_1 (R_1 - R)]}{\varepsilon_0 \varepsilon_1 R_1 \ln R_1/R}. \quad (13)$$

Для частного случая $\rho = \rho_0$

$$E = \frac{2U \varepsilon_0 \varepsilon_1 - \rho [(R_1^2 - R^2)/2 - R^2 \ln R_1/R]}{2\varepsilon_0 \varepsilon_1 R \ln R_1/R}. \quad (14)$$

где R и R_1 – соответственно радиусы генератора и потенциального электрода, м.

Из выражений (13) и (14) видно, что напряженность электрического поля генератора зависит от конфигурации электродов, приложенного напряжения и объемного заряда, возникающего при генерации электроаэрозоля.

Выражение (14) можно преобразовать к виду

$$E = \frac{2U \varepsilon_0 \varepsilon_1 - \rho \alpha'}{2\varepsilon_0 \varepsilon_1 \beta'}, \quad (15)$$

где $\alpha' = \frac{R_1^2 - R^2}{2} - R^2 \ln \frac{R_1}{R}$;

$$\beta' = R \ln \frac{R_1}{R}.$$

Из теории распада струй [7, 12] известно, что заряженная нить распадается в местах деформаций, отстающих друг от друга на расстояние, равное «длине волны» l (рис. 1).

Для маловязкой жидкости

$$\lambda = 9a_p, \quad (16)$$

где a_p – радиус струи в месте распада.

Время распада струи на капли (теоретически время увеличения амплитуды осесимметричных возмущений в e раз)

$$t = 8,5 \sqrt{\frac{\rho_{жс} a_p^3}{\alpha}}. \quad (17)$$

Радиус струи в месте распада для перфорированного диска равен [5]

$$a_p = 0,39 \left(\frac{Q_{жс} \alpha}{\rho_{жс} \omega^3 n r_1 R^{3/2}} \right)^{2/7}. \quad (18)$$

Длина нераспавшегося участка нити составляет

$$l = 0,5 R \omega^2 t^2. \quad (19)$$

Количество нитей, вытекающих с кромки отверстий генератора

$$K = \frac{2\pi r_1 n}{\lambda}. \quad (20)$$

Электрическое поле генератора оказывает электростатическое давление на жидкие струи.

Капиллярное давление заряженной капли на электроде генератора

$$P_{\alpha\vartheta} = P_\alpha - P_\vartheta. \quad (21)$$

Среднее значение электростатического давления на нити, используя выражения напряженности электрического поля на поверхности нити [9], получим в виде

$$P_\vartheta = \varepsilon_0 \beta^2 E^2 (\eta_0^2 - 1). \quad (22)$$

Капиллярное давление на поверхности незаряженной нити для случая $b \gg a$ можно записать в виде

$$P_\alpha = \alpha \frac{1}{r_1} = \frac{\alpha}{a}. \quad (23)$$

Подставляя (22) и (23) в (21), получим

$$\alpha_3 = \alpha - \varepsilon_0 a \beta^2 E^2 (\eta_0^2 - 1). \quad (24)$$

Средний радиус капли при механическом распылении перфорированным барабаном [5]

$$r = 0,74 \left(\frac{Q_{жс}}{R^{3/2} \rho_{жс} \omega^3 n r_1} \right)^{2/7} \alpha^{2/7}, \quad (25)$$

в электрическом поле с использованием (24)

$$r_3 = r - \left(\frac{\varepsilon_0 a \beta^2 E^2 r^{7/2} (\eta_0^2 - 1)}{\alpha} \right)^{2/7}, \quad (26)$$

где R – радиус барабана;

n, r_1 – соответственно число и радиус отверстий барабана.

Заряд вытянутой полусферы (рис. 1) в равномерном поле равен [9]

$$q = q_{np} (1 - \exp(-t/\tau)), \quad (27)$$

где $q_{np} = \pi a_p^2 \varepsilon_0 E \beta$, для случая $\gamma_2 \gg \gamma_1$ и $\varepsilon_1 = 1$

$$\beta = \frac{1}{(\eta_0 \operatorname{arctn} \eta_0 - 1)(\eta_0^2 - 1)};$$

$$\tau = \left[\frac{\varepsilon_2}{\gamma_2} + \frac{1}{\gamma_2 (\eta_0 \operatorname{arctn} \eta_0 - 1)(\eta_0^2 - 1)} \right] \varepsilon_0;$$

где $\eta_0 = b/c$;

$$c = \sqrt{b^2 - a_p^2};$$

t – время распада струй на капли, с;

b – длина полусферы, м;

ε_0 – электрическая постоянная, Ф/м;

E – напряженность электрического поля, В/м;

γ_1 и γ_2 – соответственно удельная объемная электропроводность воздуха и жидкости, $(\text{Ом} \times \text{м})^{-1}$;

$\varepsilon_1 \varepsilon_2$ – относительная диэлектрическая проницаемость воздуха и жидкости.

Поверхностная плотность заряда с учетом (27)

$$\sigma_s = \frac{q}{s_y} = \frac{q}{9a_p \times 2\pi a_p + 2\pi a_p^2} = \frac{q_{np} (1 - \exp(-t/\tau))}{20\pi a_p^2}. \quad (28)$$

Определим скорость образования новой цилиндрической поверхности

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d2\pi a_p l}{dt} = 2\pi a_p \frac{dl}{dt}. \quad (29)$$

С учетом (19) имеем

$$\frac{dS}{dt} = \pi a_p R \omega^2 2t. \quad (30)$$

Подставляя (17) и (18) в (30), получим

$$\frac{dS}{dt} = 1,61\pi R \omega^2 \left(\frac{\rho_{жс}}{\alpha}\right)^{1/2} \left(\frac{Q_{жс} \alpha}{\rho_{жс} \omega^3 n r_1 R^{3/2}}\right)^{5/7}. \quad (31)$$

Подставляя (31) и (28) в (2) с учетом (15) и полагая $\rho = \frac{qQ_{жс}}{Q_с}$ и $\varepsilon_1 = 1$, получим

$$I_k = \frac{2\varepsilon_0 U}{\frac{40\beta^2}{K\beta m(1 - \exp(-t/\tau))} + \frac{\alpha^2}{Q_с}}, \quad (32)$$

где $m = 1,61 \pi R \omega^2 \left(\frac{\rho_{жс}}{\alpha}\right)^{1/2} \left(\frac{Q_{жс} \alpha}{\rho_{жс} \omega^3 n r_1 R^{3/2}}\right)^{5/7}$.

Таким образом, предложена упрощенная математическая модель генерации электроаэрозоля и его основной функции – конвекционного тока.

Рассчитанные по выражению (32) зависимости и экспериментальные данные, полученные методом «большого коллектора» [8], представлены на рисунке 2.

Выводы и рекомендации. Из рисунка 2 видно, что при увеличении расхода жидкости и напряжения зарядки конвекционный ток возрастает.

Нелинейность зависимостей объясняется влиянием удельного заряда на процесс зарядки аэрозоля.

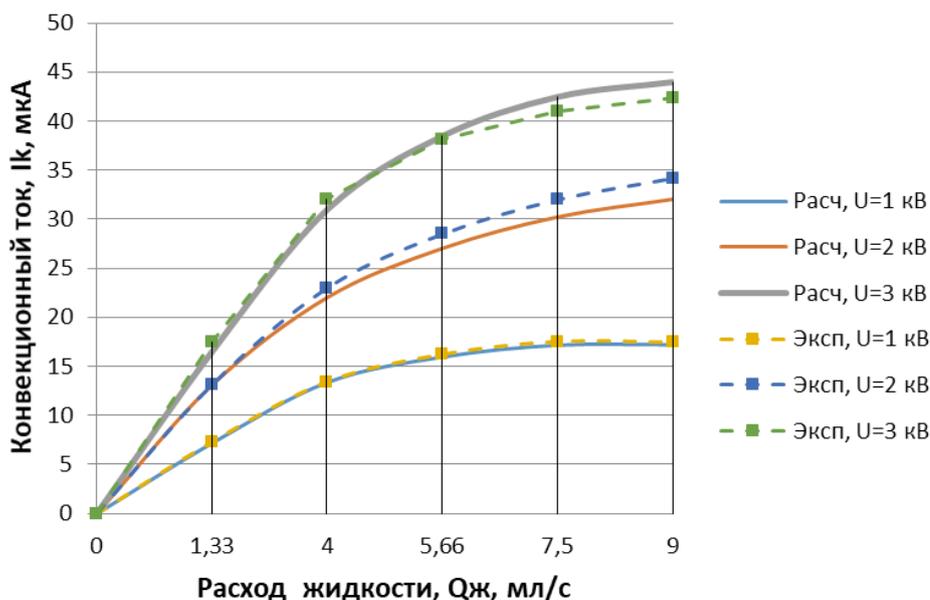


Рисунок 2 – Зависимости конвекционного тока I_k и от расхода жидкости $Q_{ж}$ при разном напряжении U

Из полученных зависимостей видно, что экспериментальные и теоретические кривые имеют хорошую сходимость, что позволяет использовать выражение (32) для расчетов параметров электроаэрозольных генераторов при их проектировании.

Список литературы

1. Бородин, И. Ф. Исследование распространения электроаэрозоля в крупногабаритных животноводческих помещениях / И. Ф. Бородин, П. Л. Лекомцев // Доклады РАСХН. – 2006. – № 4. – С. 53–55.
2. Основы электрогазодинамики дисперсных систем / И. П. Верещагин, В. И. Левитов, Г. З. Мирзабекян, М. М. Пашин. – Москва: Энергия, 1974. – 480 с.
3. Дондоков, Д. Д. Динамика осаждения униполярно заряженного аэрозоля в помещении с учетом ее герметичности / Д. Д. Дондоков, Н. В. Тумурев // Тр. ЧИМЭСХ, 1976. – Вып. 110. – С. 35–42.
4. Дунский, В. Ф. Осаждение униполярно заряженного аэрозоля в закрытом помещении / В. Ф. Дунский, А. В. Китаев // Коллоидный журнал. – 1960. – № 2. – Т. XXII.
5. Дунский В.Ф., Монодисперсные аэрозоли / В. Ф. Дунский, Н. В. Никитин, М. С. Соколов. – Москва: Наука, 1973. – 191 с.
6. Закомырдин, А. А. Дезинфекция животноводческих помещений электроаэрозолями химических средств / А. А. Закомырдин, Л. Ю. Виснапуу // Тр. ВНИИВС. – 1970. – Т. 36. – С. 227–238.
7. Левич, В. Г. Физико-химическая гидродинамика. – Москва: Физматгиз, 1958. – 560 с.

8. Лекомцев, П. Л. Электроаэрозольные технологии в сельском хозяйстве: монография. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2006. – 219 с.
9. Наизаде, А. Т. Зарядка частиц удлиненной формы на плоском электроде / А. Т. Наизаде // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1966. – № 1.
10. Hinze, Y. O. Atomization of liquids by means of a rotating cup / Y. O. Hinze, H. Milborn // J. Appl. Mech. – 1950. – vol. 17. – N 2. – p. 145–153.
11. Law, S. E. Theoretically predicted interaction of surface charge and evaporation in airborne pesticide droplets. – Trans. Of the ASAE. – 1975. – p. 35–39.
12. Weber, K. Z. Angem. Math. und Mech. – 1931. – 11. – p.136.
13. Лекомцев, П. Л. Аэрозольные технологии и возможности их применения / П. Л. Лекомцев, Е. В. Дресвянникова, Л. Н. Прокопьев // Инженерное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса России: материалы Нац. науч.-практ. конф., посвященной памяти кандидата технических наук, доцента В. А. Носкова, Ижевск, 20 декабря 2022 г. – Ижевск: УдГАУ, 2022. – С. 144–149.

УДК 621.31 (470+571)

Н. С. Максимов, С. Д. Кутузов

Удмуртский ГАУ

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РОССИИ

Рассматривается несколько ключевых проблем в области производства электроэнергии в России.

Актуальность. В современном мире энергия играет важную роль в устойчивом развитии общества. Россия, как одна из крупнейших энергетических держав, сталкивается с рядом проблем в области производства электроэнергии. Несмотря на богатые природные ресурсы, в том числе обширные запасы угля, газа и воды, в стране существует ряд проблем, которые замедляют развитие и эффективность российской энергетики.

Материалы и методика. Используются теоретические и методические основы исследований и работ.

Результаты исследований. Рассмотрим ряд проблем, которые замедляют развитие и эффективность российской энергетики.

1. Отсутствие инноваций и отставание в технологиях. Одной из основных трудностей современной России в области

производства электроэнергии является отсутствие инноваций. Недостаток инвестиций в новые технологии и исследования приводит к устареванию оборудования и методов производства, что тормозит повышение эффективности, снижение затрат и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду.

2. Экологические проблемы и устаревшие технологии. Использование старых технологий в производстве электроэнергии приводит к серьезным экологическим проблемам. Выбросы загрязняющих веществ, таких, как диоксид серы и азота, а также выбросы углерода, ухудшают качество воздуха и способствуют изменению климата. Решение этой проблемы – экологически чистые технологии, такие, как возобновляемые источники энергии, должны активно использоваться.

3. Недостаточная энергоэффективность. Энергоэффективность является важным аспектом производства электроэнергии. Отсутствие мер по снижению потерь энергии при передаче и распределении электроэнергии приводит к чрезмерному потреблению ресурсов и увеличению воздействия на окружающую среду.

4. Отсутствие конкуренции и монополизации. Ограниченная конкуренция в энергетической отрасли может привести к недостаточной эффективности и инновациям. Монополизация рынка в руках небольшого числа компаний снижает стимул к повышению и снижению цен на электроэнергию для конечных потребителей.

Выводы и рекомендации. Проведя сравнительный анализ различных проблем, определили, что проблемы производства электроэнергии в России требуют комплексного подхода и стратегических решений. Внимание следует уделять инновациям, внедрению современных технологий, повышению энергоэффективности и созданию конкурентной среды.

Список литературы

1. Проблемы современного общества. – URL: <https://blizzaro.ru/issues/problemu-sovremennogo-obshchestva/?ysclid=lpb7dwf2wt764364359>.
2. Ерлыгина, Е. Г. Экологическая устойчивость в концепции устойчивого развития / Е. Г. Ерлыгина, С. В. Штебнер // Бюллетень науки и практики. – 2022. – Т. 8, № 6. – С. 134–141. – DOI 10.33619/2414-2948/79/15.
3. Искусственный интеллект, автоматизация и будущее работы: десять задач, которые нужно решить. – URL: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/ai-automation-and-the-future-of-work-ten-things-to-solve-for>.

4. Эскерханова, Л. Т. Научные исследования и инновации / Л. Т. Эскерханова // Science Time. – 2016. – № 5 (29). – С. 769–773.

УДК 621.384.52

А. Д. Музалева, М. Л. Шавкунов, П. Л. Лекомцев
Удмуртский ГАУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОЗОНА ПРИ ЭЛЕКТРОКОРОННОМ И БАРЬЕРНОМ РАЗРЯДЕ

Проводится сравнительный анализ выделения озона при коронном и барьерном разряде. В итоге определено, что барьерный разряд наиболее эффективен в качестве озонатора.

Актуальность. В помещениях с микробной обсемененностью существует необходимость производить очистку воздуха. В этих целях наибольшую эффективность показывает озонирование [1–5].

Самый легкий способ получения озона – использование электрических разрядов (коронного и барьерного) [1–5].

Коронный разряд – это самостоятельный разряд в газе, который возникает при резко неоднородном поле у электродов с большой кривизной поверхности [1, 3, 5].

Барьерный разряд – это разряд, который возникает в газе атмосферного давления между электродами, которые разделены диэлектриком при подаче на эти электроды переменного напряжения. Данный вид разряда состоит из отдельных кратковременных микрозарядов [2].

Барьерный разряд можно классифицировать на два основных вида: поверхностный и объемный.

Поверхностный барьерный разряд возникает в том случае, если оба электрода размещаются на одной стороне диэлектрической пластины и разряд горит между электродами в газе, с другой стороны диэлектрика, но вблизи к его поверхности.

Объемный барьерный разряд же возникает в системе, которая представляет собой систему электродов. Данные электроды –

две металлические пластины или полосы, одна или обе из которых изолированы от промежутка диэлектрическим слоем и разделены разрядным промежутком [2].

Цель работы. Исследование озонвыделения при коронном и барьерном разряде (рис. 1).

Материалы и методика. При исследованиях используются следующие устройства:

1. Для получения коронного разряда используем разработанный электрофильтр.

2. Для получения барьерного разряда используем озонатор «Ozone Air Purifier HF258».

Определять концентрацию выделяемого озона будем с помощью газоанализатора «Сигнал-4Э».

Проводим предварительные замеры озона в помещении с помощью газоанализатора и получаем данные, что до обработки озон в лаборатории отсутствует.

Далее включаем исследуемое устройство и производим замеры концентрации выделяемого озона каждые 5 минут с помощью газоанализатора. Полученные данные сводим в таблицу 1.

После завершения опытов проветриваем лабораторию длительное время (не менее 24 часов) и производим повторения опыта (трехкратная повторяемость). Аналогично проводим опыты с другим устройством.

Результаты исследований. При исследовании концентрации озона, получаемого коронным разрядом, имеем следующие данные (табл. 1).

Таблица 1 – Концентрация озона при коронном разряде

Время работы установки t, мин.	Концентрация озона n, г/м ³
0	0
5	0,02
10	0,03
15	0,05
20	0,07
25	0,08
30	0,1

Концентрация озона, получаемого при исследовании озонатора «Ozone Air Purifier HF258», данные запишем в таблицу 2.

Таблица 2 – Концентрация озона при барьерном разряде

Время работы установки t, мин.	Концентрация озона n, г/м ³
0	0
5	0,07
10	1,12
15	1,46
20	1,95
25	2,45
30	2,99

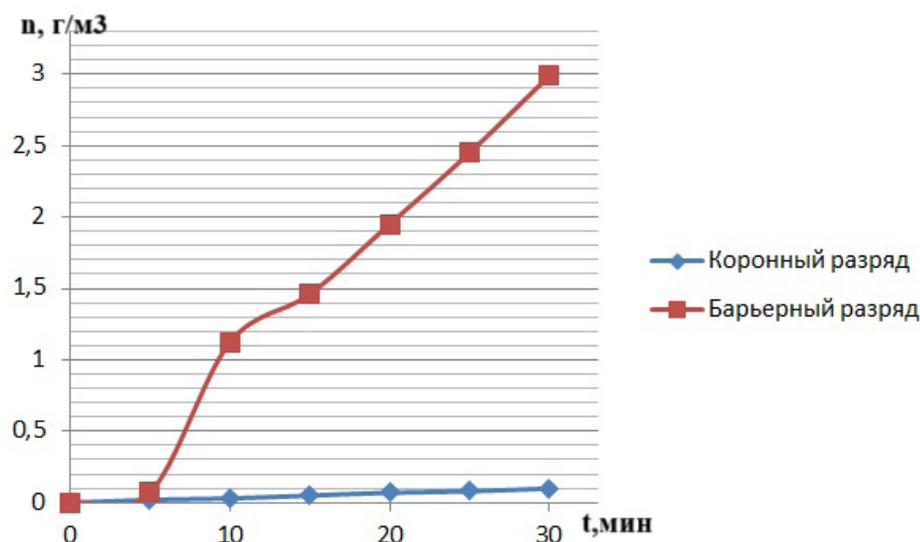


Рисунок 1 – Концентрация озона при коронном и барьерном разрядах

Выводы и рекомендации. Проанализировав полученные данные, видим, что при барьерном разряде в озонаторе «Ozone Air Purifier HF258» концентрация получаемого озона намного выше, чем концентрация озона при коронном разряде в разработанном электрофилт্রে. Следовательно, в качестве разряда для озонатора наиболее эффективно использовать барьерный разряд.

Список литературы

1. Анализ формы воздействующего напряжения высоковольтного разряда на показатели работы электрофилтра / М. Л. Шавкунов, П. Л. Лекомцев, А. М. Ниязов, А. С. Корепанов // Инновационные решения стратегических задач агропромышленного комплекса: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию Удмуртского ГАУ. В 3 т. Ижевск, 28 февраля – 05 марта 2023 г. – Ижевск: УдГАУ, 2023. – Т. 3. – С. 140–143.
2. Возмилов, А. Г. Применение озона в технологических процессах птицеводства и критерии сравнительной оценки озонаторов / А. Г. Возмилов, Д. В. Аста-

фьев, С. Д. Матвеев. – Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 3. – С. 13–16.

3. Движение заряженной частицы в электромагнитном поле / П. Л. Лекомцев, А. М. Ниязов, М. Л. Шавкунов, А. С. Корепанов // Сельский механизатор. – 2023. – № 8. – С. 22–23. – DOI 10.47336/0131-7393-2023-8-22-23.

4. Methods of air disinfection in livestock premises with a combination device / M. L. Shavkunov, P. L. Lekomtsev, A. S. Korepanov, R. I. Gavrilov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Yekaterinburg, 15–16 октября 2021 г. – Yekaterinburg, 2022. – P. 012118. – DOI 10.1088/1755-1315/949/1/012118.

5. Шавкунов, М. Л. Исследование изменения концентрации озона в закрытом помещении / М. Л. Шавкунов, А. С. Корепанов, Р. И. Гаврилов // Вклад молодых ученых в реализацию приоритетных направлений развития аграрной науки: материалы Нац. науч.-практ. конф. молодых ученых, Ижевск, 17–19 ноября 2021 г. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2021. – С. 369–373.

УДК 631.362.33

А. Д. Музалева, М. Л. Шавкунов, О. Б. Поробова
Удмуртский ГАУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕПАРАЦИИ СЕМЯН С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОКОРОННОГО БАРАБАННОГО СЕПАРАТОРА

Представлено экспериментальное исследование принципа работы электрокоронного барабанного сепаратора, разделяющего материалы по проводимости. Выбор режима работы исследованного электрокоронного сепаратора для наилучшего разделения материалов.

Актуальность. При различии в физических свойствах возникает различие поведения отдельных компонентов смеси, на которую воздействует электрическое поле. В этом заключается суть электросепарации [1 – 6].

Если рассматривать обычные способы разделения зерновых смесей, то наибольшую роль играют различия в размерах, плотности, состоянии поверхности частиц. Если же использовать электрические способы разделения, то дополнительно используются разница в электропроводности, способность воспринимать и отдавать заряд, диэлектрическая проницаемость. Следовательно, можно отметить, что электрические свойства материала будут находить-

ся в тесной взаимосвязи с другими физическими свойствами этого материала, а также с биологическим строением этого материала.

Существуют следующие виды разделения материалов:

1. Различие электрической проводимости. Суть данного метода заключается в том, что частицы, проводящие электрический ток и диэлектрические частицы, под действием высокого потенциала будут вести себя различно. То есть проводящие частицы быстро приобретают заряд, который совпадает со знаком заряда электрода, после чего отталкиваются от данного электрода и улетают. Частицы же с малой электрической проводимостью заряд принимают медленнее, соответственно, дольше удерживаются на электроде.

2. Различие в электризации трением. При трении двух частиц из различного материала о какое-то тело, которое изготовлено из третьего материала, заряды, которые получают частицы, будут различаться по значению, а чаще всего и по знаку.

3. Использование пирозлектрического эффекта. При использовании нагрева для смеси частиц из разнородных материалов некоторые из этих материалов заряжаются положительно, другие отрицательно. Следовательно, разделение происходит под действием знака заряда материала.

4. Различие в диэлектрической проницаемости. В данном виде используется сила, которая действует на незаряженную диэлектрическую частицу при неоднородности электрического поля. В том случае, если диэлектрическая проницаемость частицы больше, чем у среды, то частица втягивается в область, имеющую большую напряженность. В противном случае выталкивается из данной области.

5. Различие массы частиц [2, 4, 5]. Электрокоронные барабанные сепараторы получили наибольшее распространение, так как среди других электросепараторов обеспечивают степень извлечения полезного продукта более 90 %.

Из недостатков электрокоронных барабанных сепараторов можно выделить:

- наличие вращающихся частей;
- наличие привода, который работает в сильно запыленной среде.

Для повышения эффективности разделения материала по принципу проводимости начали использовать сепараторы, в которых частицы получают заряд в поле коронного разряда. Делает-

ся это для того, чтобы на непроводящих частицах возникал заряд того же знака, что и у коронирующего электрода. Следовательно, появляется сила, которая удерживает частицы на поверхности заземленного барабана в зоне, в которой происходит разделение материала. Кроме того, непроводящие частицы могут удерживаться на поверхности барабана, под действием силы зеркального отображения, вплоть до удаления их с помощью скребка.

Если разделение происходит в машинах барабанного типа, то частица получит строго определенный заряд. Данный заряд будет зависеть от физических свойств частицы при данной напряженности электрического поля. Также следует отметить, что частица, которая находится в поле коронного разряда на заземленном электроде, будет всегда располагаться длинной осью поперек действия поля.

Но следует отметить, что фактический заряд, который будет получать частица, всегда будет меньше максимального. Это происходит из-за того, что одновременно с зарядкой происходит процесс разрядки через переходное сопротивление. Это переходное сопротивление будет определяться как сумма собственного сопротивления частицы и контактного сопротивления между частицей и плоскостью. Вследствие этого частица получает остаточный заряд. Величина данного заряда будет зависеть от емкости системы «частица-электрод» и переходного сопротивления. Также величина остаточного заряда может изменяться от нуля до предельного (максимального) значения.

Основную роль для определения величины остаточного заряда играет и само сопротивление частицы. При сопротивлении частицы близким к бесконечности (для хороших диэлектриков) показатель разрядки будет принимать значение, равное единице. А если сопротивление частицы равно нулю (проводящие частицы), то показатель разрядки принимает значение, равное нулю.

Рассмотрев информацию выше, можно прийти к тому, что сухие частицы получают максимальный остаточный заряд, а влажные – самый малый. Следовательно, можно сделать вывод о возможности разделения материалов и по влажности. Это играет огромную роль при автоматизации процессов для послеуборочной обработки [2, 4, 5].

Материалы и методы. Частицы ссыпаются с электрода, образуя веер, и попадают в приемники продуктов разделения. Данный веер (разборов траектории) можно объяснить тем, что части-

цы имеют различные размеры, массу и в соответствии с различиями в скорости слета частиц с барабана сепаратора, а также совокупность сил, которые действуют на частицу при движении частицы на барабане сепаратора. В секционном приемнике частицы смеси образуют определенное распределение массы частиц по ячейкам. Процентное распределение массы по приемникам можно описать выражением:

$$A = \frac{m_i}{\sum m_i}, \quad (1)$$

где m_i – масса частиц в i -том приемнике;

$\sum m_i$ – масса частиц во всех приемниках.

Если провести анализ движения частиц в электрокоронном барабанном сепараторе (схема приведена на рис. 1) при отсутствии электрического поля, то он показывает, что частицы будут распределяться в приемнике согласно своей плотности, форме, размерам и электрическим свойствам.

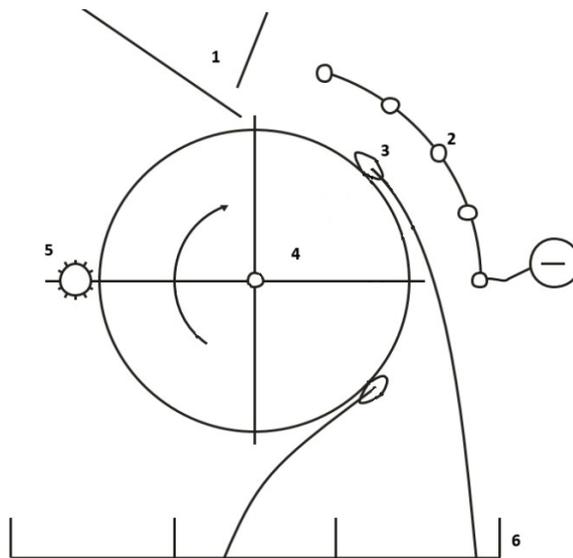


Рисунок 1 – Схема электрокоронного барабанного сепаратора:

- 1 – загрузочный бункер; 2 – система коронирующего электрода;
- 3 – частица на поверхности барабана; 4 – заземленный барабан;
- 5 – щетка для удаления мусора и пыли; 6 – секционный приемник

При выполнении опытов снимаем вольтамперную характеристику для определения параметров коронирующей системы, данные заносятся в таблицу 1. После чего включаем установку и устанавливаем скорость вращения барабана $10\text{--}40 \text{ мин}^{-1}$. После чего подаем напряжение на систему электродов в пределах 20--

30 кВ. Следующим шагом заполняем приемный бункер (1) зерновой смесью и производим сепарацию данной смеси. Последними шагами будут замеры распределения массы зерна в секциях 1–3 и расчет процентного распределения массы полученной смеси по фракциям. Полученные результаты вносим в таблицу 2 [2].

Опыты проводим три раза при различных напряжениях и постоянной скорости вращения барабана, а также три раза при переменной скорости вращения барабана и постоянном напряжении (рис. 3, 4).

Результаты исследований. После проведения опытов приведем полученные данные в таблице 1 и таблице 2.

Таблица 1 – Вольтамперная характеристика системы электродов электрокоронного барабанного сепаратора

U, кВ	20	22	24	26	28
I, мкА	6	9	11	15	18

Таблица 2 – Результаты обработки данных

№ п/п	Секция 1		Секция 2		Секция 3		Показатели	
	m, гр	A ₁ , о.е	m, гр	A ₂ , о.е	m, гр	A ₃ , о.е	n, мин ⁻¹	U, кВ
Опыты с разным напряжением и постоянной скоростью вращения барабана								
1.	68	0,45	62	0,41	20	0,14	25	24
2.	66	0,44	62	0,41	22	0,15	25	26
3.	65	0,43	59	0,39	26	0,18	25	28
Опыты с постоянным напряжением и разной скоростью вращения барабана								
1.	59	0,39	53	0,35	38	0,26	10	26
2.	66	0,44	62	0,41	22	0,15	25	26
3.	87	0,58	53	0,35	10	0,07	40	26

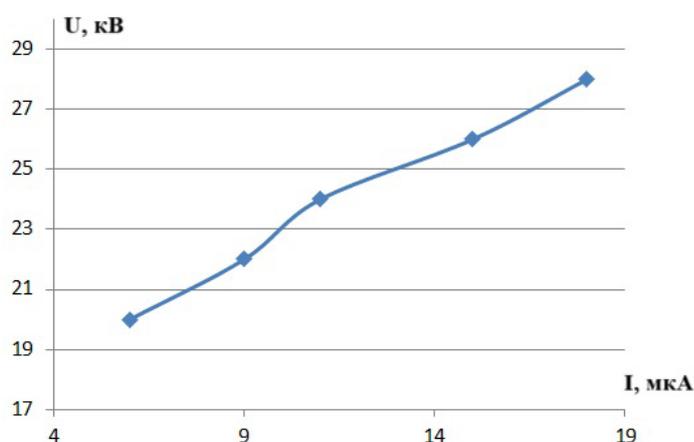


Рисунок 2 – Вольтамперная характеристика системы электродов электрокоронного барабанного сепаратора

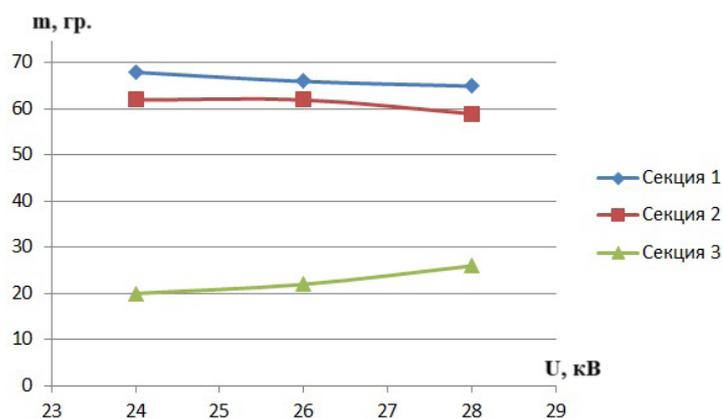


Рисунок 3 – Зависимость степени разделения зерновой смеси от напряжения на электроде

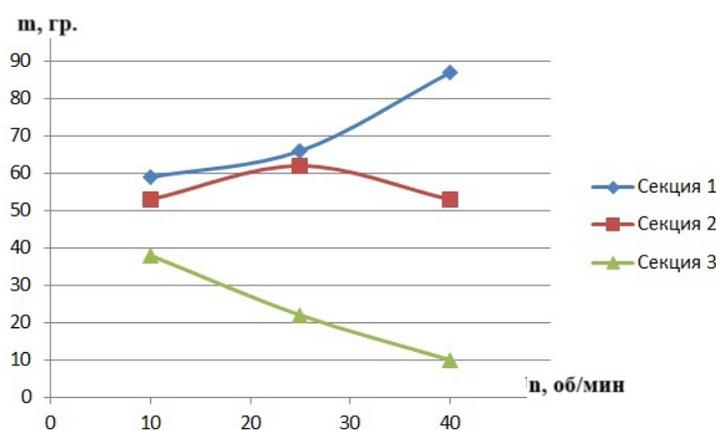


Рисунок 4 – Зависимость степени разделения зерновой смеси от скорости вращения барабана

Вывод. Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод о том, что наилучший результат сепарации происходит при напряжении на системе коронирующего электрода, равного 26 кВ, и скорости вращения барабана, равной 25 мин⁻¹. В данном режиме наблюдается наибольшая эффективность сепарации сыпучих материалов.

Список литературы

1. Исследование симметричной и несимметричной форм включения электродов в разрядных озоновых камерах / П. Л. Лекомцев, Р. И. Гаврилов, А. С. Корепанов, М. Л. Шавкунов // Сельский механизатор. – 2020. – № 10. – С. 36–37. – EDN UVAAAG.
2. Лабораторный практикум по электронно-ионной технологии: метод. указ. / Сост. А. М. Ниязов. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2016. – 50 с.
3. Экспериментальные исследования ВАХ-фильтра / М. Л. Шавкунов, П. Л. Лекомцев, А. М. Ниязов [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2020. – № 2 (40). – С. 23. – EDN TCHAEV.

4. Электротехнология / А. М. Басов, В. Г. Быков, А. В. Лаптев [и др.]. – Москва: Агропромиздат. – 1985. – 256 с.

5. Электротехнология / В. А. Карасенко, Е. М. Заяц, А. Н. Баран [и др.]. – Москва: Колос, 1992. – 303 с.

6. Шмигель, В. В. К расчету положительного униполярного коронного разряда / В. В. Шмигель, А. М. Ниязов, Д. Р. Абашев. – 2000. – № 1. – С. 45–48.

УДК 699.8

**Т. А. Николаев, Н. С. Стрелков,
К. А. Батурина, А. С. Корепанов**
Удмуртский ГАУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОШУМОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассмотрены покрытия на основе каменной пены и ЭПС, обеспечивающие хорошую шумо- и теплоизоляцию.

Актуальность. Комфортное проживание в доме невозможно без качественной тепло- и звукоизоляции. Теплоизоляционные свойства помогают сохранять комфортную температуру в доме в любое время года, а звукоизоляционные – защищают жилье от внешних шумов, например, звуки транспортного потока, работающей стройки, шумных соседей, способствуя улучшению качества сна и снижению уровня стресса, что благотворно влияет на работоспособность. Тенденция к увеличению затрат на отопление и заботу об экологии обуславливает необходимость использования именно таких материалов и технологий. Поэтому важность этих характеристик дома не должна подвергаться сомнению.

Цель: провести сравнительный анализ эффективности тепло- и шумоизоляции двух видов материалов – каменной пены и ЭПС.

Материалы и методика. *Каменная вата* – это материал, образованный в результате застывания лавы и пепла вследствие быстрого охлаждения магмы. Она имеет мелкопористую структуру и состоит из каменных ячеек, разделенных очень тонкими стенками. Каменную пену используют в строительстве, где нужен легкий, прочный и экологичный материал. Она обладает высокой

устойчивостью к воздействию погодных условий и хорошими теплоизоляционными свойствами. Также она может использоваться для улучшения шумоизоляции в зданиях за счет своей пористой структуры, что положительно влияет на поглощение эхо.

ЭППС (Экструдированный пенополистирол) – это материал, полученный путем смешивания гранул полистирола с вспенивающим агентом и последующего выдавливания через экструзионную машину. В сравнении с обычным пенополистиролом из-за своей плотности он обладает лучшими теплоизоляционными свойствами. Экструдированный пенополистирол используется в качестве утеплителя для стен, полов и крыш зданий, а также в производстве сэндвич-панелей. И они как раз играют важную роль в качестве шумоизоляции, так как, если использовать их в сочетании, например, с акустическими панелями, можно достичь феноменального уровня поглощения звука.

Результаты исследований. Используя рекомендуемые данные толщины (по отдельности) двух различных материалов (рис. 1), получили следующие графики.

Применение программ для моделирования. Теплоудержание.

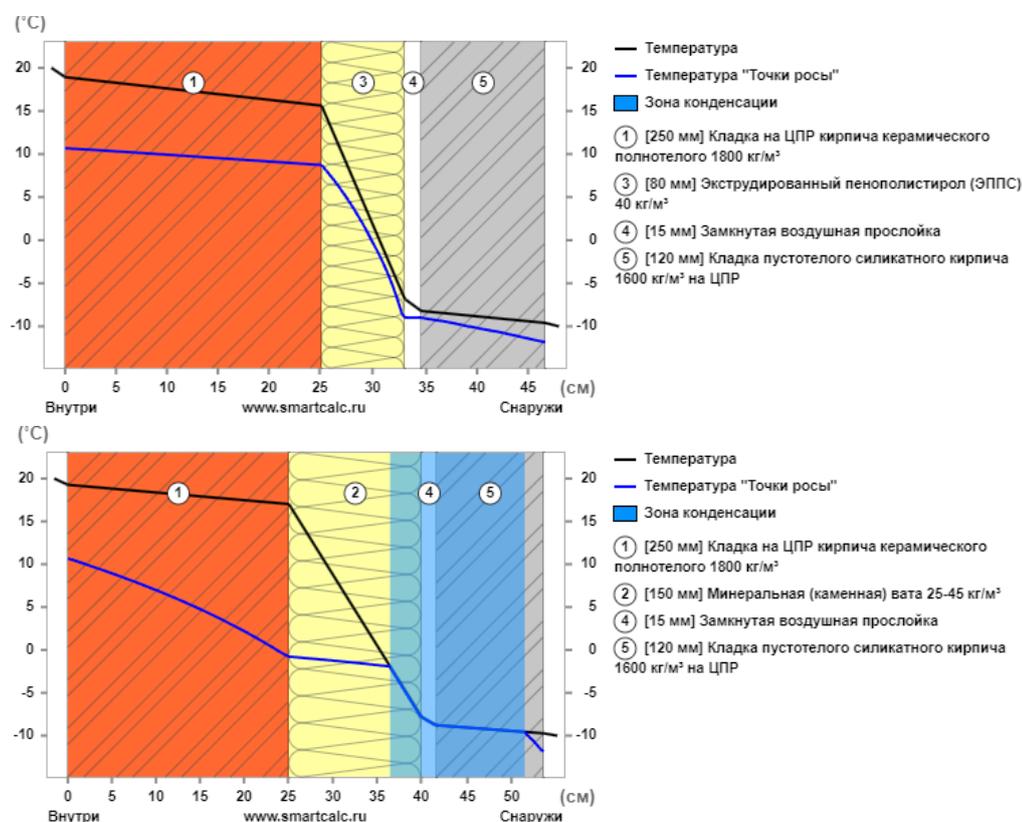


Рисунок 1 – Попеременное использование ЭППС и каменной ваты на примере стены дачного дома

Из них видно, что использование каменной ваты либо ЭППС крайне неэффективно. Использование материалов по отдельности зачастую бывает нецелесообразным, так как один материал своими качествами может нивелировать недостатки другого. Гораздо более эффективным будет использовать их вместе. Одним из преимуществ такого использования является компенсация недостатков одного материала за счет преимуществ другого.

Так, например, использование 150 мм каменной ваты дало недостаточные теплоудерживающие характеристики и почти никакую защиту от переувлажнения. Но добавив один слой ЭППС толщиной 17 мм (рис. 2), характеристики теплоудержания и влагозащиты значительно выросли.

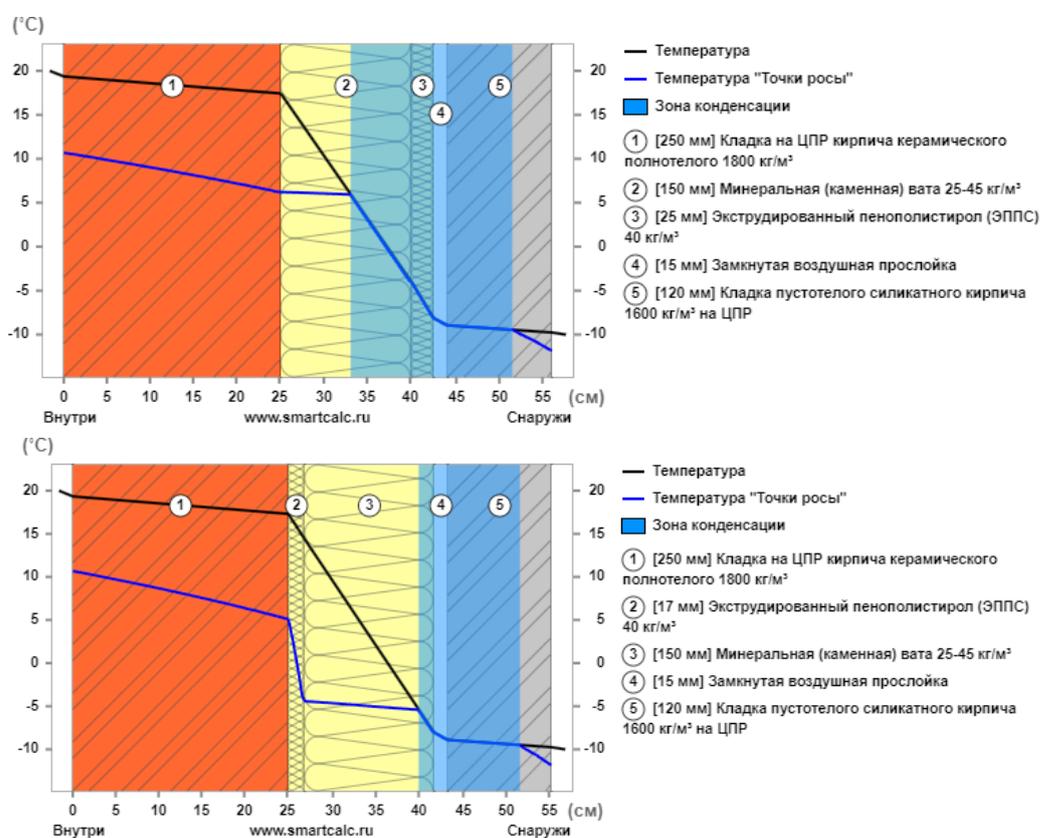


Рисунок 2 – Совместное применение ЭППС и каменной ваты.
Сверху – наружный слой ЭППС. Снизу – наружный слой каменная вата

Выстраивать следует именно в такой последовательности. Тенденция того, что каменная вата и ЭППС будут положены наоборот, будет крайне невыгодной. Это происходит из-за обширной зоны конденсации, приходящейся на внешний слой ЭППС. Чтобы ее нейтрализовать, придется задействовать пенополистирол колоссальной толщины (рис. 3).

Применение программ для моделирования. Акустика.

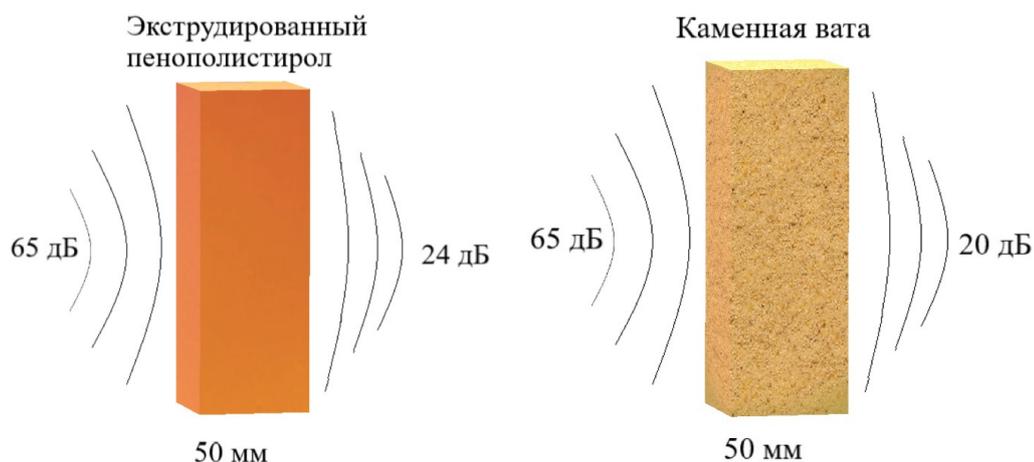


Рисунок 3 – Звукопропускание через ЭППС и каменную вату с учетом одинаковой толщины

Акустические свойства ЭППС. Наибольшую распространенность экструдированный пенополистирол получил как прокладочный звукоизоляционный элемент в акустических перегородках, перекрытиях и плавающих конструкциях напольных покрытий.

Таблица 1 – Зависимость уровня звукоизоляции от толщины ЭППС

Толщина слоев пенополистирола, мм	Индекс изоляции воздушного шума (Rw), Дб
50	41

В последнем случае оправданность применения этого материала основана на показателях индекса изоляции воздушного шума, например, при общей толщине металлопрофильной конструкции в 75 мм и наполнителя из пенополистирола в 50 мм, он составляет около 41 дБ.

Акустические свойства каменной ваты. Каменная вата обладает хорошим коэффициентом звукопоглощения 0,75–0,95. Её волокнистая структура прекрасно гасит не только звуковые волны, но и вибрации.

Таблица 2 – Зависимость уровня звукоизоляции от толщины каменной ваты

Толщина слоев минеральной ваты, мм	Индекс изоляции воздушного шума (Rw), Дб
50	45
75	46
100	48

Обобщение. В звукоизоляции пенополистирол уступает только минеральным ватам, поэтому зачастую их используют совместно. Для звукоизоляции в частном доме лучше всего подойдет минеральная вата, потому что она обладает хорошим коэффициентом звукопоглощения: 0,45–0,95. Кварцевая и каменная минеральные ваты обладают хорошими показателями звукопоглощения, теплопроводности и влагостойкости. Они пожаробезопасны и удобны в использовании.

Выводы и рекомендации. Проведены испытания на тепло- и шумоизоляцию двух различных материалов. На основе данных моделирования можно сделать вывод, что с обеими задачами неплохо справляется каменная вата. Ее структура хорошо задерживает тепло и одновременно с этим она обладает высоким коэффициентом звукопоглощения. Однако не стоит забывать про достоинства пенополистиролов, так как, например, за счет своей высокой плотности он предотвращает структуру стены от переувлажнения и разрушения от кристаллизации этой влаги зимой. В таком «тандеме» каменная вата и ЭППС показывают отличные результаты как в тепло-, так и шумоизоляции.

Список литературы

1. Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья: докл. V Всерос. науч.-практ. конф., 6–7 июня 2005 г. (г. Белокуриха Алт. края) // Федер. науч.-производств. центр «Алтай», Ин-т проблем хим.-энергет. технологий, Ассоц. разработчиков технологий и производителей изоляц. материалов из минер. сырья «Росминизоляция» (дата обращения 05.12.2023).
2. Данные производителей теплоизоляционных материалов (Группа компаний Технониколь, ЗАО «Минеральная вата» – Rockwool, ООО «Урса-Евразия») (дата обращения 11.12.2023).
3. Внутриквартирный шум как параметр экологического качества жилища: его характеристики и пути снижения / О. А. Жоголева, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, О. О. Федорова // В. И. Вернадский: устойчивое развитие регионов: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов: ТГТУ, 2016. – С. 150–156.
4. Корепанов, А. С. Анализ тепловизионного контроля ограждающих конструкций жилого здания / А. С. Корепанов, П. Л. Лекомцев, М. Л. Шавкунов // Инновационные решения стратегических задач агропромышленного комплекса: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию Удмуртского ГАУ. В 3 т. Ижевск, 28 февраля – 05 марта 2023 г. – Ижевск: УдГАУ, 2023. – Т. 3. – С. 97–102.
5. Корепанов, А. С. Исследование низкотемпературных систем обогрева помещений / А. С. Корепанов, М. Л. Шавкунов, Р. И. Гаврилов // Развитие произ-

водства и роль агроинженерной науки в современном мире: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Ижевск, 16–17 декабря 2021 г. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2021. – С. 305–309.

6. Ермаков, Д. М. Оценка эффективности использования пенополиуретана в качестве изоляции теплопроводов / Д. М. Ермаков // Молодые исследователи – регионам: материалы Международной научной конференции, Вологда, 17 апреля 2023 г. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2023. – С. 307–309.

УДК 620.91 (470+571)

А. М. Ниязов, Л. Н. Прокопьев

Удмуртский ГАУ

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ В РОССИИ

Рассматривается вопрос использования ветроэнергетического потенциала России и препятствия, стоящие на пути широкого внедрения ветроэнергетических установок.

Актуальность. Тенденция к постоянному увеличению потребления энергии промышленными предприятиями и общее стремление к повышению энергоэффективности и сбережению энергии постепенно открывают возможности для увеличения доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в общем энергетическом балансе Российской Федерации.

Материалы и методики. В качестве предпосылок использования ВИЭ можно назвать следующие факторы:

- ограниченность запасов ископаемых видов топлива;
- увеличение стоимости производства энергии с использованием традиционных энергоресурсов;
- ухудшение экологической обстановки при применении традиционных методов генерации энергии;
- обеспечение энергетической безопасности;
- практически неисчерпаемый потенциал ВИЭ.

Как самая большая страна в мире Россия имеет огромный потенциал для использования энергии ветра в производстве энергии.

На рисунке 1 указана часть применения ветрогенераторов (далее – Ветроэнергетические установки, или ВЭУ) в общем объеме производства энергии в России.

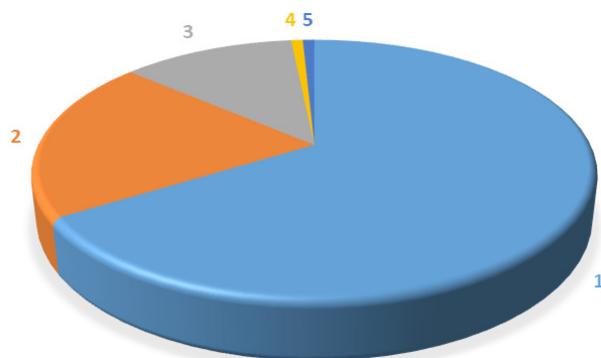


Рисунок 1 – Структура выработки электроэнергии по видам электростанций в 2022 г. [1] (1 – ТЭЦ; 2 – ГЭС; 3 – АЭС; 4 – ВЭС; 5 – СЭС)

Результаты исследований. На рисунке 1 можно заметить, что доля энергии, производимая с помощью ВЭУ, составляет довольно малый процент (0,8 %) от общего объема выработки энергии. Важно отметить, что технический потенциал ветряной энергетики России является одним из самых больших в мире и достигает 40 миллиардов кВт·ч в год. На рисунке 2 показано распределение скорости ветра по разным регионам России.

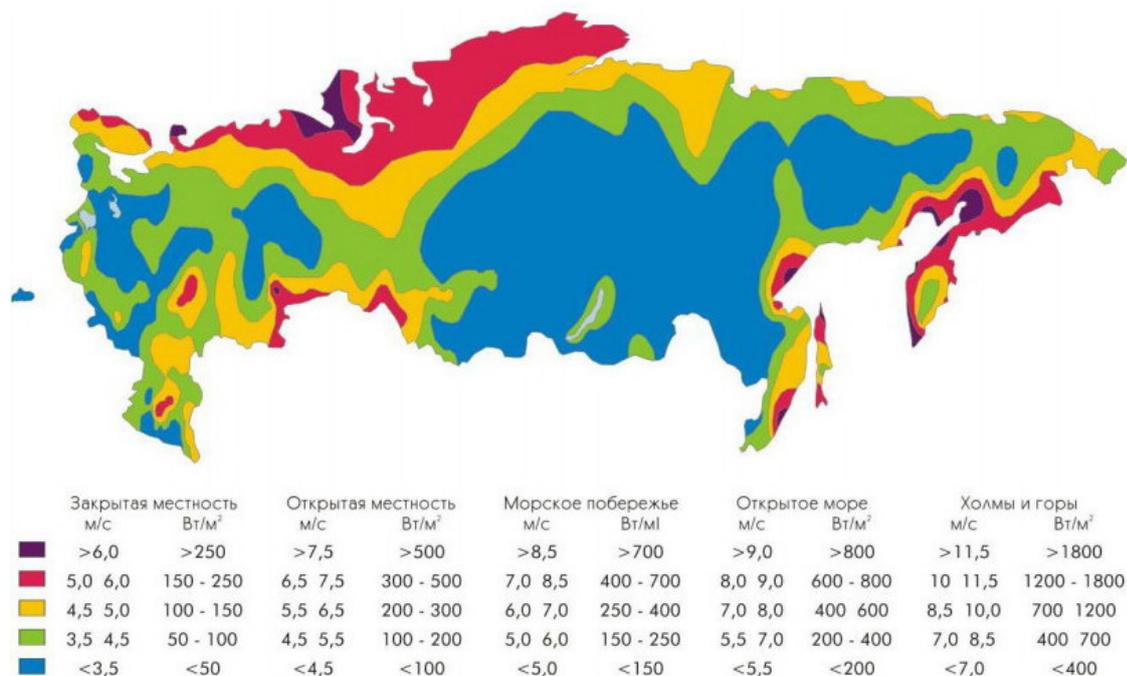


Рисунок 2 – Карта распределения ветроэнергетических ресурсов на территории России [2]

Наиболее подходящими регионами для использования ветровой энергии считаются территории с преимущественной среднегодовой скоростью ветра в диапазоне 4–6 метров в секунду.

Анализ данных на рисунке 1 показывает, что развитие ветроэнергетики в нашей стране имеет важное значение. Это объясняется тем, что районы с наибольшим потенциалом использования ветровой энергии в основном малонаселенные (10 % всего населения страны) [3] и значительно удалены от основных энергогенерирующих объектов, находясь в зоне автономного энергообеспечения [4]. Согласно данным таблицы 1, имеется существенный потенциал для широкого применения ветрогенерации в Архангельской, Астраханской, Калининградской, Магаданской, Мурманской, Хабаровской областях, на Сахалине, Камчатке и в Приморье, а также в Республике Саха (Якутия), на Чукотке и в Ямало-Ненецком автономном округе.

Таблица 1 – Зависимость мощности ВЭУ от скорости ветра и диаметра ветроколеса [5]

Диаметр ветроколеса, м	Мощность ВЭУ, кВт						
	Скорость ветра, м/с						
	4	5	6	7	8	9	10 и более
2	0,04	0,08	0,1	0,23	0,345	0,36	-
4	0,17	0,33	0,58	0,92	1,38	1,38	-
8	0,69	1,34	2,32	3,7	5,5	5,5	-
10	1,08	2,1	3,63	5,75	8,6	8,6	-
12	1,55	3,03	5,25	8,25	12,4	12	-
18	3,48	6,6	11,8	18,6	28,8	39,5	54,6
30	9,6	18,9	32,6	51,6	77,3	110	151,1

Анализ распределения ветроэнергетического потенциала позволяет использовать ветрогенераторы как в автономных системах энергоснабжения, так и в региональных энергетических системах.

Выводы и рекомендации. Подводя итог вышесказанному, можно заключить, что ветряная энергетика обладает значительным потенциалом как в сфере производства энергии для Единой Энергетической Системы, так и в области автономных энергосистем в регионах с децентрализованным энергоснабжением для снижения рисков, связанных с энергообеспечением.

Обобщая все вышесказанное, можно с уверенностью говорить о большом потенциале применения возобновляемых источ-

ников энергии на территории России, общий экономический потенциал которых достигает 31×10^{12} кВт×ч в год [6]. Однако, несмотря на это, потенциал этот на данный момент остается практически не реализованным, что связано с рядом факторов:

- недостаточное внимание развитию ветрогенерации со стороны государства;
- наличие больших запасов органического топлива;
- недостаточные инвестиции в ветровую энергетику;
- сложность прогнозирования объемов выработки энергии из-за нестабильности движения воздушных масс.

Список литературы

1. Основные характеристики российской электроэнергетики / Министерство энергетики Российской Федерации. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/532> (дата обращения 20.12.2023).
2. Атлас ветров России / А. Н. Старков, Л. Ландберг, П. П. Безруких, М. М. Борисенко. – Москва: РДИЭЭ – Рисо, 2000.
3. Предварительная оценка численности постоянного населения на 1 января 2017 г. и в среднем за 2016 г. / Федеральная служба государственной статистики. – URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/population/demo/PrPopul2017.xls (дата обращения: 23.12.2023).
4. Пармухина, Е. «Рынок ветроэнергетики» // Научный журнал «Электротехнический рынок», 2010. – № 1-2. – 32 с.
5. Перспективы ветроэнергетики. Наука – это жизнь! Сборник научно-познавательных статей, заметок и публикаций. – URL: <http://nauka.relis.ru/06/0403/06403006.htm> (дата обращения 23.08.17).
6. Перминов, Е. Техничко-экономические показатели ветровых электростанций и возможности их финансирования / Е. Перминов, О. Перфилов // Бизнес и инвестиции в области возобновляемых источников энергии в России: материалы Международного конгресса. – Москва, 1999.

**Л. А. Пантелеева, И. В. Решетникова,
И. С. Чернов, И. И. Караваев**
Удмуртский ГАУ

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ ПРОИЗВОДСТВА: ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Рассматривается несколько ключевых проблем, с которыми сталкиваются современные исследования и производственные процессы.

Актуальность. Современное общество сталкивается с множеством вызовов в области науки и производства, которые оказывают значительное влияние на технологический прогресс, экономику и устойчивость планеты.

Материалы и методика. Используются теоретические и методические основы исследований и работ.

Результаты исследований. Рассмотрим несколько ключевых проблем, с которыми сталкиваются современные производства.

1. Экологическая устойчивость.

Одной из основных проблем науки производства является необходимость перехода к более экологически устойчивым методам. Промышленные процессы, потребление энергии и выбросы загрязняющих веществ оказывают серьезное воздействие на окружающую среду. Исследования, направленные на создание эффективных технологий, способных уменьшить негативное воздействие производства на природу, становятся все более актуальными.

2. Искусственный интеллект и автоматизация. С развитием искусственного интеллекта и технологий автоматизации возникают новые вызовы в сфере производства. Одна из главных проблем – потенциальные потери рабочих мест в результате внедрения автоматизированных систем. Необходимость переквалификации трудовых ресурсов и создание новых рабочих мест, соответствующих требованиям цифровой эры, становятся приоритетными задачами.

3. Глобальные цепочки поставок.

Современное производство часто зависит от глобальных цепочек поставок. Это предоставляет множество преимуществ,

но также и существенные риски, такие, как нестабильность рынков, геополитическое напряжение и возможные проблемы в логистике. Развитие стратегий управления рисками и поиск альтернативных методов организации производства становятся ключевыми аспектами исследований.

4. Инновации и исследования.

Одной из основных задач науки производства является поиск новых инноваций. Быстрое развитие технологий требует постоянного обновления знаний и методов производства. Открытие новых материалов, разработка более эффективных производственных процессов и создание устойчивых технологий – вот ключевые направления исследований.

Выводы и рекомендации. Проведя сравнительный анализ различных проблем, определили, что современные проблемы науки производства предоставляют вызовы, но также и возможности для инноваций и улучшения существующих систем. Переход к экологически устойчивым методам, адаптация к цифровой трансформации и создание надежных стратегий управления рисками – вот лишь несколько направлений, в которых наука производства может сделать важный вклад в будущее человечества.

Список литературы

1. Проблемы современного общества. – URL: <https://blizzaro.ru/issues/problemu-sovremennogo-obshchestva/?ysclid=lpb7dwf2wt764364359>.
2. Ерлыгина, Е. Г. Экологическая устойчивость в концепции устойчивого развития / Е. Г. Ерлыгина, С. В. Штебнер. – DOI 10.33619/2414-2948/79/15 // Бюллетень науки и практики. – 2022. – Т. 8, № 6. – С. 134–141.
3. Искусственный интеллект, автоматизация и будущее труда: десять задач, которые необходимо решить. – URL: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/ai-automation-and-the-future-of-work-ten-things-to-solve-for>.
4. Эскерханова, Л. Т. Научные исследования и инновации / Л. Т. Эскерханова // Science Time. – 2016. – № 5 (29). – С. 769–773.

Л. А. Пантелеева, Д. М. Ермаков

Удмуртский ГАУ

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ДУГОВОГО ПРОБОЯ

Приводится сравнительный анализ устройств защиты от дугового пробоя (УЗДП) автоматических выключателей и устройств защитного отключения. Преимуществами использования данного типа устройств и их недостатки. В итоге определена целесообразность их применения.

Актуальность. Дуговой пробой представляет серьезную опасность, которая возникает в результате электрического разряда между двумя точками контакта. Автоматические выключатели (АВ) и устройства защитного отключения (УЗО) не распознают дуговой пробой и не отключают цепь, что приводит к поражению электрическим током или возникновению пожаров.

Материалы и методика.

Устройства защиты от дугового пробоя делают это, поэтому необходимо убедиться в целесообразности их применения.

Цель: определить целесообразность применения устройств защиты от дугового пробоя (УЗДП).

Задачи:

1. Ознакомиться с устройством защиты от дугового пробоя и его принципом действия.
2. Сравнить УЗДП с автоматическими выключателями и устройствами защитного отключения.
3. Выявить преимущества и недостатки данного типа устройств.

УЗДП – устройство защиты от дугового пробоя – специализированное устройство, которое предназначено для автоматического предупреждения и предотвращения пожара от искрения/дугового пробоя в электрических сетях и электроустановках.

УЗДП – третий этап развития средств защиты электросетей после автоматических выключателей (АВ) и устройств защитного отключения (УЗО). Устанавливается УЗДП в электрощит на стандартную DIN-рейку. При возникновении дугового пробоя в защищаемом участке электросети устройство отключает данный участок от питающей сети [3].

Внутреннее устройство УЗДП имеет следующий вид (рис. 1).

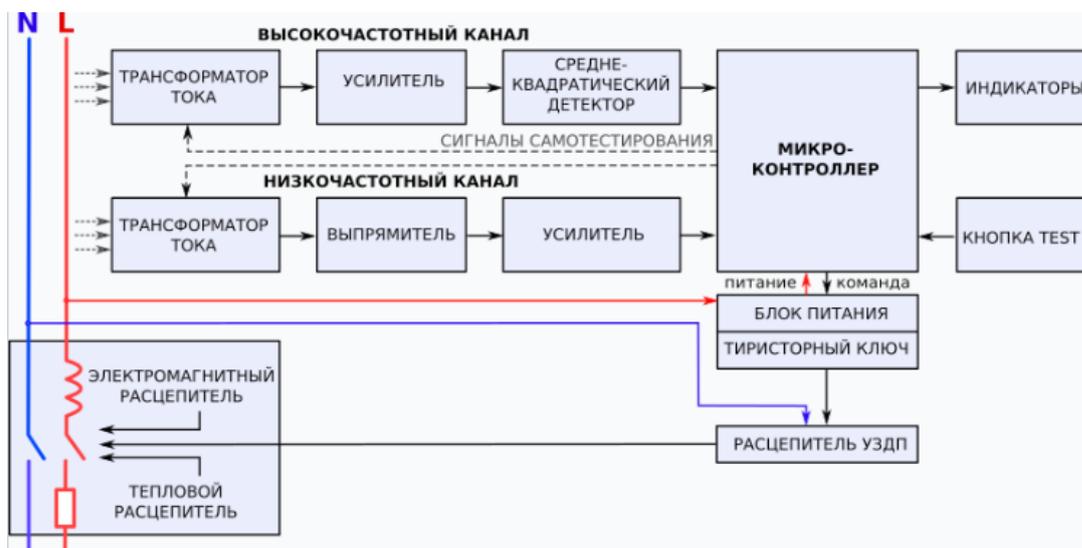


Рисунок 1 – Внутреннее устройство УЗДП

Конструктивная основа типичного УЗДП европейского стандарта – это силовой разъединитель с обязательным механизмом свободного расцепления, который применяется в автоматических выключателях и УЗО. УЗДП, разъединяющий только фазный провод, строится в стандартном двухмодульном корпусе: один модуль имеет блок обнаружения дугового пробоя (БОДП), другой – механизм автоматического выключателя со штатным тепловым и электромагнитным расцепителями. Третий расцепитель, управляемый тиристорным ключом, отключает нагрузку по команде БОДП.

С помощью двух трансформаторов тока блок обнаружения дугового пробоя отслеживает ток в фазном проводнике. Трансформатор низкочастотного канала считывает мгновенное значение тока сетевой частоты, которое выпрямляется диодным мостом (без использования сглаживающего фильтра) и усиливается нормирующим усилителем. Трансформатор высокочастотного канала считывает сигнал в узкой полосе частот, лежащей в диапазоне от 5 до 50 МГц, исключая особо зашумлённую полосу 15–18 МГц. На практике в устройствах АВВ используется полоса частот в окрестности 10 МГц.

Узкополосный сигнал высокочастотного канала выпрямляется детектором среднеквадратического значения.

Встроенный микроконтроллер БОДП оцифровывает оба аналоговых сигнала и анализирует их средствами цифровой обработки сигналов. Микроконтроллер питается от маломощного им-

пульсного блока питания, включённого между фазным проводником и нейтралью [1].

Для того чтобы понять, как реагируют на дуговой пробой различные устройства защиты, необходимо установить виды дуговой пробоя.

Параллельный дуговой пробой, возникающий вследствие нарушения изоляции между фазным и нулевым проводниками или между фазным и проводником заземления, в этом случае ток дуги идет параллельно нагрузке, отсюда название «параллельный» пробой.

Последовательный дуговой пробой – ток дуги, возникающей в месте нарушения контакта или дефекта проводника, идёт также и через нагрузку (рис. 2) [3].

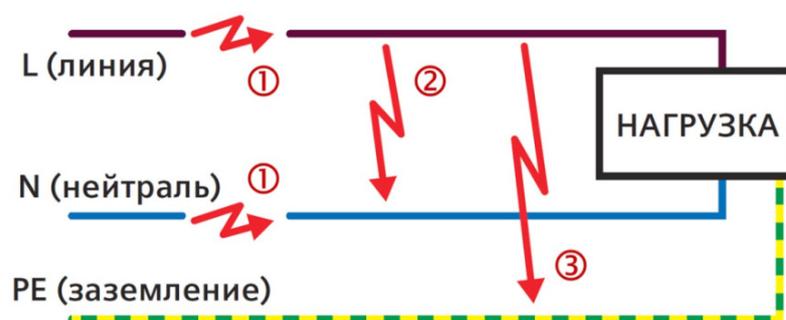


Рисунок 2 – Виды дугового пробоя:

1 – последовательный дуговой пробой; 2 – параллельный дуговой пробой фаза-ноль; 3 – параллельный дуговой пробой фаза-земля

Результаты исследований. Необходимо рассмотреть, как УЗДП определяет дуговой пробой. Тут всё достаточно просто: растёт напряжение в линии – пропорционально растёт ток. Напряжение падает – ток в цепи падает. Если обратить внимание на осциллограмму, в месте перехода напряжения через ноль – ток растёт сразу (рис. 3).

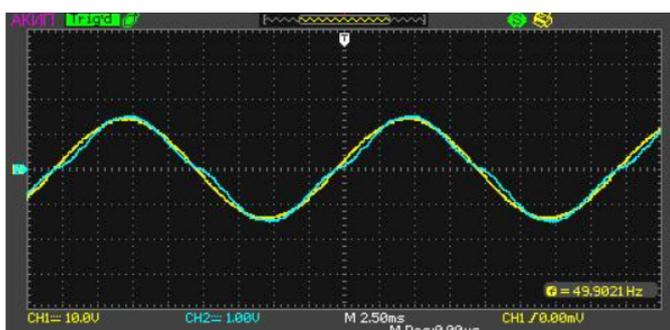


Рисунок 3 – График напряжения и тока в нормальном режиме

При разведении контактов и возникновении дугового пробоя ток в той же цепи выглядит следующим образом (рис. 4). Появляется ступенька – ток появляется только после того, как напряжение достигнет напряжения пробоя зазора между проводниками.

В данном примере рассмотрен идеальный случай, когда в сеть включена только одна нагрузка. Такое случается очень редко или же практически не встречается. На практике в сеть включаются различные виды нагрузок, и токи их суммируются, тогда график при нормальной работе будет выглядеть уже следующим образом (рис. 5), а при последовательном дуговом пробое график будет иметь вид (рис. 6).

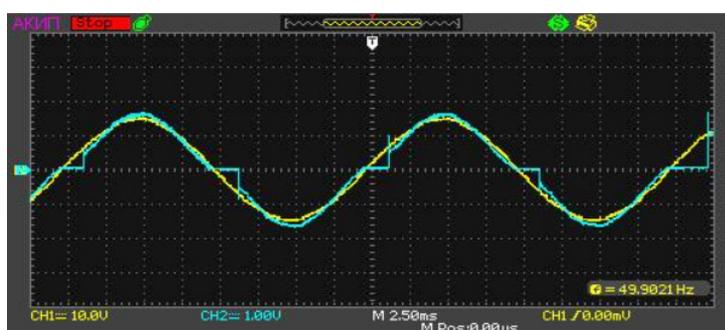


Рисунок 4 – График напряжения и тока при разведении контактов

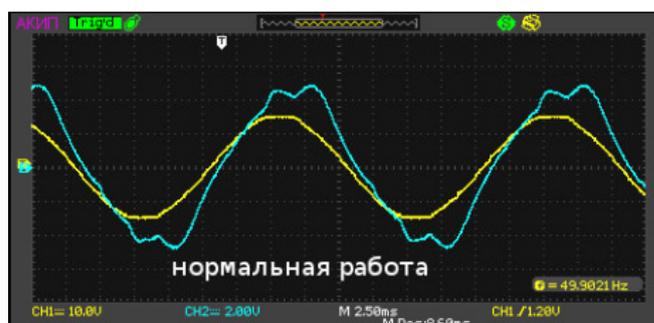


Рисунок 5 – График напряжения и тока в нормальном режиме при различной нагрузке

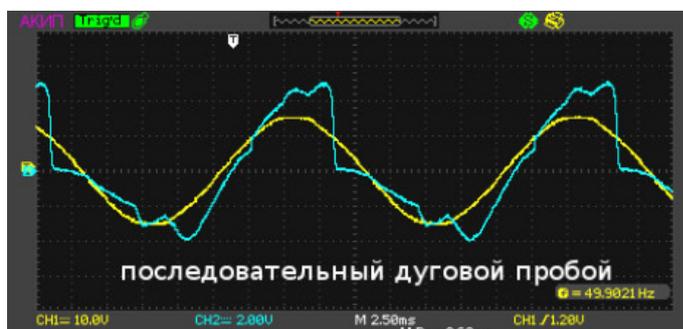


Рисунок 6 – График напряжения и тока дугового пробоя при различной нагрузке

Вывод: на графике необходимо смотреть не на наличие ступеней, а на их отвесность – чем отвеснее ступенька, тем шире её спектр.

В результате принцип работы защиты заключается в постоянном анализе спектра сигнала с датчика тока. Если он резко изменился, то определяем, как он изменился. Если наблюдается подъём в высокочастотной части спектра – значит, это дуговой пробой и нагрузка отключается.

Казалось бы, что теперь есть устройство, способное отключать цепь при дуговом пробое. Но в цепи также могут присутствовать нагрузки и потребители, способные вызвать ложное срабатывание устройства. Увидеть это можно, посмотрев на график тока сварочного аппарата (рис. 7).

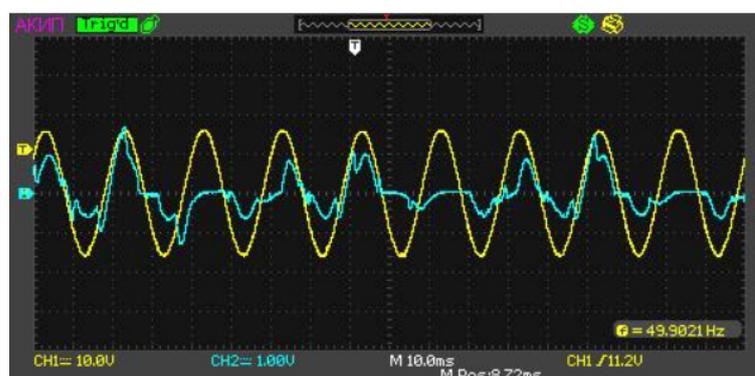


Рисунок 7 – График напряжения и тока сварочного аппарата

Вывод. Если токи различных устройств, включенных в сеть, график которых имеет такую же неоднозначную форму, как график тока сварочного аппарата, будут суммироваться, то при неправильной настройке УЗДП будут происходить ложные срабатывания [4].

Теперь стоит сравнить, как будут срабатывать автоматические выключатели, устройства защитного отключения при дуговом пробое (табл. 1) [3].

Проанализировав полученные данные, можно говорить о преимуществах и недостатках данного типа устройств защиты.

Преимущества:

- Защита от искрения, способного вызвать пожар.
- Защита сети от перенапряжения.
- Защита электросетей от возгораний.

Недостатками являются ложные срабатывания, которые могут возникнуть в случаях, рассмотренных выше [2].

Таблица 1 – Реакция устройств защиты электрических цепей на разные типы дугового пробоя

Устройство защиты	Тип дугового пробоя (искрения)		
	Последовательный	Параллельный (фаза-земля)	Параллельный (фаза-ноль)
Автоматический выключатель	Не определяет	Может сработать слишком поздно (при ограниченном токе КЗ)	Может сработать слишком поздно (при ограниченном токе КЗ)
Устройство защитного отключения	Не определяет	Не определяет	Отсутствие чувствительности при импульсном характере искрения
Устройство защиты от дугового пробоя	Отключает цепь	Отключает цепь	Отключает цепь

Выводы и рекомендации. Устройства защиты от дугового пробоя – современный метод защиты, способный предотвратить пожары в повседневной жизни, защитить людей от поражения электрическим током и сохранить целостность электроприборов и сетей в целом. Стоит отметить, что необходимо повышать чувствительность этих устройств, при этом сокращая число ложных срабатываний, причём делать это лучше отечественным производителям, потому что они могут лучше учитывать специфику наших сетей электропитания и наиболее распространённые в стране типы электроприборов.

Список литературы

1. Автоматизация энергетики и интеллектуальная сеть // SIEMENS. – URL: <https://xn--d1afzn.xn--p1ai/chto-takoe-uzdp/> (дата обращения: 26.11.2023).
2. Устройство защиты от дугового пробоя УЗДП ИЕК® – инновационное решение для защиты от возгораний в электросетях // chipdip. – URL: <https://www.chipdip.ru/news/iek-electrical-arc-flash-protection> (дата обращения: 30.11.2023).
3. Что такое УЗДП // уздп.рф. – URL: <https://xn--d1afzn.xn--p1ai/chto-takoe-uzdp/> (дата обращения: 25.11.2023).
4. Что такое устройство защиты от дугового пробоя (УЗДП) и с чем его едят? // Хабр. – URL: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/578834/> (дата обращения: 28.11.2023).

Н. А. Петров, Л. А. Пантелеева, Д. А. Васильев

Удмуртский ГАУ

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Представлены мероприятия по решению проблем энергосбережения в сельском хозяйстве.

Актуальность. Энергосбережение – осуществление производственных, научных, технических, юридических, экономических мер, ориентированных на оптимальное использование топливно-энергетических ресурсов, а также привлечение возобновляемых источников энергии. Помимо этого энергосбережение направлено на сохранение полезных ископаемых и снижение загрязнения окружающей среды, понижение себестоимости товаров и услуг [1].

Целью данного исследования является нахождение путей по снижению энергетических затрат на изготовление сельскохозяйственной продукции.

Для достижения поставленной цели нужно решить следующие **задачи**:

1. Провести анализ существующих проблем энергосбережения в сельскохозяйственном производстве.
2. Предложить мероприятия по снижению энергопотребления в сельскохозяйственном производстве.
3. Найти экономически выгодные методы по снижению энергопотребления в сельскохозяйственном производстве.

Материалы и методика. Энергосбережение в сельском хозяйстве в текущее время считается одной из самых актуальных тем. Ограниченное количество энергоресурсов в мире делает цену электроэнергии достаточно высокой, кроме этого оказывается негативное воздействие на природу и на здоровье человека, в частности. Современное положение российского сельского хозяйства выглядит следующим образом:

- плохой показатель производительности труда;
- большая энергоемкость получаемой продукции;
- сложная структура топливно-энергетического баланса;

- устаревшее оснащение и коммуникации;
- недостаток квалифицированных рабочих;
- нет форсирования изучения в производстве достижений науки и современной техники.

Следовательно, образовавшийся ранее дорогостоящий подход в сельском хозяйстве, а именно в сельской энергетике, рассчитывающий на повышение энергетических затрат, в результате которого и повышается экономический уровень производства, в новых экономических реалиях не позволяет продуктивно развиваться агропромышленному комплексу. Вопрос энергосбережения в сельском хозяйстве на фоне перехода к рыночным отношениям усиливается из-за нехватки энергетических ресурсов и повышения их цены. Поэтому главная задача экономии топливно-энергетических ресурсов заключается в уменьшении неоправданных энергетических затрат, значение которых в некоторых случаях достигает 30–40 % [2].

Существует ряд мероприятий, позволяющих уменьшить энергопотребление в сельском хозяйстве и тем самым повысить энергосбережение.

Первое из них – экономия электричества. Уменьшить расход энергопотребления можно посредством замены ламп накаливания на светодиодные. Помимо этого необходимо соблюдать расписание работы электрооборудования. Смена старых машин на современные, энергосберегающие дает возможность модернизации агропроизводственного процесса и уменьшение затраты на электрическую энергию посредством использования биологического топлива, к примеру, всеми известного рапсового масла. Помимо экономичности это топливо экологически безопаснее ныне используемого дизельного топлива [3].

Второе – внедрение частотно-регулируемого электропривода. Впрочем, эффективность использования частотно-регулируемого электропривода в большинстве случаев складывается из конкретных технологических процессов.

Третье – наращивание количества вторичных энергетических ресурсов для обогрева парников, сушки кормов и т.д.

Помимо вышеописанных мероприятий существуют еще методы по энергосбережению в сельскохозяйственном производстве, такие, как экономия использования воды за счет систем капельного полива, строительство биогазовых установок, возвращение тепла, выделяемого животными, использования альтернативных источников энергии [4].

Результаты исследования. Все методы, описанные выше, по повышению энергосбережения в сельском хозяйстве благоприятно сказываются как на снижении использования энергоресурсов, так и на экономической составляющей хозяйства. При внедрении технологий энергосбережения обеспечивается устойчивое развитие и конкурентоспособность сельского хозяйства. С помощью этих технологий обеспечивается экономия горюче-смазочного сырья до 2–3 раз, трудозатрат до 3 раз, поддерживается плодородие почвы и улучшается экологическая обстановка.

Выводы и рекомендации. Сопоставляя все эти мероприятия, можно сказать, что эффективнее всего будет совмещение методов по решению проблемы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве. Таким образом, предприятиям, стремящимся первенствовать в производстве сельскохозяйственных товаров, необходимо постоянно заниматься энергосбережением и поиском инноваций.

Список литературы

1. Энергосбережение // Википедия: интернет-портал. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%D1%81%D0%B1%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5/> (дата обращения: 05.12.2023).
2. Современные тенденции энергосбережения в АПК // CYBERLENINKA: интернет-портал. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-energoberezhenie-v-apk> (дата обращения: 10.12.2023).
3. Прикладная теория энергосбережения в биоэнергетических системах АПК // Интернет-портал. – URL: <https://ostu.ru> (дата обращения: 10.12.2023).
4. Энергосбережение в сельском хозяйстве // Интернет-портал. – URL: <https://www.elektro-expo.ru/ru/articles/energoberezhenie-v-selskom-hozyaystve/> (дата обращения: 10.12.2023).

С. И. Платонова
Удмуртский ГАУ

АНТРОПОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ ЦИФРОВОГО ОБЩЕСТВА

Рассматриваются основные характеристики цифрового общества. Анализируются концепции метрического общества С. Мау, акторно-сетевой теории Б. Латура, цифрового общества Д. Добринской с целью выявления общих и различных характеристик между ними. Показано, что в цифровом обществе возникают противоречивые отношения между такими явлениями, как идентичность и персонализация; индивидуальность и стандартизация; свобода и социальный контроль, ренальная и виртуальная идентичности. Делается вывод о значимости гуманистических ценностей в цифровом обществе.

Актуальность. Создание и распространение компьютеров, изобретение Интернета началось в 80–90-х гг. XX века, а с наступлением XXI века цифровые технологии пронизывают буквально все сферы жизни. Продолжается активное использование разнообразных мобильных устройств, таких, как смартфоны, мобильные планшеты, «умные вещи», которые способны подключаться к Интернету и обмениваться информацией без участия человека. Как отмечает М. Кастельс, «беспроводная коммуникация стала передающей платформой для выбора многих типов цифровых продуктов, включая игры, музыку, видеоизображения и новости. Единая компьютерная сеть электронной коммуникации охватывает все, что мы делаем, везде и всегда» [4]. Цифровизация приводит к трансформациям всех социальных процессов, социальных институтов, общества в целом. Актуальным в этой связи представляется исследование антропологических вызовов, трудностей, амбивалентностей, возникающих в цифровом обществе.

Цель и задачи. Основная цель исследования – рассмотреть амбивалентность цифровых процессов, влияющих на человека поколения цифры. Из сформулированной цели вытекают следующие **задачи:**

- во-первых, рассмотреть основные характеристики цифрового общества;
- во-вторых, проанализировать амбивалентность воздействия цифровых технологий на человека.

Материалы и методика. Методологическая стратегия основана на использовании общелогических методов, таких, как анализ, сравнение, обобщение. Методология исследования исходит из междисциплинарного характера рассматриваемой проблемы. В основе исследования «принцип энактивизма, указывающий на со-возникновение новых качеств» [6].

Результаты исследования.

Концептуальное осмысление цифрового общества. Существуют разнообразные исследования, анализирующие цифровое общество. При этом авторы выделяют экономические, политические, социальные, культурные, антропологические особенности этого общества. В данном исследовании едва ли возможно представить в систематическом виде весь спектр существующих теоретических позиций, поэтому остановлюсь на подходе Д. Добринской, предложившей, по моему мнению, весьма полный и обстоятельный анализ особенностей цифрового общества. Итак, цифровое общество имеет следующие характеристики:

- общество – это открытая структура;
- общество как социальная система характеризуется динамичностью, непредсказуемостью, неравновесностью, процессуальностью;
- социальные системы обладают эмерджентными свойствами;
- социальная жизнь трансформируется из «бытия-рядом-с-другими» к «бытию-на-расстоянии»;
- человечество становится единым социальным организмом;
- современный человек живет техносоциальной жизнью;
- современный мир становится суперсвязанным [3].

Немецкий экономист, основатель Всемирного экономического форума в Давосе Клаус Шваб полагает, что экономической основой цифрового общества является четвертая промышленная революция, начавшаяся в конце XX века [9]. Ее чертами являются «мобильный Интернет, искусственный интеллект, обучающиеся машины, ... взаимодействие виртуальных и физических систем производства, ... синтез технологий и их взаимодействие в физических, цифровых и биологических доменах» [9].

Кроме четвертой промышленной революции как экономической основы цифрового общества в философской и социологической литературе также востребованы дискуссии, связанные с формированием «общества 5.0». Отмечается, что «общество 5.0 – это

ступень, следующая за информационным обществом, развитие которого обусловлено технологиями big data. ... Это суперинтеллектуальное общество, поскольку интернет вещей, искусственный интеллект, робототехника и большие данные используются не только в сфере бизнеса и производства, а пронизывают все области жизнедеятельности современного общества» [3].

Новую социальную реальность, складывающуюся под воздействием цифровых технологий, исследователи называют постгуманистической реальностью, «метрическим обществом» [12], «обществом платформ» [10], коммуникативным капитализмом [2]. Немецкий социолог С. Мау, отталкиваясь от созданной в Китае системы социального кредитования, говорит о формировании метрического общества, в котором все социальные процессы подлежат калькулированию и подсчету. Согласно китайской системе социальных кредитов, каждое индивидуальное поведение должно быть сведено, обобщено в единую оценку, в единый показатель. «Структуры потребления, финансовые транзакции, мобильные профили, дружеские связи, социальные профили – все это становится статистически измеримым» [12]. Количественный анализ увеличивает возможности для конкуренции и сравнения, так как мы можем сравнивать себя с другими людьми практически в каждой области. А это, в свою очередь, ведет к социальной иерархии и определенному ранжированию индивидов.

Отметим, что существует также ранжирование научной деятельности. Для этого вводятся наукометрические базы данных, всевозможные индексы и цифровые показатели, характеризующие деятельность ученых. При этом показатели научной работы коррелируются со всевозможными премиями и грантами. Поэтому зачастую научная работа сводится к искусственной гонке за этими цифровыми показателями, к искусственному повышению цитирований. Такая практика вызывает нарекания в профессиональной академической среде [1].

В западной и отечественной литературе продолжают дискуссии о моделях цифровизации, об амбивалентности цифрового общества, о противоречивости использования искусственного интеллекта. Так, например, С. Кравченко сравнивает рационально-формальную модель цифровизации и национально-культурную модель цифровизации. В первой модели присутствует «культура отмены: это отмена национальных культурных особенностей. В ней доминируют тренды хаотизации и дегуманизации»

[5]. Негативно оценивая эту модель, С. Кравченко предлагает «гуманистически-ориентированный управленческий подход к распространению новых био- и цифровых технологий с учетом базовых ценностей и этических принципов, исторически сформировавшихся в национальной культуре» [5].

Антропологические вызовы цифрового общества. В последние годы востребована теория акторной сети, разработанная французским антропологом и социологом Б. Латуром. Она обращает внимание на материальность и гетерогенную природу человеческого опыта и субъективности. Акторно-сетевая теория говорит об исчезновении границ между фундаментальными дихотомиями, такими, как природа/культура, материальное/нематериальное, человеческое/нечеловеческое [11]. О гибридизации социальных и физических процессов, явлений говорит британский социолог Дж. Урри [13]. Хорошим примером сращенности индивида с цифровыми технологиями является Интернет вещей. В настоящее время проблема взаимодействия и взаимоотношения человека и виртуальных технологий приобретает особую остроту, связанную с вовлеченностью индивидов в информационную среду (социальные сети, социальные медиа, применение искусственного интеллекта). Ряд авторов утверждает, что программное обеспечение и пользователи взаимодействуют таким образом, что их трудно отделить друг от друга.

Итак, рассмотренные концептуальные модели и теоретические подходы тематизируют противоречивость цифровых процессов. Цифровое общество во многом амбивалентно, двойственно, имеет как позитивные, так и негативные характеристики.

Отталкиваясь от заявленной темы, покажем, в чем заключаются антропологические вызовы и угрозы применительно к человеку эпохи цифры.

Во-первых, с одной стороны, люди могут легко контактировать друг с другом, так как стираются пространственные и временные границы. С другой стороны, интернет-сообщества во многом эфемерны, долго могут не существовать, нормативность неустойчива, размываются нормы и ценности. У человека появляется множество «цифровых тел», стирается различие между реальным и виртуальным человеком.

Во-вторых, происходит сращивание человека с цифровыми технологиями. Формируется «человек-гибрид», «человек-виртуал», «человек-киборг». С одной стороны, биотехнологии

(например, чипирование) устраняют генетические ошибки природы и совершенствуют человека (зрение, слух), дают возможность вживить в человека чип с информацией. С другой стороны, ставится под вопрос «устойчивое развитие человека как Homo Sapiens» [5], появляются риски онтологической безопасности человека. Может быть усилена слежка, влияние на психику, возможность манипулирования.

В-третьих, если в обществе постмодерна важным было развитие индивидуальных свойств, уникальности и самобытности индивида, то в цифровом обществе наблюдается противоположная тенденция – стремление к унификации и стандартизации жизни [8].

В-четвертых, между идентичностью и персонализацией существуют напряженные отношения. Если идентичность – это самопрезентация индивида, то персонализация – это подборка индивидуального, персонального контента, подстраивающегося под ваши интересы и запросы. Персонализация может стать технологией изменения индивида вследствие воздействия на него Интернета. Персонализация создает так называемый «пузырь фильтров» [7], который, в свою очередь, начинает воздействовать на человека и менять его идентичность. «Стена фильтров может вмешиваться в решения человека и затем формировать будущее человека. ... И каким бы властелином собственной судьбы вы себя ни считали, персонализация способна завести вас на путь информационного детерминизма, когда то, с чем вы ознакомились в прошлом, определяет то, что вы увидите далее ... Вы застрянете в статичной, постоянно сужающейся версии себя, в бесконечной “я-петле”» [7].

Выводы и рекомендации. Таким образом, цифровое общество создает угрозы экзистенциальному существованию человека, самой природе человека. Происходит сращивание человека и цифровых технологий, человека и нечеловеческих актантов. Индивид становится публичным, происходит отказ от приватности, развивается сетевой индивидуализм. Информационные технологии, искусственный интеллект не стимулируют к творчеству, ассоциативным связям, креативности; сокращают разнообразие, побуждающее мыслить инновационно и нестандартно. Поэтому включение цифровых технологий и использование искусственного интеллекта «в антропологический универсум должно происходить на правах подчиненных и осознанно применяемых инструментов» [6].

Список литературы

1. Гринев, А. В. Проблема наукометрической дискриминации российских гуманитариев / А. В. Гринев // Социология науки и технологий. – 2023. – Т. 14, № 2. – С. 122–143.
2. Дин, Дж. Коммуникативный капитализм: от несогласия к разделению / Дж. Дин // Коммуникации. Медиа. Дизайн. – 2017. – Т. 2, № 3. – С. 152–165.
3. Добринская, Д. Е. Цифровое общество в социологической перспективе / Д. Е. Добринская // Вестник Моск. ун-та. Сер. 18. Социология и политология. – 2019. – Т. 25. – № 4. – С. 175–192.
4. Кастельс, М. Власть коммуникации / М. Кастельс. – Москва: Изд. дом ВШЭ, 2016. – 564 с.
5. Кравченко, С. А. Амбивалентности цифровизации: востребованность ее национально-культурной модели для устойчивого развития / С. А. Кравченко // Социологические исследования. – 2022. – № 9. – С. 29–37.
6. Лешкевич, Т. Г. Человек-виртуал и передача культурных ценностей поколению эпохи цифры / Т. Г. Лешкевич // Вопросы философии. – 2022. – № 3. – С. 53–63.
7. Паризер, Э. За стеной фильтров. Что Интернет скрывает от вас? / Эли Паризер; пер. с англ. А. Ширикова. – Москва: Альпина Бизнес Букс, 2012. – 304 с.
8. Платонова, С. И. Социальная идентичность как феномен цифрового общества / С. И. Платонова // Социология науки и технологий. – 2023. – Т. 14. – № 3. – С. 149–164.
9. Шваб, К. Четвертая промышленная революция / Клаус Шваб. – Москва: Эксмо, 2016. – 285 с.
10. Dijck, J. van, Poell, T., Waal, M. de. The Platform Society: Public Values in a Connective World. Oxford / J. van Dijck, T. Poell, M. de Waal. – Oxford University Press, 2018. – 226 p.
11. Latour, B. Reassembling the Social. An Introduction to Actor-Network-Theory / B. Latour. – Oxford University Press, 2005. – 301 p.
12. Mau, S. The Metric Society: On the Quantification of the Social / S. Mau. – Polity Press, 2019. – 200 p.
13. Urry, J. Sociology beyond Societies. Mobilities for the twenty-first century / J. Urry. – London and New York: Routledge, 2000. – 255 p.

П. Н. Покоев, Т. Р. Галлямова

Удмуртский ГАУ

ВЫСШИЕ ГАРМОНИКИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИИ ТРАНСФОРМАТОРА

Проведены теоретические и экспериментальные исследования влияния высших гармоник на работу силового трансформатора.

Актуальность. Подключенный к синусоидальному переменному напряжению трансформатор становится генератором высших гармоник. Это явление проявляется вследствие нелинейной взаимной зависимости между магнитным потоком Φ и намагничивающей силой F . Характеристика холостого хода трансформатора $U_0 = f(I_0)$ отражает зависимость $\Phi = f(F)$, так как напряжение U_0 и ток I_0 связаны прямопропорционально соответственно с магнитным потоком Φ и намагничивающей силой $F = WI_0$ [1–4].

Материалы и методы. Проведены испытания силового трансформатора ТМ63/10, имеющего стандартные данные $P_0 = 240$ Вт, $P_K = 1280$ Вт, $I_0 = 2,8$ %.

Результаты исследований. На рисунке 1 представлена характеристика холостого хода трансформатора ТМ63/10], полученная при испытании со стороны низшего напряжения $U_2 = 0,4$ кВ.

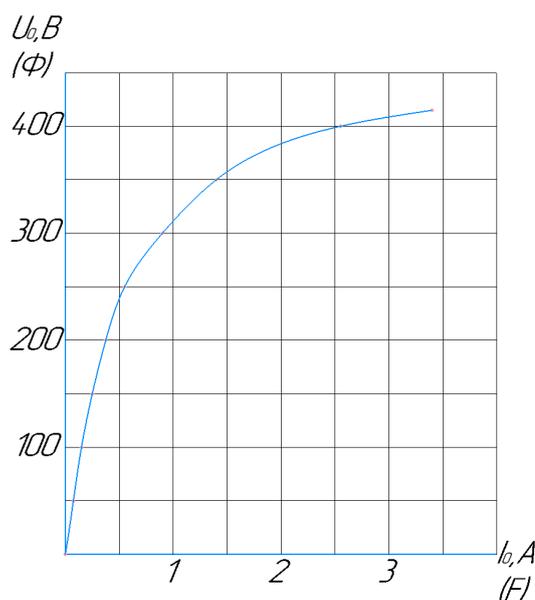


Рисунок 1 – Характеристика холостого хода

Получен коэффициент насыщения магнитной цепи $K_n = 2,8$.

Появление высших гармоник зависит от условий их существования. Рассмотрим условия существования для однофазного трансформатора.

Для однофазного трансформатора в режиме холостого хода синусоидальное по форме напряжение уравнивается ЭДС обмотки при мало значащем падении напряжения на активном сопротивлении реального трансформатора ($r \times i \approx 0$):

$$U_C = U_{MC} \sin \omega t = r \times i + (-e) \approx w \frac{d\Phi}{dt} = -E_M \sin \omega t. \quad (1)$$

Магнитный поток также изменяется по синусоидальному закону и сдвинут по фазе на 90° :

$$\Phi = \Phi_M \sin(\omega t - 90^\circ). \quad (2)$$

При постоянном действующем напряжении сети электродвижущая сила катушки E и магнитный поток Φ имеют также свои постоянные действующие значения. При синусоидальном изменяющемся напряжении U_0 и нелинейной связи между магнитным потоком и намагничивающей силой $F = W \times I_0$ график тока i_0 приобретает несинусоидальную форму, как это показано на рисунке 2.

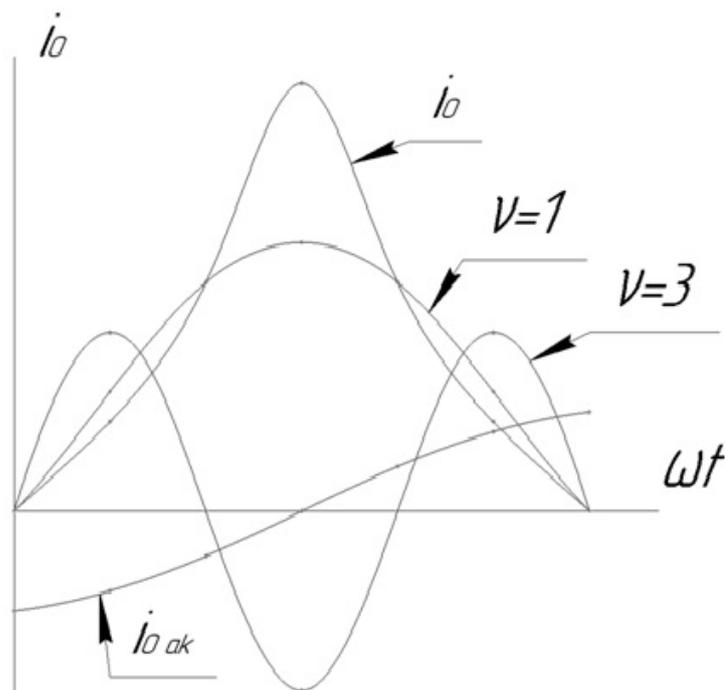


Рисунок 2 – Гармоники намагничивающего тока трансформатора

В составе тока холостого хода i_0 имеются нечетные гармоники $\gamma = 1, 3, 5, 7$ и др [2]. Активная составляющая тока $i_{0ак}$ имеет также синусоидальный вид и относительно меньшее значение, отражает активные потери в магнитопроводе и намагничивающей катушке, сдвинуто по фазе на 90° относительно реактивной составляющей i_0 .

Высшие гармоники в трехфазных трехстержневых трансформаторах проявляют себя по-разному, в зависимости от схемы соединения трехфазных обмоток с первичной и вторичной стороны [2]. В распределительных сетях класса напряжения 10 и 35 кВ мощностью 25–630 кВА широко используются трансформаторы со схемой соединения «звезда-звезда с изолированной нейтралью» [2]. При схеме соединения «звезда» токи гармоник, кратных трём ($\gamma = 3, 9, 15$) в трех обмотках А, В и С, совпадающих между собой по фазе, существовать не могут по причине отсутствия нулевого провода. Следовательно, при подведении к трем фазам А, В и С трансформатора синусоидального по форме трехфазного напряжения токи в фазах А, В и С будут иметь также синусоидальный вид (при отсутствии токов гармоник $\gamma = 3, 9, 15 \dots$) [1]. Но с учетом нелинейной связи между током i_0 и U_0 (см. рис. 1) магнитный поток Φ_0 приобретает несинусоидальную (уплощенную) форму, в составе которого имеются магнитные потоки нечетных гармоник, кратных трём $\gamma = 3, 9, 15 \dots$ [1].

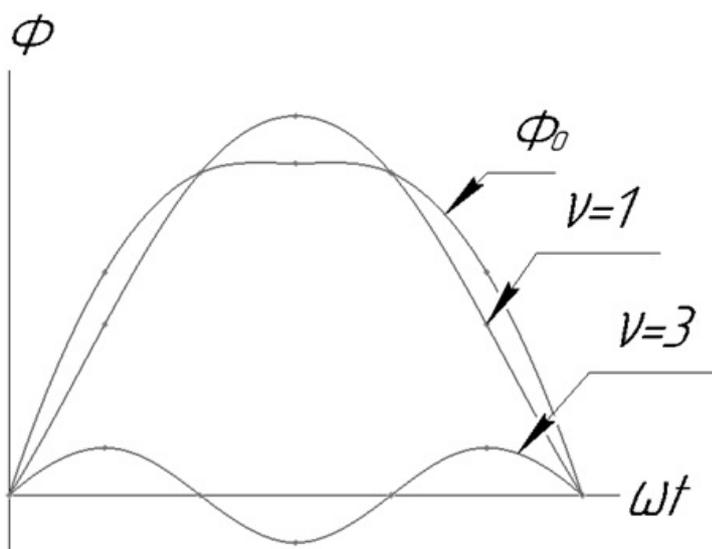


Рисунок 3 – Гармоники магнитного потока фазы трансформатора

Магнитный поток третьей гармоники, изменяясь с частотой 150 Гц в каждом стержне трехфазного трансформатора, наводит зна-

чительные по величине ЭДС в каждой фазе. Поэтому ЭДС фазы становится несинусоидальной, нарушается соотношение между фазным и линейным напряжением, $U_{\phi} \sqrt{3} > U_{л}$, так как в линейных напряжениях отсутствуют ЭДС гармоник, кратных трем, $\gamma = 3, 9, 15 \dots$. Магнитные потоки третьих гармоник в трехстержневом трансформаторе, совпадая по фазе, не имеют возможность замыкаться полностью по магнитопроводу. Они замыкаются по воздуху, маслу, крепежным деталям, стенкам бака. При этом возникают дополнительные потери активной мощности от вихревых токов, которые входят в общие измеряемые потери холостого хода.

Присутствие нулевого провода во вторичной обмотке трехфазного трансформатора со схемой «звезда-звезда с нулевым проводом» при нагрузке практически не изменяют проявление третьих гармоник в трансформаторе, так как ток третьих гармоник, замыкаясь через сопротивление нагрузки, не достигает значительной величины.

Выводы и рекомендации: трансформатор с ферромагнитным сердечником при подключении к напряжению синусоидальной формы потребляет из сети активную и намагничивающую мощности, связанные с высшими гармониками. Это усложняет аналитический расчет тока холостого хода, активной и полной мощности.

Список литературы

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л. А. Бессонов. – 9-е изд., перераб. и доп. – Москва: Высшая школа, 1996. – 638 с.
2. Вольдек, А. И. Электрические машины: учебник для студентов высш. техн. заведений. – 3-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Энергия, 1978. – 832 с.
3. Покоев, П. Н. Испытание ферромагнитной пасты / П. Н. Покоев, В. А. Носков // Научно обоснованные технологии интенсификации сельскохозяйственного производства: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 томах. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2017. – Т. 3. – С. 301–303.
4. Покоев, П. Н. Испытание удельного сопротивления магнитной системы трансформатора / П. Н. Покоев, Л. Н. Прокопьев // Инновационные решения стратегических задач агропромышленного комплекса: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию Удмуртского ГАУ, Ижевск, 28 февраля – 05 марта 2023 г.: в 3 т. – Ижевск: УдГАУ, 2023. – Т. 3. – С. 127–131.

А. А. Попова, Л. А. Пантелеева

Удмуртский ГАУ

МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРА ГИДРОАГРЕГАТА ВОТКИНСКОЙ ГЭС

В данном исследовании предлагается проанализировать системы релейной защиты блока генератор-трансформатор электрической станции и их техническое обслуживание, а также определить необходимый состав системы релейной защиты энергоблока. Важно отметить, что переход на новую элементную базу не влечет за собой изменения в принципах релейной защиты и электроавтоматики, а лишь расширяет их функциональные возможности, упрощает эксплуатацию и снижает стоимость. Отсюда следует, что микропроцессорные устройства быстро заменяют устаревшие электромеханические и микроэлектронные реле, что делает их более привлекательными и эффективными.

Актуальность. В современной энергетике одной из ключевых стратегических задач является комплексное техническое обновление и реконструкция систем релейной защиты и автоматики (РЗА) с акцентом на автоматизацию диспетчерских операций. Достижение этой цели неосуществимо без применения микропроцессорных устройств, которые обладают такими преимуществами, как высокая скорость обработки, селективность, чувствительность и надежность.

Цель исследования: модернизация релейной защиты генератора № 4 Воткинской ГЭС. Это обновление необходимо в связи с физическим и моральным износом имеющегося оборудования. В рамках этой модернизации используется самое современное оборудование, оснащенное микропроцессорными устройствами, которые отличаются повышенной надежностью, чувствительностью, быстродействием и удобством в эксплуатации. Такой подход позволяет достичь оптимальной защиты генератора и повысить эффективность его работы.

Объект исследования: Воткинская ГЭС – одна из крупнейших гидроэлектростанций в России.

Предмет исследования: техническое состояние генератора № 4, который является важным компонентом данной электростанции.

Методы и методика. Термографическое обследование, которое позволило получить информацию о тепловых распределе-

ниях и выявить возможные проблемные зоны. Также применили имитационное моделирование, чтобы оценить влияние различных факторов на работу генератора. Регрессионный анализ, анализ частых отключений и использование элементов теории надежности позволили провести более глубокий анализ и определить факторы, которые могут влиять на техническое состояние генератора. Кроме того, использовали метод экспертных оценок, чтобы получить мнение квалифицированных специалистов в данной области. Это позволило учесть различные аспекты и получить более полную картину технического состояния генератора.

Результаты исследований. В ходе исследования пришли к выводу, что эксплуатация энергоустановок и электрических сетей неразрывно связана с повреждениями и ненормальными режимами работы. Особенно опасными являются короткие замыкания, перегрузки и повреждения изоляции, которые могут привести к серьезным последствиям для работы генератора и всей электростанции. Это исследование имеет важное значение для дальнейшего улучшения технического состояния генератора № 4 Воткинской ГЭС и обеспечения безопасной и надежной работы энергетического оборудования.

В большинстве ситуаций предотвращение развития аварии возможно благодаря быстрому отключению поврежденного участка электрической установки или сети с помощью специализированных автоматических устройств, известных как релейная защита [2, 5].

В соответствии с правилами технической эксплуатации (ПТЭ), силовое оборудование электрических станций, подстанций и электрических сетей должно быть обязательно защищено от коротких замыканий и отклонений от нормальных режимов работы с использованием релейной защиты и электроавтоматики (РЗА) [1, 3].

Быстрый прогресс в области микропроцессорной техники, телекоммуникаций и информационных технологий сыграл значительную роль в совершенствовании систем автоматизированного управления. Внедрение самоконтроля и диагностирования в микропроцессорные системы автоматизации меняет подход к техническому обслуживанию, повышает надежность работы и уменьшает необходимость в избыточности и дублировании функций, что позволяет увеличить интервалы между плановыми проверками. Однако преобразование электрических сигналов в цифровую

форму создает новые технические задачи, требующие поиска соответствующих решений.

Внедрение микропроцессорных защит в России началось в середине 90-х годов, в период глубокого экономического кризиса. Этот процесс имеет свои особенности, обусловленные несколькими факторами.

Во-первых, существовал значительный разрыв в ценах между микропроцессорными защитами и электромеханическими. Это было вызвано завышенным курсом доллара в России и традиционно заниженными ценами на электромеханические реле по сравнению с мировыми стандартами. Эта ситуация сложилась в период советской экономики.

Во-вторых, на энергообъектах России существовала неблагоприятная электромагнитная обстановка. Она характеризовалась высоким уровнем помех в цепях оперативного тока и в контурах заземления. Это сильно осложняло внедрение и функционирование микропроцессорных защит [4].

Таким образом, учитывая данные факторы, внедрение микропроцессорных защит в России в период середины 90-х годов имело свои особенности и вызывало определенные трудности.

Данное явление объясняется двумя факторами. Во-первых, наблюдается удешевление строительства и полное отсутствие контроля электромагнитной обстановки в связи с запоздалым внедрением цифровой техники в энергетическом секторе России, что затрудняет использование микропроцессорных защит. Во-вторых, наблюдается неподготовленность персонала к эксплуатации таких защит. Также следует отметить появление на российском рынке микропроцессорных защит от различных фирм, изделия которых не соответствуют установленным техническим требованиям в России.

Однако в последние годы ситуация постепенно меняется в пользу расширения использования микропроцессорных защит. Цены на них непрерывно снижаются одновременно с повышением цен на микроэлектронные и электромеханические защиты. Такое развитие событий способствует увеличению применения микропроцессорных защит в энергетической отрасли России.

В настоящее время активно применяются микропроцессорные защитные системы, разработанные такими компаниями, как ООО «АББ Автоматизация» (Россия), «Сименс» (Германия), «Джек Альстом» (Франция), ЭКРА (Россия), АО «Ленинградский электромеха-

нический завод» совместно с НТЦ «Механотроника» (Россия) и другими. Эти компании являются ведущими производителями и постоянно внедряют новые технологии и инновационные решения в области защиты. Использование микропроцессорных защитных систем позволяет повысить эффективность и надежность важных технических процессов, обеспечивает защиту от неполадок и сбоев в работе оборудования, а также минимизирует риски возникновения аварий и аварийных ситуаций. Таким образом, применение указанных микропроцессорных защитных систем является актуальным и необходимым трендом в современной технической сфере.

Список литературы

1. Рожкова, Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций: учебник для техникумов / Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с., ил.
2. Шабад, М. А. Защита генераторов малой и средней мощности: учебное пособие. – Санкт-Петербург: ПЭИПК, 2001.
3. Инструкция по эксплуатации РЗА гидроагрегатов / Гл. инженер филиала ОАО «РусГидро – Воткинская ГЭС» А. П. Деев.
4. Чернобров, Н. В. Релейная защита: учебное пособие для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергия, 1971.
5. Соловьев, А. Л. Защита генераторов малой и средней мощности терминалами «Сириус – ГС» – Санкт-Петербург, 2006.

УДК 621.384.3.061:631.462+631.311.8

И. Г. Поспелова¹, И. В. Возмищев², И. В. Титов¹

¹*Удмуртский ГАУ*

²*ИжГТУ им. М. Т. Калашиникова*

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ИК-ИЗЛУЧЕНИЕМ ПОЧВОСМЕСИ В ТОНКОМ СЛОЕ НА КОНВЕЙЕРЕ

Представлена структурная электрическая схема установки для обеззараживания ИК-излучением почвосмеси в тонком слое на конвейере, которая дает возможность лучшему представлению управлением установкой и пониманию ее работы для разработки программы для ЭВМ.

Актуальность. На структурной электрической схеме изображают все основные функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы) и основные взаимосвязи между ними. Графическое построение схемы должно обеспечивать наилучшее представление о последовательности взаимодействия функциональных частей в изделии. На линиях взаимосвязей рекомендуется стрелками обозначать направление хода процессов, происходящих в изделии.

Материалы и методика. Структурная электрическая схема установки для обеззараживания ИК-излучением почвосмеси в тонком слое на конвейере (рис. 1) показана на рисунке 2 [1–5].

Результаты исследований. Из бункера (1) грунт тонким слоем до 3 см насыпается на ленту конвейера (2). Перемещаясь с лентой, слой почвосмеси подвергается термическому обеззараживанию ИК-горелкой (3), прогревается до необходимой температуры (95 ± 5)°C и далее с конвейера сыпается в следующий бункер созревания почвосмеси (4).

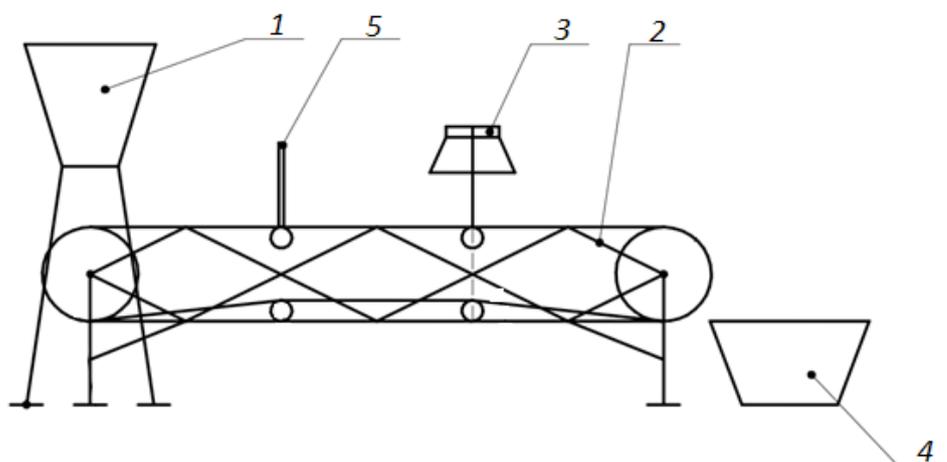


Рисунок 1 – Схема устройства для обеззараживания ИК-излучением почвосмеси в тонком слое на конвейере:

1 – бункер; 2 – лента конвейера; 3 – ИК-горелка; 4 – бункер созревания почвосмеси; 5 – датчик температуры

Скорость вращения ленты конвейера должна быть такой, чтобы почвосмесь успевала нагреться до температуры обеззараживания. Температуру обеззараживания почвосмеси в зоне ИК-облучения контролирует датчик температуры. В зависимости от начальной температуры и влажности почвосмеси скорость ее нагрева может меняться, поэтому и скорость вращения ленты конвейера тоже меняется. За это отвечает программируемое реле ПР-200, куда записана программа, которая синхронизирует скорость

вращения ленты конвейера и температуру обеззараживания почвосмеси.

Для лучшего представления работы управления установкой и процессом обеззараживания почвосмеси была разработана структурная электрическая схема ее управления (рис. 2).

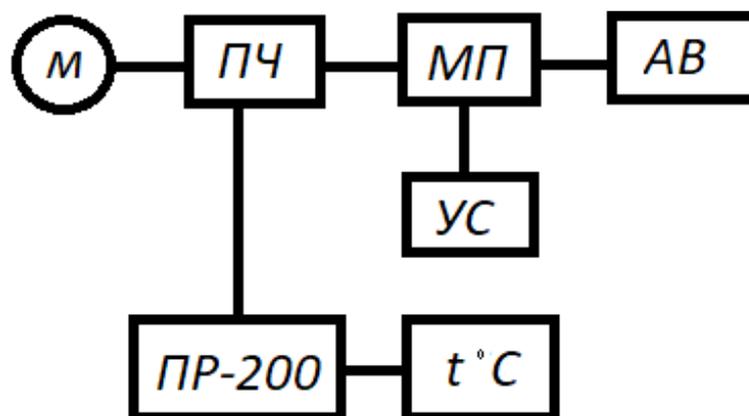


Рисунок 2 – Структурная электрическая схема управления установкой для обеззараживания ИК-излучением почвосмеси в тонком слое на конвейере:

М – асинхронный двигатель (мотор-редуктор); ПЧ – преобразователь частоты; МП – магнитный пускатель; АВ – автоматический выключатель; УС – схема управления; ПР-200 – программируемое реле; $t^{\circ}\text{C}$ – датчик температуры

Привод вращения ленты конвейера осуществляется асинхронным двигателем (мотор-редуктором) (М). Регулирование частоты оборотов двигателя происходит частотным преобразователем (ПЧ). Включается двигатель магнитным пускателем (МП) от его схемы управления (УС). Также предусмотрен автоматический выключатель (АВ). Частотный преобразователь контролируется программируемым реле ПР-200, который получает информацию от датчика температуры ($t^{\circ}\text{C}$).

Выводы и рекомендации. Разработанная структурная схема дает возможность лучшему представлению управлением установкой для обеззараживания ИК-излучением почвосмеси в тонком слое на конвейере и пониманию ее работы для разработки программы для ЭВМ.

Список литературы

1. Пospelова, И. Г. Способы обеззараживания почвы и субстрата в условиях защищенного грунта / И. Г. Пospelова, И. В. Возмищев // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 160-летию со дня рождения

П. А. Столыпина, Ульяновск, 14–15 апреля 2022 г. Т. 2022. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 2022. – С. 453–457.

2. Применение инфракрасного нагрева при обеззараживании почвы в защищенном грунте и механизм распространения тепла / П. В. Дородов, И. Г. Пospelова, И. В. Возмищев, И. В. Титов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69, № 2 (47). – С. 59–64. – DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-2-59-64.

3. Пospelова, И. Г. К вопросу о способах обеззараживания почвы в защищенном грунте / И. Г. Пospelова, И. В. Возмищев, А. М. Ниязов. – DOI 10.22314/2658-4859-2020-67-3-45-49 // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – Т. 67, № 3 (40). – С. 45–49.

4. Применение ИК-излучения для нагрева почвы в качестве обеззараживания в защищенном грунте / И. Г. Пospelова, Т. А. Широбокова, И. В. Возмищев, И. В. Титов // Образование, наука и производство в XXI веке: современные тенденции развития: материалы юбилейной Международной конференции, Могилев, 11–12 ноября 2021 г. – Могилев: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», 2021. – С. 154–155.

5. Пospelова, И. Г. ИК-нагрев для обеззараживания почвы в защищенном грунте / И. Г. Пospelова, И. В. Возмищев // Развитие инженерного образования и его роль в технической модернизации АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 65-летию подготовки инженеров-механиков Ижевской государственной сельскохозяйственной академией, Ижевск, 11–13 ноября 2020 г. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2021. – С. 158–160.

УДК 004.312.46:007.52

Л. Н. Прокопьев, Д. А. Русских, В. А. Токарева
Удмуртский ГАУ

АНАЛИЗ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ

Рассматриваются микроконтроллеры и платы на их базе. Рассмотрены два основных микроконтроллера ATMEGA8 и ATMEGA168, используемые в платах Arduino. Также даны рекомендации при работе с ними.

Актуальность. Микроконтроллеры занимают значительное место в нашей повседневной жизни и продолжают набирать все большую популярность. Сегодня они являются неотъемлемой частью каждого прибора и устройства, с которыми мы имеем дело

на ежедневной основе. Микроконтроллеры представляют собой одну из наиболее динамично развивающихся сфер современной электроники. Они находят широкое применение в таких сферах, как производство вычислительной, измерительной и научной аппаратуры, транспортных средств и систем связи, а также бытовой техники и многих других областях. Постоянно растущий спрос на них объясняется рядом факторов, среди которых главное место занимает удобство использования.

Материалы и методика. Микроконтроллер – это микросхема, представляющая собой миниатюрный компьютер, используемый для управления различными электронными устройствами. Он работает на основе программы, созданной программистом и заложеной в его память. Типовой микроконтроллер объединяет функции процессора и различных периферийных устройств, а также содержит оперативную или постоянную память.

Существует большое количество микроконтроллеров и готовых плат для них, которые упрощают работу с ними и выполнение физических вычислений. Эти платы предлагают похожий функционал и объединяют информацию о программировании в удобную конструкцию. Одной из таких плат является Arduino, которая облегчает работу с микроконтроллерами.

Результаты исследований. Микроконтроллеры ATmega8 и ATmega168 используются в платах Arduino (рис. 3, 4).

Плата Arduino обладает рядом преимуществ, которые делают ее привлекательной для пользователей:

1. Простая и удобная среда разработки для плат Arduino подходит как новичкам, так и профессионалам.

2. ПО Arduino имеет открытый исходный код, что позволяет опытным пользователям модифицировать его по своему усмотрению.

Язык программирования Arduino может быть дополнен библиотеками C++. Если необходимо, разработчик может перейти на язык AVR C, который лежит в основе C++. Это позволяет включать в программу код из среды разработки AVR-C.

Аппаратные возможности Arduino можно расширять, поскольку принципиальные схемы доступны для всех. Микроконтроллеры ATmega8 и ATmega168 служат основой для плат Arduino. Исходные схемы плат Arduino выпускаются под лицензией, что позволяет опытным инженерам создавать свои версии этих устройств, модифицируя и улучшая их. Даже простые пользовате-

ли могут создавать опытные образцы для экономии средств. Топология этих плат находится в открытом доступе.



Рисунок 1 – Микроконтроллер ATMEGA8

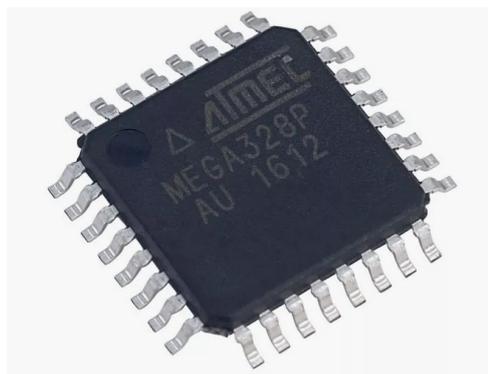


Рисунок 2 – Микроконтроллер ATMEGA168



Рисунок 3 – Плата Arduino на базе микроконтроллера ATMEGA8



Рисунок 4 – Плата Arduino на базе микроконтроллера ATMEGA168

Выводы и рекомендации. Корпус робота может быть изготовлен из любого материала, используемого для твердотельных роботов. Пластик является хорошим выбором из-за его экономичности и способности создавать малогабаритные и легкие роботы. В качестве основного мотора для мобильного робота подходит коллекторный электродвигатель постоянного тока, который прост в управлении, обладает достаточной мощностью и имеет высокий КПД. Для управления рулем подходит сервопривод с высокой точностью и большим усилием. Управляющая система выбрана в виде микроконтроллерной платы Arduino Uno, которая обладает необходимым числом входов/выходов, необходимой оперативной памятью и рабочей частотой.

Список литературы

1. Гордиевских, В. М. Микроконтроллеры LEGO EV3 и Arduino UNO как технологическая основа для курса робототехники в вузе / В. М. Гордиевских, А. А. Кораблев // Вестник Шадринского государственного педагогического университета. – 2016. – № 3 (31). – С. 160–163.
2. Захаров, Н. Т. Разработка методических рекомендаций по программированию на плате Arduino / Н. Т. Захаров, А. С. Дедюкина // Проблемы научно-практической деятельности. Перспективы внедрения инновационных решений: материалы Всерос. науч.-практ. конф., Ижевск, 17 декабря 2019 г. Том Часть 3. – Ижевск: ОМЕГА САЙНС, 2019. – С. 16–19.
3. Обзор робототехнических платформ для образовательных учреждений. – URL: <https://kurets.ru/zanudnye-obzory/112-obzor-robototexnicheskix-platform-dlya-obrazovaniya>.

УДК 631.371:621.313.12:544.772

Л. Н. Прокопьев, П. Л. Лекомцев
Удмуртский ГАУ

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПОЛОЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЯ

Равномерное распределение электроаэрозольного тумана по всему пространству животноводческого помещения является ключевым элементом электроаэрозольной обработки. Представлен математический подход к расчету оптимального расположения электроаэрозольных распылителей для обеспечения равномерного покрытия помещения аэрозолем.

Актуальность. Увеличение объемов производства животноводческой продукции может быть достигнуто путем концентрации животных на ограниченных территориях промышленных животноводческих комплексов. Однако это также приводит к ухудшению эпидемиологической обстановки, более интенсивному распространению патогенных микроорганизмов как внутри комплекса, так и за его пределами.

В связи с этим особый интерес представляет разработка и применение новых высокоэффективных технологий обработки помещений, которые позволят снизить расход препаратов и предотвратить загрязнение окружающей среды вредными выбросами аэрозолей.

Материалы и методики. Расположение электроаэрозольных генераторов в помещении должно быть таким, чтобы обеспечить заданную концентрацию аэрозоля в самых дальних точках помещения.

Если электроаэрозольное облако распространяется в виде сферы, то это условие может быть выполнено при расположении генераторов так, чтобы факелы распыления перекрывались, как показано на рисунке 1.

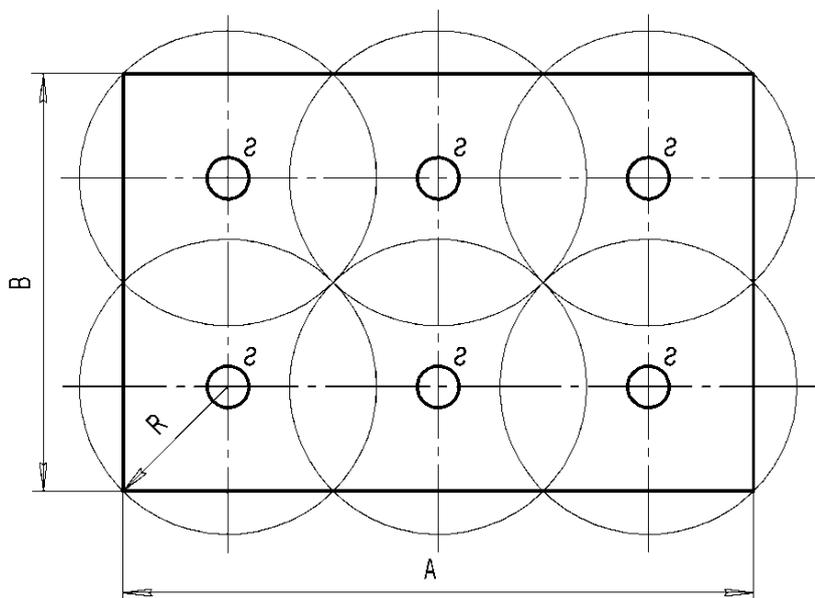


Рисунок 1 – Расположение генераторов с наложением факелов

Ряд научных исследований и опыт ветеринарной практики показывают, что использование химических и биологических препаратов в виде заряженных аэрозолей позволяет существенно улучшить технологию обработки [1–6]. В заряженном аэрозо-

ле действуют дополнительные силы, обеспечивающие равномерное распределение аэрозоля в объеме помещения, увеличение скорости и плотности оседания, усиление дезинфицирующего эффекта, сокращение времени и дозировки обработки.

Для обеспечения максимальной эффективности электроаэрозольной обработки генераторы следует размещать таким образом, чтобы гарантировать заданную концентрацию аэрозоля во всех точках помещения. Если электроаэрозоль распространяется в форме сферы, то оптимальное размещение генераторов предполагает их расположение с перекрытием факелов распыления.

Результаты исследований. Дифференциальное уравнение, которое описывает изменение концентрации заряженного аэрозоля при работе электроаэрозольного генератора с учетом кратности воздухообмена и без учета коагуляции, может быть записано в следующем виде. Источники информации: [3, 4].

$$\frac{dn}{dt} = \frac{1}{6} \frac{q^2}{\varepsilon_0 \pi \eta_e r} n^2 - \left(\frac{v_g}{h} + K_v \right) n + \frac{Q_{жс}}{v_k \pi R^2 h}, \quad (1)$$

где Q – заряд частицы, Кл;

ε_0 – электрическая постоянная, Ф/м;

η_e – динамическая вязкость воздуха, Н с/м²;

r – радиус частицы аэрозоля, м;

v_g – скорость движения частицы под действием силы тяжести, м/с;

h – высота помещения, м;

K_v – кратность воздухообмена, 1/с;

$Q_{жс}$ – объемный расход жидкости, м³/с;

v_k – объем капли, м³.

Для упрощения работы с дифференциальным уравнением обозначим:

$$c_1 = - \frac{1}{6} \frac{q^2}{\varepsilon_0 \pi \eta_e r}. \quad (2)$$

$$c_2 = - \left(\frac{v_g}{h} + K_v \right). \quad (3)$$

$$c_3 = \frac{Q_{жс}}{v_k \pi R^2 h}. \quad (4)$$

Тогда дифференциальное уравнение (1) запишется в виде:

$$\frac{dn}{dt} = c_1 n^2 + c_2 n + c_3. \quad (5)$$

Установившийся уровень концентрации заряженного аэрозоля в помещении достигается при равенстве скоростей поступления и оседания аэрозоля, то есть при условии $dn/dt = 0$

$$n_{уст} = \frac{-c_2 - \sqrt{c_2^2 - 4c_1 c_3}}{2c_1}. \quad (6)$$

В этом случае концентрацию заряженного аэрозоля (мл/м³), которая установилась в помещении, можно рассчитать по следующей формуле:

$$n_p = 10^6 n_{уст} \frac{4}{3} \pi r^3. \quad (7)$$

Минимальный допустимый радиус сферы заряженного аэрозоля может быть определен при заданной концентрации n_p , производительности генератора $Q_{жс}$ и напряжении зарядки U можно определить из выражения (1):

$$R = \left(\frac{4c_1 Q_{жс}}{v_k \pi h (c_2^2 - k_1)} \right)^{1/2}, \quad (8)$$

где $k_1 = \frac{6c_1 n_p}{4\pi r^3 10^9} + c_2$.

Расчет минимального количества генераторов при заданных размерах А и В помещения осуществляется по следующим формулам:

$$n_a = \frac{A\sqrt{2}}{2R}. \quad (9)$$

$$n_b = \frac{B\sqrt{2}}{2R}. \quad (10)$$

Выводы и рекомендации. Если взять помещение размером 50 метров на 30 метров и производительность генератора

$Q_{жс} = 9$ мл/с, то по стороне А потребуется более 2 таких генераторов, а по стороне В – 1. Если же производительность $Q_{жс}$ равна 4 мл/сек, то по стороне А нужно разместить более 3 таких генераторов, а по стороне В – более 2.

С помощью этих формул можно определить необходимое количество генераторов для помещений любого размера.

Список литературы

1. Бородин, И. Ф. Борьба с источниками микробного заражения / И. Ф. Бородин, И. Л. Бухарин, П. Л. Лекомцев // Сельский механизатор. – 2004. – № 1. – С. 20–22.
2. Бородин, И. Ф. Исследование распространения электроаэрозоля в крупногабаритных животноводческих помещениях / И. Ф. Бородин, П. Л. Лекомцев // Доклады РАСХН. – 2006. – № 4. – С. 53–55.
3. Лекомцев, П. Л. Расчет параметров электроаэрозоля для обработки животноводческих помещений / П. Л. Лекомцев // Вестник РАСХН. – 2006. – № 6. – С. 89–90.
4. Лекомцев, П. Л. Электроаэрозольные технологии в сельском хозяйстве: моногр. / П. Л. Лекомцев. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2006. – 219 с.
5. Лекомцев, П. Л. Электроаэрозольное увлажнение воздуха птицеводческих помещений / П. Л. Лекомцев, Е. В. Дресвянникова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 10. – С. 23–24.
6. Лекомцев, П. Л. Расчет расположения электроаэрозольных генераторов / П. Л. Лекомцев // Инновационные технологии для реализации программы научно-технического развития сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Ижевск, 13–16 февраля 2018 г. в 3 т. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2018. – Т. 3. – С. 57–60.

Д. А. Русских, Л. Н. Прокопьев, В. А. Токарева
Удмуртский ГАУ

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПОЛЕВЫХ РАБОТ ПРИ МИКРОПОЛЕВОМ ОПЫТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Представлена информация о возможном применении роботизированных мобильных платформ для проведения микрополевых методов исследования в агрономии.

Актуальность. В процессе проведения исследовательских работ агрономы сталкиваются с микрополевым методом посева растениеводческих культур. Во время данного исследования требуется произвести отбор почвы на влажность и плотность, отбор участка для проведения опыта, разбиение участка на делянки, посев культуры, уход за состоянием делянок, контроль и слежение за растениями.

Материалы и методики. Анализ доступных литературных источников и наработок исследовательских работ в сфере робототехники и агрономии.

Объект исследования. Микрополевой опыт исследования на учебно-опытном участке.

Предмет исследования. Количественно-качественные показатели в процессе микрополевого опыта, методы и вторичные операции по уходу за участком микрополевого опыта.

Новизна исследования – применение роботизированной работы мобильной платформы для сокращения человеческой работы при микрополевом методе исследования.

Результаты исследований. Изначально участок делится на ярусы (ряды), далее на каждом ярусе формируются делянки 1×1 метр, с межделяночным на ярусе пространством для дорожек около 20 см. Таким же пространством отделены друг от друга ярусы (рис. 1). При точной расстановке межделяночных и межъярусных пространств можно сформировать прямые пути следования для мобильной платформы. Возможно и само применение мобильной роботизированной платформы для создания этих пространств и делянок. Далее работа можно применять в различных целях на пути его следования из пункта А в пункт В. Это может

быть прополка дорожек от сорняков во избежание их дальнейшего разрастания и влияния на делянки с объектами исследования. Оценка высоты культуры, произрастающей на делянке, сбор образцов почвы на влажность и плотность. Габариты и функционал робота будет ограничиваться параметрами «проходных» дорожек.

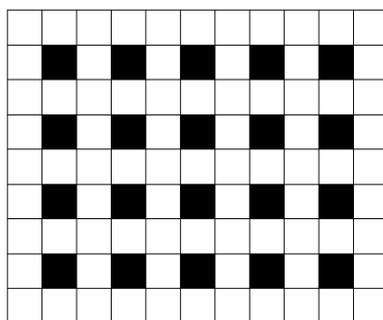


Рисунок 1 – Возможная схема размещения исследуемых делянок (черные квадраты) и зоны перемещения роботизированной мобильной платформы (белые квадраты)

Традиционным и наиболее надежным в течение многих лет был способ механического (или ручного) удаления сорняков. Наряду с преимуществами у него есть и большой недостаток – трудоемкость и энергозатратность, что сильно сказывается на рабочем времени исследователя-агронома. Помимо ухода за межделяночным пространством необходимо проводить учет и анализы исследуемых культур. Наиболее распространенные методы механического уничтожения сорняков: вспашка (или перекопка на большую глубину) – неотъемлемый процесс для традиционной системы обработки почвы, который помогает облегчить борьбу с некоторыми многолетними, в том числе корнеотпрысковыми сорняками.

После вспашки (перекопки) их вывернутые корни следует убрать с участка. Но есть у него и большой недостаток – вспашка приводит к выворачиванию на поверхность глубокого слоя земли, в котором находятся спящие семена, стимулируя тем самым их прорастание. Известно, что семена, например, щерицы сохраняют всхожесть более 40 лет и, попадая в благоприятные условия, снова дают потомство.

Прополка – поверхностная (на 5–7 см) обработка почвы, призванная уничтожить малолетние сорняки на ранних этапах развития и не допустить образования у них семян. Чтобы поддерживать участок в чистоте, в течение сезона необходимо провести 3–4 прополки. Желательно, пока высота бурьянов составляет не более

2–3 см, подрезая при этом их корень под землей. Однако такая обработка бывает бессильной против многолетних сорняков.

Скашивание – этот метод актуален для уничтожения сорняков в садах и на газонах. По аналогии с прополкой этот способ призван не дать сорнякам возможности сформировать семена. Кроме того, регулярные скашивания надземной части способствуют истощению корневой системы многолетних растений (сныть, осот), так как запасные вещества в ней не накапливаются, а значит, со временем снижается ее способность давать новые побеги.

Иногда для полного избавления от таких сорняков требуется регулярное их скашивание в течение нескольких сезонов. Но если покосы проводить по мере появления поросли и не давать ей набираться сил, то времени потребуется меньше [4–5].

Ввиду данной информации уборка сорняков может быть реализована в виде установки на роботизированной мобильной платформе либо лезвий, перемещающихся «вверх-вниз» под углом 45 градусов, либо установки лески-лезвий по горизонтали в упор к земельной поверхности. На пути следования платформа будет осуществлять автоматизированную механическую уборку сорняка.

Слежение уровня высоты культуры возможно реализовать посредством технического зрения, что, несомненно, будет более дорого, либо с применением датчиков-дальномеров с обратным принимаемым сигналом. В качестве примера возможно реализовать систему, основанную на ультразвуковых дальномерах, или лазерного луча с обратным принимающим сигналом индикации, либо контактным датчиком на касание [3].

Сбор пробы почвы возможно реализовать с применением вкапывающихся цилиндров в почву на глубину от 0 до 30 см от поверхностной кромки земли. Для этого необходимо внедрить в мобильную платформу «буровую установку» вертикального проникновения почвы с изменяющимися цилиндрами для пробы [6–7].

Выводы и рекомендации. В данной работе проведен обзор возможности применения мобильной роботизированной платформы для сокращения человеческого усилия над уборкой межделячных пространств, отбор почвы на влажность и плотность почвы, слежение за среднестатистическим уровнем культуры делянки. На данный момент существуют роботы-агрономы, предназначенные для помощи и автономной работы в полевых условиях [1–2, 6]. Но их применение направлено именно на работы полевого характера. Для микрополевого опыта данные установки несо-

вместимы и не смогут выполнять более деликатную и точную работу между делянками, где требуется. В дальнейшей перспективе с разработкой данной роботизированной платформы возможно внедрение и других аспектов работы исследователя-агронома.

Список литературы

1. Роботы-агрономы: революция в сельском хозяйстве и преимущества их использования. – URL: <https://goo.su/КОНJFz> (дата обращения 08.12.2023).
2. В России создан умный робот-агроном. – URL: <https://dzen.ru/a/Y9kQsfDnhAO-zC5H> (дата обращения 08.12.2023).
3. Как измерить скорость роста растений. – URL: <https://goo.su/g4Ff> (дата обращения 08.12.2023).
4. Механические способы борьбы с сорняками. – URL: <https://studfile.net/preview/3851569/page:9/> (дата обращения 08.12.2023).
5. Методы борьбы с сорной растительностью. – URL: <https://goo.su/o9VimGV> (дата обращения 08.12.2023).
6. Мобильные роботы, их типы, возможности и применение. – URL: <https://top3dshop.ru/blog/mobile-robots-types-and-applications.html?ysclid=lrrotek546b934292312> (дата обращения 08.12.2023).
7. Роботизированное химическое обследование почв: перспективное направление российского АПК. – URL: <https://glavagronom.ru/articles/robotizirovannoe-himicheskoe-obsledovanie-pochv-perspektivnoe-napravlenie-rossiyskogo-apk?ysclid=lrrotfkgylw526476117> (дата обращения 08.12.2023).

УДК 631.531.027.33

Т. А. Широбокова, И. Г. Поспелова, Г. Н. Чирков
Удмуртский ГАУ

ПРЕДПОСЕВНАЯ ОБРАБОТКА СЕМЯН ЯРОВОГО РАПСА ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Рассматривается эффективность обработки семян при помощи электромагнитного поля сверхвысокой частоты.

Актуальность. Основными болезнями ярового рапса на территории Российской Федерации считаются Черная ножка, Фузариоз, Альтернариоз и Бактериоз [1, 3]. В нулевые годы распростра-

нённость болезни Черной ножки и Фузариоза в России составляла более 50 % посевах рапса. Альтернариоз в 2012 г. в южных регионах России был распространен на целых 70 % рапсовых посевах. Менее всего из перечисленных болезней распространен Бактериоз, он встречается по России не более 20 % [1, 5]. В современном растениеводстве разработка новых технологий и оборудования направлена на снижение распространения болезней для всех видов растений и на уменьшение материально-энергетических затрат [4, 5].

Материалы и методика. Проведена обработка семян овощных культур лука, сахарной свеклы и подсолнечника в СВЧ-установке «Импульс-3У» с частотой излучения 2450 МГц и мощностью 2680 Вт с продолжительностью излучения от 10 до 160 секунд.

Результаты исследований. Для борьбы с болезнями современные хозяйства в основном используют пестициды, что не лучшим образом сказывается на сельскохозяйственных культурах и состоянии окружающей среды. Одной из альтернатив пестицидам можно выбрать обработки семян в электромагнитном поле сверхвысокой частоты. Обработка в ЭМП СВЧ сочетает в себе электрические и тепловые процессы воздействия на семена и позволяет осуществлять их регулирование. Благодаря тому, что грибы, вирусы и бактерии в десятки раз быстрее впитывают влагу, чем семена рапса, поэтому СВЧ-излучение сильнее будет воздействовать на болезни, чем на семена. Так, при обработке семян овощных культур лука, сахарной свеклы и подсолнечника в СВЧ-установке «Импульс-3У» с частотой излучения 2450 МГц и мощностью 2680 Вт с продолжительностью излучения от 10 до 160 секунд. За счет чего удалось снизить поражённость ярового рапса болезнями 8 %, лука на 5,5 %, сахарной свеклы на 4,5 % и подсолнечника на 5 %. Также за счет обработки семян ЭМП СВЧ в том же диапазоне дает увеличение урожайности. Так, урожайность ярового рапса увеличилась на 23 %, лука на 14 %, сахарной свеклы на 23 % и подсолнечника на 17 %. Если рассматривать другие культуры, которые подвергали обработке в ЭМП СВЧ-излучении, то у пшеницы урожайность увеличилась на 17 %, у ячменя на 12 %, у кукурузы на 22 % и у картофеля на 16 % [2, 3, 5].

Выводы и рекомендации. Из всего этого можно сделать вывод, что исследования в области обработки семян при помощи ЭМП СВЧ-излучения для условий нашего региона необходимо проводить, так как за счет данного вида обработки можно вести

борьбу с болезнями не нанося вред окружающей природе, а также увеличить урожайность культур.

Список литературы

1. Защита рапса / Н. И. Бочкарев, В. Т. Пивень, Н. М. Тишков [и др.] // Приложение к журналу «Защита и карантин растений». – 2017. – № 1. – С. 37 (1)-76 (40).
2. Исаев, А. В. Тепловизионные исследования температурных полей при предпосевной обработке семян сельскохозяйственных культур ЭМП СВЧ / А. В. Исаев, А. В. Бастрон // Вестник ИрГСХА. – 2014. – № 64. – С. 79–86.
3. Пивень, В. Т. Фитосанитарный мониторинг болезней рапса / В. Т. Пивень, О. А. Сердюк // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2011. – Вып. 2 (148-149). – С. 162–166.
4. Патент на полезную модель № 219608 U1 Российская Федерация, МПК А01М 17/00. Устройство для обеззараживания поверхностей ИК-излучением в ранцевом исполнении: № 2023109918 : заявл. 19.04.2023 : опубл. 26.07.2023 / И. Г. Поспелова, И. В. Возмищев, Т. А. Широбокова [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет».
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022680067 Российская Федерация. Исследование температурного поля в почве при обеззараживании защищенного грунта: № 2022669324: заявл. 20.10.2022: опубл. 27.10.2022 / П. В. Дородов, И. Г. Поспелова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия».

УДК 631.531.027.33

Т. А. Широбокова, И. Г. Поспелова, Г. Н. Чирков
Удмуртский ГАУ

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Рассматривается сравнительная эффективность обработки семян при помощи электромагнитного поля сверхвысокой частоты, основной целью которого является выявление наиболее эффективных режимов для предпосевной обработки семян рапса в электромагнитном поле сверхвысокой частоты.

Актуальность. В нынешнее время пути обеззараживания семян в основном обращены на поиск новых, наиболее эффективных и экологически чистых методик. Наиболее перспективным считается обработка семян в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ). Этот способ воздействует на семена тепловым процессом и позволяет осуществлять их регулирование [3, 4, 5]. В современном растениеводстве разработка новых технологий и оборудования направлена на снижение распространения болезней для всех видов растений и на уменьшение материально-энергетических затрат [6, 7].

Материалы и методика. Проводились изучения по обработке семян при помощи СВЧ-излучения. После обработки проверялись семена на зараженность болезнями и на всхожесть в лабораторных условиях.

Результаты исследований. Обработка семян проводилась с двумя удельными мощностями $P_{уд} = 509$ Вт/дм³ и $P_{уд} = 1529$ Вт/дм³. По времени разделялись на 30, 60, и 90 секунд. Также был контрольный образец, который не подвергался никаким обработкам в СВЧ-установке. Результаты по зараженности и всхожести семян представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная всхожесть и зараженность семян после обработки семян в ЭМП СВЧ-установке

Вариант	Удельная мощность, Руд, Вт/дм ³	Время обработки, с	Лабораторная всхожесть, %.	Семенные инфекции, %			
				Черная ножка	Фузариоз	Альтернариоз	Бактериоз
1	509	30	88	3	8	4	3
2	509	60	87	0	8	3	3
3	509	90	93	0	6	0	1
4	1529	30	90	0	5	4	2
5	1529	60	92	0	4	2	2
6	1529	90	86	0	2	2	1
7	Контроль	85	5	8	4	5	

Сравнивая по семенным инфекциям, самые наилучшие результаты были получены в варианте 6, по всхожести лучшие результаты были получены в вариантах 3 и 5 [1, 2].

Выводы и рекомендации. Самые лучшие показатели по противодействию болезням были получены у варианта 6, но всхожесть у этого варианта почти такая же, как и у контрольного

ного варианта. По лабораторной всхожести выделились варианты 3 и 5, их всхожесть составила 93 и 92 %, но так как по ГОСТу 52325-2005 у элитных семян рапса лабораторная всхожесть должна быть не менее 85 %, все варианты вошли в этот критерий.

Список литературы

1. ГОСТ 12044-93 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения заражённости болезнями. – Москва: Изд-во стандартов, 2011. – С. 156–161.
2. ГОСТ 52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. – Москва : Изд-во стандартов, 2009. – 4 с.
3. Исаев, А. В. Исследование влияния степени неравномерности нагрева семян рапса в ЭМП СВЧ на их энергию прорастания и всхожесть / А. В. Исаев, А. В. Бастрон, В. С. Яхонтова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4. – С. 132.
4. Мещеряков, А. В. Влияние электромагнитного поля высокой частоты на всхожесть семян рапса и горчицы / А. В. Мещеряков // Красноярский край: освоение, развитие, перспективы. – 2004. – Ч. 1. – 180 с.
5. Мещеряков, А. В. Статистический анализ и оптимизация СВЧ-обработки семян масличных культур на примере рапса / А. В. Мещеряков, Н. В. Цугленок, Г. И. Цугленок // Энергетика и энергосбережение: выпуск 3. – 2005. – 219 с.
6. Патент на полезную модель № 219608 U1 Российская Федерация, МПК А01М 17/00. Устройство для обеззараживания поверхностей ИК-излучением в ранцевом исполнении: № 2023109918: заявл. 19.04.2023: опубл. 26.07.2023 / И. Г. Пospelова, И. В. Возмищев, Т. А. Широбокова [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет».
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022680067 Российская Федерация. Исследование температурного поля в почве при обеззараживании защищенного грунта: № 2022669324: заявл. 20.10.2022: опубл. 27.10.2022 / П. В. Дородов, И. Г. Пospelова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия».

СОДЕРЖАНИЕ

Л. П. Артамонова Критический диаметр изоляции теплопровода.	3
И. А. Баранова Проблемы прогнозирования потребления электроэнергии на основе экспертной оценки	10
И. А. Баранова, А. И. Батурин, К. А. Батурина, И. О. Комаров, В. В. Федоров Разработка нейронной сети для прогнозирования потребления электроэнергии на примере Удмуртского ГАУ	14
Е. А. Варянина, Т. А. Широбокова Ультрафиолетовая диагностика изоляции ВЛ	20
Д. А. Васильев, Т. Ю. Котенко, М. И. Студенов Моделирование показателей надежности систем электроснабжения	25
И. Г. Гузев, М. Б. Цыркин, Л. А. Пантелеева, Д. А. Васильев Сравнительный анализ БПЛА для обследования ЛЭП	31
И. Г. Гузев, С. И. Юран Сравнительный анализ датчиков и способов их установки для обнаружения загрязняющих веществ в водной среде	35
А. А. Зарипов, О. С. Дмитриева, А. Ю. Долматова, К. А. Батурина Современные системы теплоснабжения индивидуальных жилых домов	40
А. Г. Злобин, Л. А. Пантелеева Применение цифровых инструментов в педагогической деятельности преподавателя вуза	44
А. Г. Злобин, А. А. Хохряков, Д. В. Стрелков, Л. А. Пантелеева Применение эффекта Зеебека в системах электроосвещения	48

Н. П. Кондратьева, Р. Г. Большин, С. Н. Мардарьев, А. А. Четошников Разработка энергосберегающих технологий при освещении цеха	51
Н. П. Кондратьева, Р. З. Ахатов, Р. Г. Большин, М. Г. Краснолуцкая, В. В. Селунский Энергосберегающие мероприятия для предприятия ООО «Увадрев-Холдинг»	55
Н. П. Кондратьева, Р. Г. Большин, М. Г. Краснолуцкая, Р. З. Ахатов, В. К. Ваштиев, А. В. Ваштиева Энергоэффективный облучатель на светодиодной ленте RGB для многоярусных гидропонных теплиц	62
П. Л. Лекомцев, А. М. Ниязов, Е. В. Дресвянникова, Л. Н. Прокопьев Анализ распространения электроаэрозоля в закрытых помещениях	67
П. Л. Лекомцев, Е. В. Дресвянникова, А. М. Ниязов, Л. Н. Прокопьев Обеспыливание воздуха помещений при использовании аэрозолей	76
П. Л. Лекомцев, Е. В. Дресвянникова, А. М. Ниязов, Л. Н. Прокопьев Перспективы использования электроаэрозольного метода для осуществления внекорневого удобрения растений	81
П. Л. Лекомцев, Е. В. Дресвянникова, А. М. Ниязов Процесс зарядки аэрозоля в генераторе.	88
Н. С. Максимов, С. Д. Кутузов Современные проблемы производства электроэнергии в России.	97
А. Д. Музалева, М. Л. Шавкунов, П. Л. Лекомцев Исследование изменения концентрации озона при электрокоронном и барьерном разряде.	99
А. Д. Музалева, М. Л. Шавкунов, О. Б. Поробова Исследование эффективности сепарации семян с помощью электрокоронного барабанного сепаратора	102

Т. А. Николаев, Н. С. Стрелков, К. А. Батурина, А. С. Корепанов Исследование теплошумоизоляционных свойств ограждающих конструкций	108
А. М. Ниязов, Л. Н. Прокопьев Перспективы использования альтернативных видов энергии в России	113
Л. А. Пантелеева, И. В. Решетникова, И. С. Чернов, И. И. Караваев Современные проблемы науки производства: вызовы и перспективы	117
Л. А. Пантелеева, Д. М. Ермаков Целесообразность применения устройств защиты от дугового пробоя	119
Н. А. Петров, Л. А. Пантелеева, Д. А. Васильев Современные проблемы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве	125
С. И. Платонова Антропологические вызовы цифрового общества	128
П. Н. Покоев, Т. Р. Галлямова Высшие гармоники при циклическом перемагничивании трансформатора.	134
А. А. Попова, Л. А. Пантелеева Модернизация релейной защиты генератора гидроагрегата Воткинской ГЭС	138
И. Г. Пospelова, И. В. Возмищев, И. В. Титов Электрическая схема управления установкой для обеззараживания ИК-излучением почвосмеси в тонком слое на конвейере	141
Л. Н. Прокопьев, Д. А. Русских, В. А. Токарева Анализ микроконтроллеров для роботизированной платформы	144
Л. Н. Прокопьев, П. Л. Лекомцев Математический расчет положения генераторов электроаэрозоля	147

Д. А. Русских, Л. Н. Прокопьев, В. А. Токарева Разработка мобильной платформы для полевых работ при микрополевом опыте исследования152
Т. А. Широбокова, И. Г. Поспелова, Г. Н. Чирков Предпосевная обработка семян ярового рапса при помощи электромагнитного поля сверхвысокой частоты155
Т. А. Широбокова, И. Г. Поспелова, Г. Н. Чирков Сравнительная эффективность обработки семян при помощи электромагнитного поля сверхвысокой частоты157

Научное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
РАЗВИТИЯ АГРАРНОЙ СФЕРЫ**

Материалы Национальной научно-практической конференции,
посвященной Дню энергетика

*22 декабря 2023 года
г. Ижевск*

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

Дата выхода в свет 28.12.2023 г. Объем данных 8,61 Мб.
Мин. сист. треб.: РС не ниже класса Pentium I; 32 Mb RAM;
свободное место на HDD 16 Мб.
Операционная система: Windows XP/7/8.
Програм. обеспечение: Adobe Acrobat Reader версии 6 и старше.
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА
426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11.