ISSN 2410-5031

Научно-практический журнал

АГРОТЕХНИКА И ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ



ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.В. ПАРАХИНА

№ 4 (45), 2024 г.

ОРЕЛ 2024

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – **А.В. Виноградов,** доктор технических наук, доцент, руководитель научного направления "Энергообеспечение АПК" ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, профессор кафедры "Электроснабжение" ФГБОУ ВО Орловского ГАУ.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Буяров Виктор Сергеевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Васильев Алексей Николаевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории электрофизического воздействия на сельскохозяйственные объекты и материалы ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

Южанников Александр Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, директор по науке и инновационной деятельности ОАО «Сибирский научно-исследовательский и проектный институт цветной металлургии».

Олин Дмитрий Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение и эксплуатация электрооборудования» ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Шарупич Вадим Павлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Электроснабжение» ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, академик МАЭН, директор НИПИ «Градоагроэкопром».

Черкасова Нина Ильинична, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой электроэнергетики Рубцовского индустриального института Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, г. Барнаул.

Коношин Иван Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, начальник отдела продаж АО «Армада».

Коломейченко Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ; заведующий отделом Управления перспективных технологий Центра сельскохозяйственного машиностроения ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ».

Жосан Артур Александрович, кандидат технических наук, доцент, исполнительный директор ООО «Научная компания «Инновационные технологии по экспертизе и оценке собственности»», ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Кузнецов Юрий Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Надежность и ремонт машин» ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Серебряков Александр Сергеевич, доктор технический наук, профессор, профессор кафедры «Электрификация и автоматизация» ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет».

Осокин Владимир Леонидович, кандидат технических наук кафедры «Электрификация и автоматизация» ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет».

Шиганович Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», член-корреспондент Российской Академии Естествознания.

Гавриченко Александр Иванович, доктор технических наук, профессор, академик МАНЭБ.

Скобло Тамара Семеновна, доктор технических наук, профессор, академик Инженерной академии Украины, профессор кафедры «Технические системы ремонтного производства» Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. П. Василенко.

Ковалев Михаил Михайлович, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный научный центр лубяных культур (ФГБНУ ФНЦ ЛК).

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории «Электроснабжения, электрооборудования и возобновляемой энергетики» ФГБНУ ФНАЦ ВИМ **А.К. Букреева**

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ – кандидат технических наук, доцент **Р.П. Беликов**

Зарегистрировано в федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), номер свидетельства ПИ № ФС 77-78888, дата регистрации 28.08.2020.

Договор с РИНЦ №410-07/2014 от 15.07.2014г. **ISSN 2410-5031**

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО Орловский ГАУ

Адрес издателя: 302019, Россия, г. Орел, ул. Генерала Родина, д. 69, тел.: +7(4862) 76-14-51; факс: +7(4862) 76-06-64.

Адрес редакции: 302019, Орловская обл., г. Орел, ул. Генерала Родина, д. 69, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, факультет агротехники и энергообеспечения, ауд. 2-211.

Тел.: 8(4862) 76-11-07

Адрес типографии: 302028, г. Орел, бульвар Победы, 19. ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Тел.: 8(4862) 43-25-53 **E-mail: winaleksandr@yandex.ru**

Дата выхода журнала: 25.12.2024г.

© ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2024 **Тираж 100 экз.** Распространяется бесплатно

16+

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДВУХФАЗНОЙ НАГРУЗКИ НА ПИТАЮЩУЮ СЕТЬ 5
М.И. Музыка, А.В. Закабуннин
РГУНХ Минсельхоза России

ПРИЧИНЫ ОТКЛЮЧЕНИЙ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ И ИХ СТРУКТУРИРОВАНИЕ 13
А.В. Виноградова[1,2]
[1]ФГБОУ ВО Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина
[2]ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

«НАРОДНЫЙ ЭНЕРГОЦЕНТР», КАК ДРАЙВЕР РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА 20
А.П. Ковтун, С.В. Стребков
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ

МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УНИЧТОЖЕНИЯ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО РАЗРЯДА И ОБРАТНОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ДАТЧИКА ТОКА 26
А.С. Угловский, Н.Ю. Семеренко
Ярославский государственный аграрный университет

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ВОЛНОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСТРОВЕ ГЫЗЫЛСУВ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ 34
А. М. Пенджиев
Туркменский государственный архитектурно – строительный институт

РАЗВЕРТЫВАЕМАЯ КОНСТРУКЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ ЗДАНИЙ КОНТЕЙНЕРНОГО ТИПА 44
А.Т. Ахметшин, В.М. Голубков
Башкирский государственный аграрный университет

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К УСТРОЙСТВУ ИНДИКАЦИИ ПОФАЗНОЙ НАГРУЗКИ И ПЕРЕГРУЗКИ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА 50
Е.В. Попрядухин[1], **С.В. Крамской**[1], **А.А. Панфилов**[1], **А.В. Виноградов**[1,2]
[1]ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
[2]ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина»

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ПЕЛЬТЬЕ 57
Яшин И.С.
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ДАННЫХ ПО ОТКЛЮЧЕНИЯМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ 66
К.А. Шатохин[1], А.В. Виноградов[1,2]
[1]ФГБОУ ВО Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина
[2]ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ. ОБОСНОВАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 75
О.Ф. Савченко, В.В. Альт, А.А. Солошенко, О.В. Елкин, С.П. Исакова, Р.А. Корякин
Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

СОВМЕЩЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ГАРАНТ БЕЗУБЫТОЧНОСТИ, МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОТРАСЛЕЙ АПК, САМООКУПАЕМОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ, УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА. ОБЩЕГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОДХОД 87
В.П. Шарупич[1], П.В. Шарупич[2], С.В. Шарупич[2], Т.С. Шарупич[2]
[1]ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ им. Н.В. Парахина»
[2]ООО «Патент»

МЕТОД И ТЕХНОЛОГИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ АВТОТРАКТОРНЫХ И КОМБАЙНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 93
С.З. Инсафуддинов, М.И. Веледов, Ф.Г. Абдразаков
ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ

УДК 629.064.5

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДВУХФАЗНОЙ НАГРУЗКИ НА ПИТАЮЩУЮ СЕТЬ

М.И. Музыка, А.В. Закабуннин

РГУНХ Минсельхоза России

Аннотация. *В статье рассмотрены некоторые аспекты влияния двухфазных нагрузок на питающую трехфазную сеть и предложены способы нейтрализации такого влияния, имеющие сравнительно не высокую стоимость. Такие способы основаны на использовании устройств компенсации реактивной мощности и искажений, использующих технологии силовой электроники, в виде так называемых "тонких" преобразователей переменного тока типа "Thin AC Converter" (TACC). Также рассматривались различные сочетания управляемых фильтро-компенсирующих и симметрирующих устройств, получивших название "динамические конденсаторы" (dynamic capacitors), которые имеют второе название без инверторных активных фильтров (inverter-less active filter).*

Ключевые слова: *влияние нагрузок, качество электроэнергии, несимметрия, реактивная мощность, силовая электроника, активные фильтры, стоимость оборудования.*

Введение.

Достижение необходимой эффективности компенсации реактивной мощности (РМ) промышленными и коммунальными потребителями электроэнергии позволяет обеспечивать требуемый уровень качества электроэнергии на стадии ее потребления, снижать размеры потерь энергии, и тем самым, выполнять требования Федерального закона "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 N 261-ФЗ [1].

Наличие некомпенсированной реактивной мощности на стадии потребления энергии вызывает завышение размеров потерь энергии, нестабильность и снижение уровня напряжения, что оказывает негативное влияние на режимы работы ЛЭП и электрооборудования производственных предприятий, а также на качество производимой ими продукции и услуг [2].

Многие методы компенсации несимметрии и реактивной мощности являются высокозатратными, и поэтому не все предприятия имеют возможности их применять.

В данной работе рассмотрены некоторые аспекты влияния двухфазных нагрузок на питающую трехфазную сеть, а также способы нейтрализации такого влияния, имеющие относительно не высокую стоимость. Такие способы основаны на использовании устройств компенсации РМ, использующих технологии силовой электроники, в виде так называемых "тонких" преобразователей переменного тока типа "Thin AC Converter" (TACC), с применением различных сочетаний активных фильтро-компенсирующих и симметрирующих устройств, получивших название "динамические конденсаторы" (dynamic capacitors), которые имеют второе название без инверторных активных фильтров (inverter-less active filter), а также управляемых тиристорами вспомогательных устройств [2-8].

В целях определения особенностей влияния двухфазной нагрузки на питающую сеть, в качестве практического примера рассматривается подключение к трехфазной сети сварочного трансформатора ТДЭ-250 “УРАЛ”, изготовленного в соответствии с ТУ 3441-001-35212322-94, и предназначенного для питания сварочного поста, осуществляющего ручную дуговую сварку, а также резку или наплавку металла.

Сварочный трансформатор ТДЭ-250 “УРАЛ” построен на основе однофазного трансформатора и имеет систему тиристорного регулирования на стороне переменного тока. Он может включаться как на фазное, так и на линейное напряжение трехфазной сети.

В целях обеспечения объективного контроля режимов по напряжению и току применяется цифровой осциллограф АКТАКОМ АСК-2034, который позволяет экспортировать результаты измерений на компьютер в целях их дальнейшей обработки в программной среде Mathcad.

Подключение сварочного трансформатора к трехфазной сети производится по двухфазной схеме (рисунок 1):

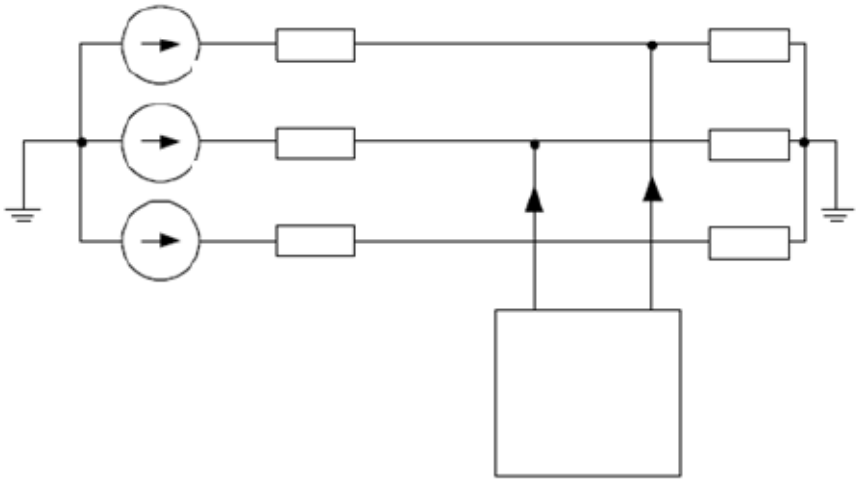


Рисунок 1 – Схема подключения трансформатора в сети

На рисунке 2 представлен внешний вид цифрового осциллографа АКТАКОМ АСК-2034.



Рисунок 2 - Внешний вид цифрового осциллографа АКТАКОМ АСК-2034.

Результаты осциллографирования в цифровом виде были экспортированы в программу Mathcad. Осциллограммы тока в фазах А и В представлены на рисунке 3:

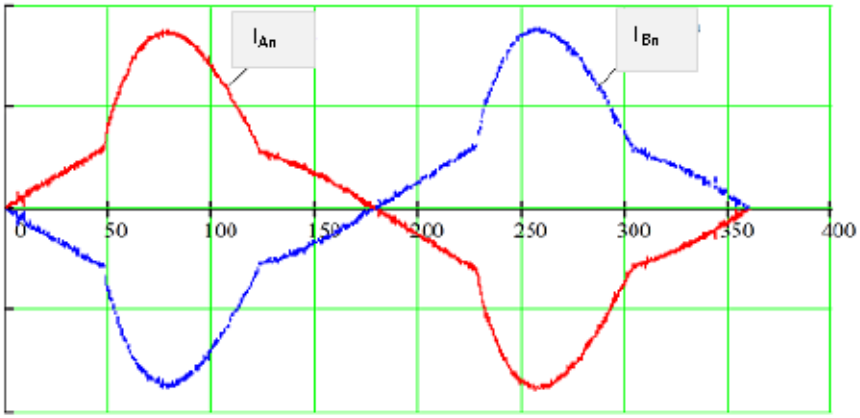


Рисунок 3 - Осциллограммы тока в фазах А и В

Спектр тока фазы А представлен на диаграмме на рисунке 4:

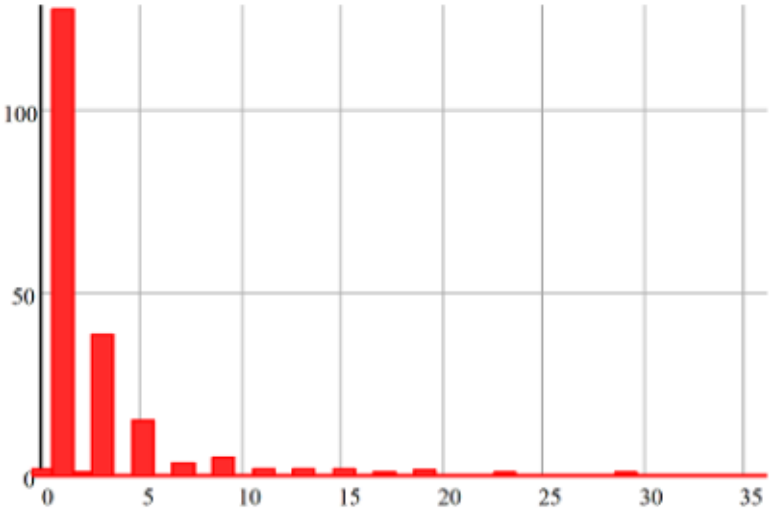


Рисунок 4 – Диаграмма спектрального состава тока фазы А

Возникающие искажения синусоидальности (рисунок 3) и наличие гармоник (рисунок 4) нуждаются в соответствующей коррекции и компенсации [1].

Выбор метода компенсации искажений. В данном случае необходимо определить метод компенсации для возникающей в результате воздействия нелинейной нагрузки несинусоидальности, несимметрии и реактивной мощности в электрической сети на стадии потребления энергии. Для реализации этих целей обычно используют такие активные фильтрокомпенсирующие и симметрирующие устройства, как статические компенсаторы, активные фильтры, системы управления потоками мощности. Применение таких устройств является достаточно дорогостоящим вариантом [2]. Менее затратным может применение так называемых “тонких” преобразователей переменного тока вида “Thin AC Converter” (TACC) [7]. Поэтому в данном случае рассматриваются сравнительно дешевые варианты неполной компенсации несимметрии с использованием только емкостных элементов, в рамках допустимых уровней остаточной несимметрии и потребления (генерирования) реактивной мощности, с применением сочетания активных фильтро-компенсирующих и симметрирующих устройств, получивших название “динамические конденсаторы” (dynamic capacitors). В таких устройствах применяется батарея конденсаторов, которая подключается к сети через AC/AC преобразователь. “Динамические конденсаторы” реализуют технологию

плавного регулирования реактивной мощности и частично выполняют функции активной фильтрации высших гармоник. При подключении пофазной компенсации индуктивного и емкостного тока нагрузки, можно максимально приблизиться к единичному значению cos φ по всем фазам [7].

На рисунке 5 представлена схема "динамического конденсатора" на базе buck-преобразователя [8]:

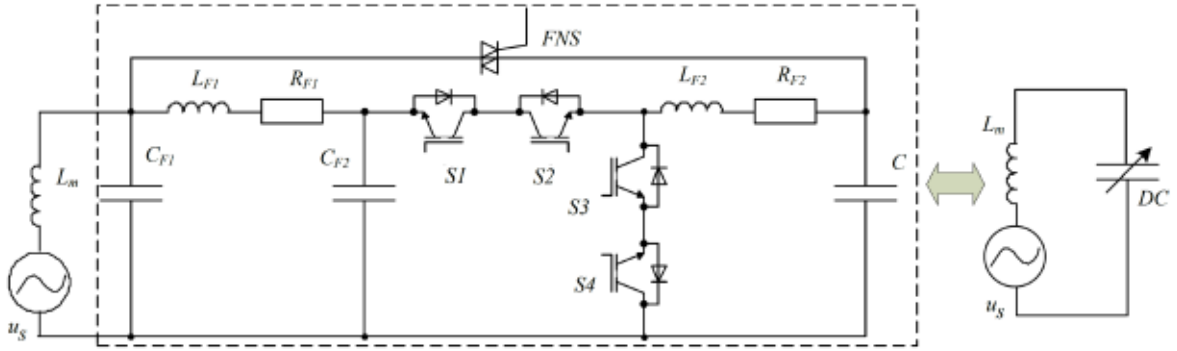


Рисунок 5 – Схема "динамического конденсатора" и его условное обозначение

Плавное регулирование размеров используемой емкости конденсатора в необходимых и достаточных пределах достигается изменением времени открытия двунаправленных ключей S_1S_2 и S_3S_4.

На схеме рисунка 6 представлена схема параллельного подключения сварочного трансформатора ТДЭ-250 и устройства компенсации реактивной мощности (УКРМ).

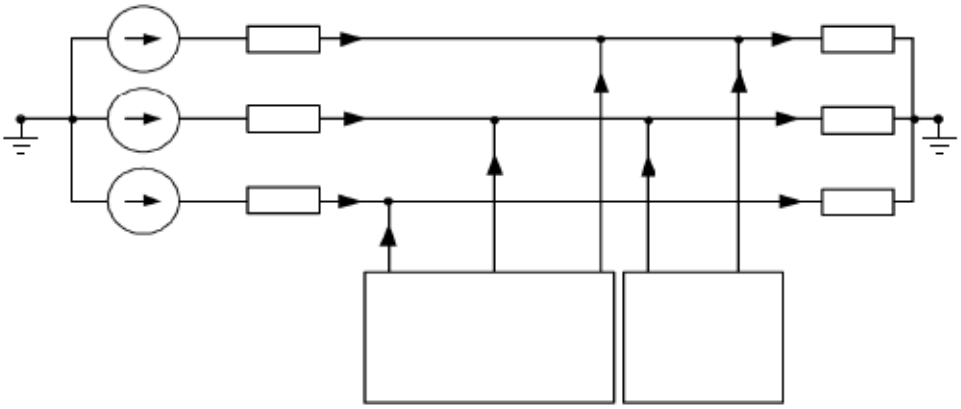


Рисунок 6 - Схема параллельного подключения сварочного трансформатора ТДЭ-250 и устройства компенсации реактивной мощности (УКРМ)

В соответствии с теоретическим обоснованием [5], активная P_1 и реактивная Q_1 мощности определяются как составные части полной мощности:

$$S_1^2 = (U_1 I_1)^2 = P_1^2 + Q_1^2 = (U_1 I_1 \cos \varphi_1)^2 + (U_1 I_1 \sin \varphi_1)^2, \quad (1)$$

где U_1 – среднеквадратичное значение напряжения первой гармоники, Вольт,

I_1 – среднеквадратичное значение тока первой гармоники, Ампер,

φ_1 – угол сдвига фаз между током и напряжением первой гармоники.

В связи с этим, необходимо не допускать поступления в питающую сеть реактивной мощности, генерируемой нагрузкой, а также компенсировать искажения синусоидальной формы тока.

В целях получения математического описания оптимальной методики, применяемой для компенсации РМ в данной схеме подключения нагрузки, определим критерий оптимальности в виде минимального значение функции f, которая определяется суммой

квадратов токов комплекса (ТДЭ-250 + УКРМ):

$$f = I_{A1}^2 + I_{B1}^2 + I_{C1}^2 \quad (2)$$

где $I_{A1} = I_A + I_{Ак}$, $I_{B1} = I_B + I_{Bк}$, $I_{C1} = I_C + I_{Ск}$, I_A и I_B – токи сварочного трансформатора, $I_{Ак}$, $I_{Ак}$, $I_{Ак}$ – фазные токи УКРМ.

В случае применения такого метода компенсации, для данного спектрального состава токов, можно достигнуть снижения значения функции и токов, потребляемых комплексом (ТДЭ-250 + УКРМ) примерно на 10%, а точнее в 1,087 раза [2].

В случае подключении несимметричного пассивного УКРМ, соединенного треугольником или звездой, реализуется вариант пофазной компенсации РМ.

В процессе практической реализации технологии пофазной компенсации РМ, можно использовать компенсаторы с тиристорным управлением, статические компенсаторы и активные фильтры, имеющие относительно высокую стоимость. Но наиболее широкое распространение у промышленных потребителей энергии имеют относительно не дорогие в применении УКРМ с тиристорным управлением, которые могут быть реализованы в виде тиристорно-управляемых реакторов (ТУР) или в виде тиристорно-переключаемых конденсаторов (ТПК) [8-10]. В составе конструкции ТУР имеется конденсатор с фиксированной емкостью и индуктивный реактор с тиристорным управлением (рисунок 7).

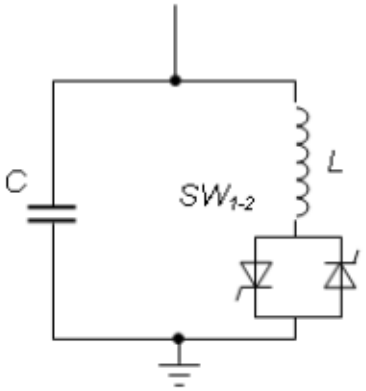


Рисунок 7 – Схема тиристорно-управляемого реактора (ТУР)

Изменение угла открытия тиристоров изменяет значение действующего тока через реактор, и это изменение регулирует величину действующей индуктивности, что позволяет обеспечить непрерывность процесса управления, высокое быстродействие и отсутствие переходных процессов. Нужно отметить, что ТУР генерируют токи высших гармоник [1], что потребует установки дополнительных фильтров компенсирующих устройств и соответствующего удорожания устройства компенсации [4].

На рисунке 8 показана схема ТПК:

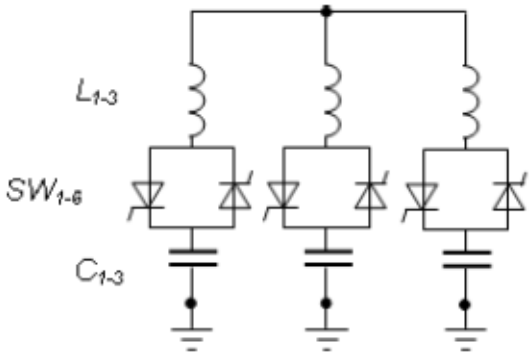


Рисунок 8 – Схема ТПК

ТПК позволяют реализовать принцип регулирования реактивной мощности ступенями [4]. В случае применения такого метода компенсации, для рассмотренного в работе спектрального состава токов, можно достигнуть снижения значения функции более чем на 40%. [2].

Выводы.

В работе рассмотрены аспекты влияния двухфазных нагрузок на питающую трехфазную сеть, а также такие способы нейтрализации такого влияния в целях обеспечения необходимого уровня качества электроэнергии. Такие способы основаны на использовании устройств компенсации РМ, использующих технологии силовой электроники, в виде так называемых "тонких" преобразователей переменного тока типа "Thin AC Converter" (TACC), с применением сочетания активных фильтро-компенсирующих и симметрирующих устройств. Также рассмотрены устройства компенсации с тиристорным управлением, которые имеют сравнительно низкую стоимость и позволяют достигать приемлемого результата.

Список использованных источников

1. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 375 с.

2. Бурлака В.В., Поднебенная С.К., Гулаков С.В. Современные способы улучшения качества электроэнергии // Управление качеством электрической энергии: сборник трудов Международной научно-практической конференции, Москва, 26–28 ноября 2014 г. – М.: ООО «Центр полиграфических услуг "Радуга"», 2014. – С. 137–143.

3. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с.

4. Жежеленко, И.В. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 261 с.

5. IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions, IEEE Standard 1459-2010, New York, 2010.

6. Reactive Power Compensation Technologies, State-of-the-Art Review / J.W. Dixon, L. Moran, J. Rodríguez, R. Domke // Proceedings of the IEEE. – 2005 – Vol.93, Dec. – № 12. – Pp. 2144-2164.

7. Prasaj A. Control of Dynamic Capacitor / Anish Prasai, Deepak M. Divan // IEEE transactions on industry applications. – Vol. 47, № 1, January/February. – 2011. – Pp. 161-168.

8. Prasaj A. Dynamic Capacitor (D-CAP): An Integrated Approach to Reactive and Harmonic Compensation / Anish Prasai, Jyoti Sastry, Deepak M. Divan // IEEE transactions on industry applications.– Vol. 46, № 6, November/December. – 2010. – Pp. 2518-2525.

Bibliography

1. Zhezhelenko, I.V. Higher harmonics in power supply systems of enterprises. - Moscow: Energoatomizdat, 2010. - 375 c.

2. Burlaka V.V., Podnebennaia S.K., Gulakov S.V. Modern ways to improve the quality of electricity // Management of electrical energy quality: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Moscow, November 26-28, 2014. - Moscow: LLC "Center of printing services 'Raduga', 2014. - C. 137-143.

3. Bessonov, L.A. Theoretical bases of electrical engineering. Electric circuits: textbook. -

Moscow: Gardariki, 2002. - 638 c.

4. Zhezelenko, I.V.. Electricity quality at industrial enterprises / I.V. Zhezhelenko, Yu. Saenko. - Ed. 4th, rev. and supplement. - Moscow: Energoatomizdat, 2005. - 261 c.

5. IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions, IEEE Standard 1459-2010, New York, 2010.

6. Reactive Power Compensation Technologies, State-of-the-Art Review / J.W. Dixon, L. Moran, J. Rodríguez, R. Domke // Proceedings of the IEEE. – 2005 – Vol.93, Dec. – № 12. – Pp. 2144-2164.

7. Prasaj A. Control of Dynamic Capacitor / Anish Prasai, Deepak M. Divan // IEEE transactions on industry applications. – Vol. 47, № 1, January/February. – 2011. – Pp. 161-168.

8. Prasaj A. Dynamic Capacitor (D-CAP): An Integrated Approach to Reactive and Harmonic Compensation / Anish Prasai, Jyoti Sastry, Deepak M. Divan // IEEE transactions on industry applications.– Vol. 46, № 6, November/December. – 2010. – Pp. 2518-2525.

Музыка М.И., аспирант кафедры Цифровых и инженерных технологий РГУНХ, тел. 8(981)947-58-61, e-mail: m6922677@gmail.com

Закабуннин А.В., к.т.н., доцент, кафедра Цифровых и инженерных технологий РГУНХ, тел. 8 (926)171- 87-55, e-mail: Zakabunin@yandex.ru

ANALYZE THE EFFECT OF TWO-PHASE LOAD ON THE SUPPLY NETWORK

M.I. Muzyka, A.V. Zakabunnin

Russian State University of Agriculture of the Ministry of Agriculture of Russia

Annotation. The article considers some aspects of the influence of two-phase loads on the supplying three-phase network and proposes ways to neutralize such influence, having relatively low cost. Such methods are based on the use of reactive power and distortion compensation devices using power electronics technologies, in the form of so-called “thin” AC converters of the “Thin AC Converter” (TACC) type. Various combinations of controlled filter-compensating and symmetering devices called dynamic capacitors, which have a second name inverter-less active filters, have also been considered.

Key words: impact of loads, power quality, asymmetry, reactive power, power electronics, active filters, equipment cost.

M.I. Muzyka, postgraduate student of the Department of Digital and Engineering Technologies, RSUNH, tel. 8(981)947-58-61, e-mail: m6922677@gmail.com

Zakabunnin A.V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Digital and Engineering Technologies, RSUNH, tel. 8 (926)171- 87-55, e-mail: Zakabunin@yandex.ru

УДК 621.311.1

ПРИЧИНЫ ОТКЛЮЧЕНИЙ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ И ИХ СТРУКТУРИРОВАНИЕ

А.В Виноградова[1,2]

[1]ФГБОУ ВО Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина
[2]ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

Аннотация. *Произведён анализ статистических данных по отключениям в сельских электрических сетях 0,4 киловольт за 6 лет одного из центральных регионов России. Статистика по аварийным отключениям была структурирована по месяцам возникновения отключений и их причинам. Выявлено, что наибольшее количество аварийных отключений происходит в период с мая по сентябрь. Диагностический анализ показал, что это связано как с физическим и моральным износом оборудования при увеличении нагрузки в электрической сети, так и с грозовой активностью и несвоевременной вырубкой трасс линий электропередачи. Выявлены несовершенство системы учёта отключений и необходимость структурирования причин отключений в электрических сетях ниже 35 кВ. Предложена классификация, включающая деление отключений по видам на преднамеренные и аварийные, а также указывающая причины отключений и их конкретизацию.*

Ключевые слова: *аварийные отключения, плановые отключения, сельские электрические сети, статистические данные, журнал отключений.*

Введение.

Классификация плановых и аварийных отключений предложена в работе [1], где рассмотрены также мероприятия по повышению надёжности электроснабжения потребителей. В указанном источнике плановые отключения делятся на технические и экономические, а аварийные - на отключения из-за природных явлений и других причин [1].

Интересные статистические данные приводятся по технологическим нарушениям электрических сетей Нижегородской области. Они структурированы следующим образом по классам напряжения: 0,4 кВ – 72 %; 6-10 кВ – 27 %; 35-110 кВ – 1 %. Отмечено, что причинами технологических нарушений являются дождь, снег, ветер, ошибки персонала, воздействие птиц, дефект конструкции, износ оборудования. В 58 % отключений причина отключений неизвестна [2].

По Дальневосточному региону отмечается сезонный характер отключений в электрических сетях. Выделены следующие причины отключений в электрических сетях напряжением 6-10 кВ: повреждение опоры (11%), повреждение изоляции (22%), повреждения на участках смежных организаций (11%), перекрытия на проводах ВЛ (13%), повреждение провода, грозозащитного троса, шлейфа (17%), падение деревьев на провода (12%), прочие (15%) [3].

Анализ количества и причин отключений воздушных линий 0,4 кВ на примере Кондровского района Калужской области выявил, что основными причинами являются повреждение проводов, грозовые перекрытия изоляции, ветровые нагрузки, ослабление прочности деталей опор [4].

Причины отключений ВЛ 0,4-20 кВ распределились в исследовании [5] следующим образом: воздействие сторонних лиц и организаций 1%; неудовлетворительное техническое состояние оборудования сети 23%; воздействие неблагоприятных природных явлений 31%; несвоевременное выявление дефектов 45%. Авторами обоснована актуальность внедрения информационно-измерительной системы контроля параметров воздушных линий электропередачи.

Анализируются причины аварийных отключений в разных регионах и странах, величины недоотпуска электроэнергии с учётом времени года и другими авторами [6, 7, 8]. Ими предлагаются решения по организации телеметрического контроля состояния изоляции воздушных линий электропередачи.

Исследуются плановые перерывы в электроснабжении с целью создания алгоритмов комплексной оценки надежности электроснабжения и качества электроэнергии [9].

Анализ указанной и другой литературы не выявил однозначной классификации причин отключений.

Существует Приказ Минэнерго РФ № 676 от 26.07.2017 [10], в котором регламентирована в определённой мере оценка технического состояния линий электропередач на напряжение 35 кВ и выше. Классификация причин отключений в электрических сетях более низкого класса напряжения не нормирована. Поэтому журналы фиксации отключений заполняются специалистами электросетевых организаций в свободной форме, что вносит многочисленные неточности и затрудняет обработку статистических данных. Это затрудняет рациональный выбор мероприятий по повышению надёжности электроснабжения.

Материалы и методы исследования.

Для структурирования причин отключений исследованы журналы фиксации отключений по электрическим сетям напряжением 0,4 кВ Орловской области за 2018-2023 годы. В журналах отмечены факты отключения с указанием времени возникновения и окончания, количестве и мощности отключенных потребителей, выявленных причинах отключений. Отключения были классифицированы по причинам и количеству по месяцам. Близкие формулировки причин объединялись и количество отключений по ним суммировалось. Выявлены следующие причины: потребительское; перегорание предохранителя; не выявлено; схлёстывание проводов; обрыв провода; падение деревьев, веток; гололёдно-ветровые нагрузки, ветер, гололёд; перекрытие проводов по стороннему предмету; атмосферные перенапряжения, гроза; повреждение проводов и опор техникой; внутреннее повреждение автоматического выключателя; падение опоры; пробой изолятора; окисление контактных соединений; превышение габарита стрелы провеса; деятельность сторонних лиц; деятельность животных и птиц; пожар; ремонт трансформатора.

Наблюдается неравномерность распределения отключений по месяцам и по причинам отказа. На летний период количество отключений заметно увеличивается. Если рассматривать все причины, то в летние месяцы отключений в 2,4 раза больше, чем в зимние, в 2 раза больше, чем в весенние и в 1,8 раз больше, чем в осенние. Рост числа отключений с мая по август связан с высокой грозовой активностью, периодом отпусков и дачным сезоном. В октябре перед началом отопительного сезона и началом холодов наблюдается увеличение количества отключений, связанных с увеличением нагрузки на электрические сети.

Диаграмма, приведённая на рисунке 1, позволяет выделить наиболее значимые

причины отключений.

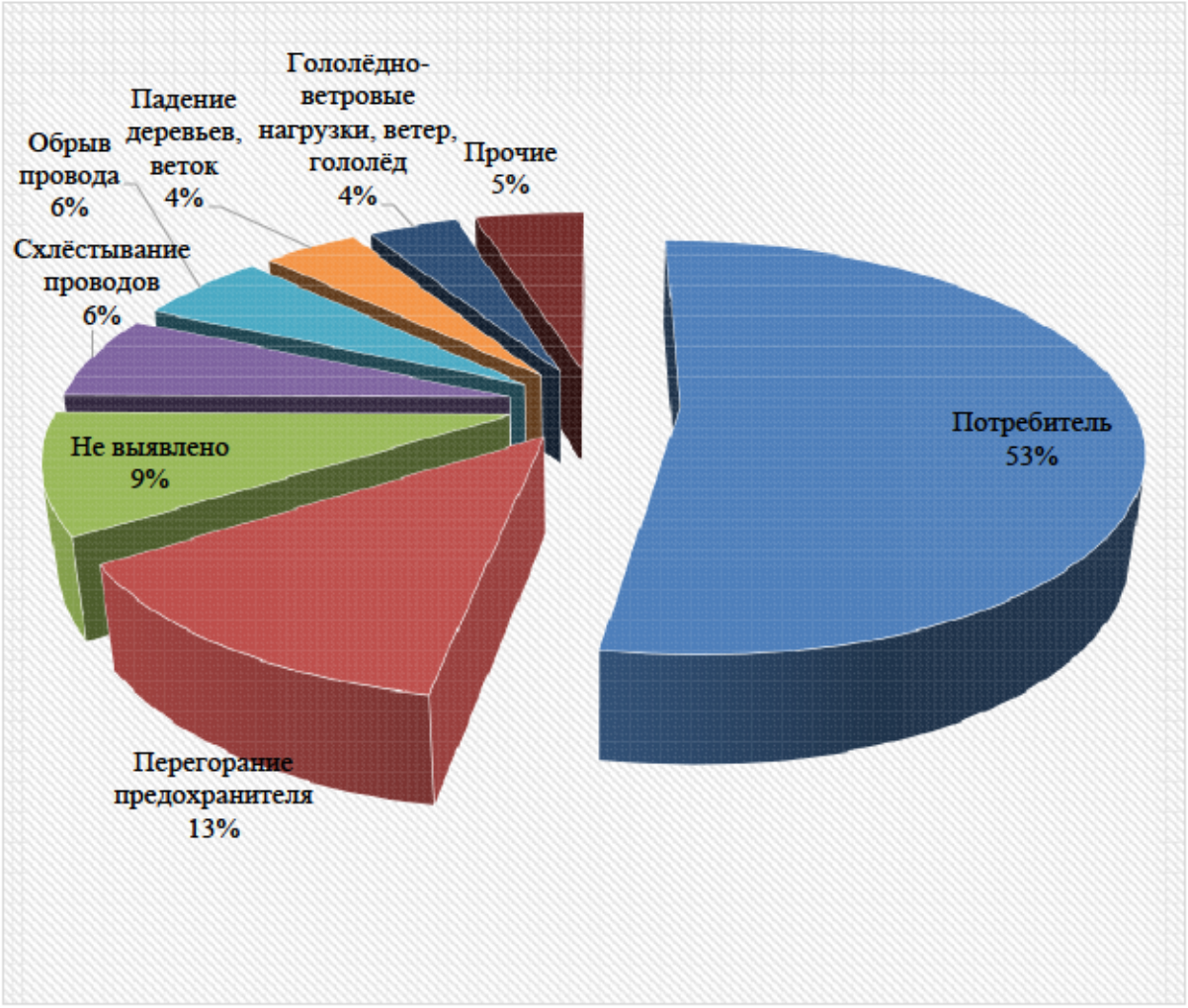


Рисунок 1 – Диаграмма отключений в электрических сетях 0,4 кВ

Наибольшее количество причин отключений связано с: 1 - потребителем (4518 откл.); 2 - перегоранием предохранителя (1109 откл.); 3 - не выявленными причинами (795 откл.); 4 - схлестыванием проводов (561 откл.); 5 - обрывами проводов (477 откл.); 6 - падением деревьев, веток (348 откл.); 7 - гололёдно-ветровыми нагрузками (333 откл.). В сумме на 7 указанных причин из 19 приведённых в таблице приходится 93% всех отключений. Остальные 7% отключений приходятся на прочие причины. Самой частой причиной является потребитель, то есть отключение происходит из-за повреждений в сети, или оборудовании, находящемся на балансе потребителя.

Из диаграммы следует, что основное внимание электросетевых организаций должно быть сосредоточено на создании и совершенствовании систем мониторинга, защиты и автоматики в сетях 0,4 кВ. Это даст возможность прогнозировать развитие дефектов, своевременно выявлять причины отключений в том числе в сетях потребителей. Своевременное выявление отключений позволит сократить время перерывов вэлектроснабжении за счёт оперативной реакции соответствующих служб.

Перспективным является использование секционирования линий 0,4 кВ, так как повреждение, например, ввиду короткого замыкания, обрыва провода, часто находится не в

начале, а в середине, или конце линии. Это характерно при потребительских отключениях, схлестывании проводов, падении деревьев и в других случаях. Секционирование позволит сократить число отключенных потребителей и недоотпуск электроэнергии, повысит защищённость линий от удалённых коротких замыканий. Также оно позволяет сократить продолжительность плановых перерывов в электроснабжении за счёт обеспечения возможности обслуживания и ремонта линий электропередачи с отключением только отдельных их участков [11, 12].

Результаты и их анализ.

Для удобства использования и унификации причин отключения в распределительных электрических сетях предлагается классификация, представленная в таблице 1. Причины отключений предлагается подразделять на 2 крупных блока: преднамеренные и аварийные. Далее каждый блок включает в себя перечень причин отключений, разбиваемый более подробно.

Для удобства использования при заполнении журнала фиксации отключений причины кодируются. В коде указываются:

- вид отключения (ПО – преднамеренное отключение, АС – аварийная ситуация);
- причина отключения (численное обозначение);
- конкретизация причины отключения (численное обозначение);
- примечания (численное обозначение).

Таблица 1 – Классификация причин отключения сельских электрических сетей

Причины отключений	Преднамеренные отключения (ПО)	1	Неотложное
		2	Неплановое
		3	Плановое
		4	Потребительское
	Аварийные отключения (АО)	1	Воздействие природно-климатических факторов
		2	Деятельность сторонних лиц
		3	Не выявлено
		4	Неисправность РЗиА
		5	Падение деревьев, веток
		6	Повреждение оборудования
		7	Повреждение опор и линейной арматуры
		8	Повреждение проводов и кабелей
		9	Пожар
		10	Превышение габарита стрелы провеса
		11	Срабатывание РЗиА без указания причины

В таблице 1 приведены и кодовые численные обозначения видов и причин отключений. Конкретизация причин отключений для преднамеренных отключений разработана, но в таблице 1 не указана ввиду большого объёма конкретизаций. Например, для причины 7 «повреждение опор и линейной арматуры» конкретизация имеет следующие обозначения: 1 - падение опоры; 2 - перекрытие изолятора; 3 - повреждение опоры; 4 - повреждение траверсы; 5 - пробой изолятора; 6 – другое.

Тогда, например, перекрытие изолятора будет иметь шифр АО.7.2, где АО – первая позиция в коде (вид отключения - аварийное отключение), 7 – вторая позиция в коде (причина отключения – повреждение опор и линейной арматуры), 2 – третья позиция в коде – конкретизация причины отключения, в данном примере – перекрытие изолятора.

Классификация причин отключений позволит значительно упростить заполнение и обработку данных по отключениям, например, в таблицах Exel при заполнении журнала фиксации отключений работник выбирает позицию кода, а не формулирует причину словами. Пояснения даются им только для позиции «другое». Это уменьшает долю ошибок и упрощает выявление наиболее значимых причин отключений. За счёт этого более рационально выбираются и разрабатываются меры по сокращению числа отключений. Значительно возрастут возможности использования для этого и средств искусственного интеллекта.

Выводы

Анализ литературных источников показал, что отсутствует единая структура причин отключений в сельских электрических сетях классов напряжения ниже 35 кВ. Ввиду этого затруднено правильное определение причин отключений и из-за многообразия факторов и многосторонней их связи между собой, имеется сложность выявления первопричины отключения.

Предложена структура причин отключений на основе обработки статистических данных, предполагающая разделение отключений по видам на преднамеренные и аварийные, а также указывающая причины отключений и их конкретизацию. Использование данной структуры упрощает обработку данных по отключениям, выявление наиболее значимых причин и первопричин отключений и выбор мер по сокращению числа отключений.

Список использованных источников

1. Бандурин И., Садченкова О. Повышение надёжности электроснабжения распределительных сетей сельскохозяйственного назначения // Электроэнергия. Передача и распределение. 2015. № 5(32). С. 46-52. EDN VOSCOP

2. Коннов А. А. Анализ аварийности в электрических сетях 0,4 кВ Нижегородской области // Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. № 5-1(61). С. 127-130. EDN VLTBDM.

3. Комаров М. Ю. Оценка технического состояния и уровня эксплуатации оборудования предприятий распределительного комплекса Дальневосточного региона на основе статистического анализа отключений энергетического // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов : СБОРНИК ТРУДОВ СЕДЬМОЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ, Благовещенск, 04–06 июня 2013 года / Амурский государственный университет. Благовещенск: Амурский государственный университет, 2013. С. 318-322. EDN SAJQVP

4. Виноградов А. В., Шабаев М. М., Юдкин Р. С. Некоторые статистические данные о составе распределительных электрических сетей на примере Кондровского РЭС // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век : Материалы XVII международной научно-практической конференции, Орёл, 02–04 декабря 2019 года. – Орёл: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2019. С. 196-201. EDN MLBAJQ

5. Листюхин В. А., Печерская Е. А. Информационно-измерительная система контроля параметров воздушных линий электропередачи распределительных сетей 0,4-20 кВ // XVI

Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике», Казань, 20–21 октября 2021 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "Издательско-полиграфическая компания "Бриг", 2022. С. 328-330. EDN VPGFAF

6. Breido I., Kaverin V., Ivanov V. [Телеметрический контроль состояния изоляции воздушных линий электропередачи высокого напряжения]. Автоматика. Информатика = Telemetric Monitoring Insulation Condition of High Voltage Overhead Power Lines. 2019: No. 2(45): 48-57. DOI: 10.2507/29th.046. EDN HIHHUZ

7. Васильева Т.Н., Лопатин Е.И. Анализ причин отказов электрического оборудования распределительных сетей 0,38…10 кВ. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2011. № 3(11): 64-66. EDN OFSKQV

8. Наумов И.В., Полковская М.Н. Анализ работы электрических сетей Облкоммунэнерго Иркутской области в 2019 году // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 5(199): 118-126. EDN NUWCDT.

9. Ковалев Г.Ф., Чернов Д.В. Методика комплексной оценки надежности электроснабжения и качества электроэнергии в сельских распределительных сетях // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2009. № 5: 104-114. EDN KVAYYP

10. Приказ Минэнерго РФ № 676 от 26.07.2017 «Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей».

11. Виноградов А.В. Принципы управления конфигурацией сельских электрических сетей и технические средства их реализации. Монография. — Орёл: изд-во «Картуш», 2022. — 392 с.

12. Виноградов А.В., Виноградова А.В., Крамской С.В. Обоснование совместного применения средств секционирования и мобильных энергетических платформ для резервирования электроснабжения сельских потребителей // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70. N2(51). С. 26-36. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-2-26-36. EDN JLJRVG

Bibliography:

1. Bandurin I., Sadchenkova O. Increasing the reliability of power supply in agricultural distribution networks // Electricity. Transmission and Distribution. 2015. No. 5 (32). P. 46-52. EDN VOSCOP

2. Konnov A. A. Analysis of accidents in 0.4 kV electrical networks of the Nizhny Novgorod region // Current scientific research in the modern world. 2020. No. 5-1 (61). P. 127-130. EDN VLTBDM.

3. Komarov M. Yu. Assessment of the technical condition and level of operation of equipment of enterprises of the distribution complex of the Far Eastern region based on statistical analysis of power outages // Power engineering: management, quality and efficiency of energy resources use: COLLECTION OF PROCEEDINGS OF THE SEVENTH ALL-RUSSIAN SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION, Blagoveshchensk, June 4–6, 2013 / Amur State University. Blagoveshchensk: Amur State University, 2013. P. 318–322. EDN SAJQVP

4. Vinogradov AV, Shabaev MM, Yudkin RS Some statistical data on the composition of distribution electrical networks on the example of Kondrovsky RES // Energy and resource saving -

XXI century: Proceedings of the XVII international scientific and practical conference, Orel, December 02-04, 2019. - Orel: I.S. Turgenev OSU, 2019. Pp. 196-201. EDN MLBAJQ

5. Listyukhin VA, Pecherskaya EA Information and measuring system for monitoring the parameters of overhead power lines of 0.4-20 kV distribution networks // XVI All-Russian open youth scientific and practical conference "Dispatching and control in the electric power industry", Kazan, October 20-21, 2021. – Kazan: Limited Liability Company "Publishing and Printing Company" Brig ", 2022. P. 328-330. EDN VPGFAF

6. Breido I., Kaverin V., Ivanov V. [Telemetric Monitoring of the Insulation Condition of High Voltage Overhead Power Lines]. Automation. Informatics = Telemetric Monitoring Insulation Condition of High Voltage Overhead Power Lines. 2019: No. 2(45): 48-57. DOI: 10.2507/29th.046. EDN HIHHUZ

7. Vasilyeva T.N., Lopatin E.I. Analysis of the Causes of Failures of Electrical Equipment in 0.38…10 kV Distribution Networks. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2011. No. 3(11): 64-66. EDN OFSKQV

8. Naumov I.V., Polkovskaya M.N. Analysis of the operation of electrical networks of the Oblast Municipal Energy Company of the Irkutsk Region in 2019 // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2021. No. 5 (199): 118-126. EDN NUWCDT.

9. Kovalev G.F., Chernov D.V. Methodology for a comprehensive assessment of the reliability of electricity supply and the quality of electricity in rural distribution networks // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering. 2009. No. 5: 104-114. EDN KVAYYP

10. Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation No. 676 dated July 26, 2017 "On approval of the methodology for assessing the technical condition of the main technological equipment and power transmission lines of electrical stations and electrical networks." 11. Vinogradov AV Principles of rural electrical networks configuration management and technical means of their implementation. Monograph. - Orel: Kar-tush Publishing House, 2022. - 392 p.

11. Vinogradov A.V. Principles of configuration control of rural electric networks and technical means of their realization.

means of their realization. Monograph. - Oryol: publishing house “Kartush”, 2022. - 392 c.

12. Vinogradov AV, Vinogradova AV, Kramskoy SV Justification of the joint use of sectioning means and mobile energy platforms for backup power supply to rural consumers // Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex. 2023. Vol. 70. N2 (51). P. 26-36. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-2-26-36. EDN JLJRVG.

Виноградова Алина Васильевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории электроснабжения, электрооборудования и возобновляемой энергетики, Россия, Москва, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5; доцент кафедры «Электроснабжение» ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет, 302019, г. Орёл, ул. Генерала Родина, д. 69.

Тел.+79208079424, e-mail: alinawin@rambler.ru

REASONS FOR OUTAGES IN RURAL ELECTRIC NETWORKS AND THEIR STRUCTURING

A.V. Vinogradova[1,2]

[1]Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin
[2]FGBNU FNATS VIM

Annotation. The analysis of statistical data on outages in rural 0.4 kilovolt electric networks for 6 years in one of the central regions of Russia was carried out. The statistics on emergency outages were structured by the months of occurrence of outages and their causes. It was revealed that the greatest number of emergency outages occurs in the period from May to September. Diagnostic analysis showed that this is due to both physical and moral wear and tear of equipment with increasing load in the electrical network, and with thunderstorm activity and untimely cutting of power lines. The imperfection of the outage accounting system and the need to structure the causes of outages in electrical networks below 35 kV were revealed. A classification is pro-posed that includes dividing outages by type into intentional and emergency, as well as indicat-ing the causes of outages and their specification.

Keywords: emergency outages, planned outages, rural electrical networks, statistical data, outage log.

Alina Vinogradova, PhD in Engineering, Leading Researcher at the Laboratory of Electricity Supply, Electrical Equipment and Renewable Energy, Moscow, Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Associate Professor of the Department of Electricity Supply, Oryol State Agrarian Uni-versity, 302019, Oryol, General Rodin St., 69
+79208079424, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5,
e-mail: alinawin@rambler.ru, ОРСИД 0000-0002-8935-7086

УДК 620.97:621.57

«НАРОДНЫЙ ЭНЕРГОЦЕНТР», КАК ДРАЙВЕР РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

А.П. Ковтун, С.В. Стребков

ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ

Аннотация. *Развитие малой энергетики в отдалённых районах и обеспечение малых и средних хозяйств энергоресурсами-«НАРОДНЫЙ ЭНЕРГОЦЕНТР», КАК ДРАЙВЕР РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА. (Цель исследования) Методология проектирования энергетических центров малой мощности 20-100 кВт, на принципе мультигенерации. Создание нормативно-правовой и нормативно-технической базы создания энергоцентров с учётом оптимальных алгоритмов по аккумулированию, рекуперации и утилизации энергии на основе материалов с фазовым переходом [7].(Результаты и обсуждения.)Создание энергетической инфраструктуры в отдалённых районах позволит создать условия для развития новых производств, поднять культуру производства и сократить себестоимость продукции, сократить потери и улучшить качество продуктов питания.(Выводы) Карбоновая повестка дня требует сокращения расходов топлива на единицу продукции, сокращения выбросов парниковых газов, что напрямую связано с созданием эффективных энергоцентров [4]. Основной концепцией создания энергоцентров должна стать: «Простота» технических решений, унификация узлов и использование местных энергетических ресурсов.*

Ключевые слова: *когенерация, тригенерация, тепловые насосы, аккумуляторы, рекуперация.*

Введение. «Народный энергоцентр» как драйвер развития и создания потенциала для развития и укрепления агропромышленного сектора, развития сельских территорий. Энергетическая составляющая в себестоимости продукции сельского хозяйства составляет 30%. Президент Российской Федерации В. В. Путин поставил задачу для агрокомплекса об увеличении объёма продукции к 2030 году на 25%. Поставленная задача является основанием для поиска новых подходов и технологических решений. Требуются огромные инвестиции для подключения к централизованным источникам энергии и реконструкции существующих сетей. В настоящее время техническое присоединение к электрическим сетям на расстоянии 10 километров установленную мощность 100кВт составляет порядка 40 млн. рублей. Эти цифры малого и среднего бизнеса неподъёмные инвестиции, здесь можно рассчитывать только на поддержку государства. Насущной проблемой является внедрение практики по созданию систем тригенерации, современных систем утилизации, рекуперации и аккумулирования энергии, создания автономных энергоцентров малой мощности [1,2].

В рамках государственных программ «Демография», «Государственная программа развития сельского хозяйства», программа «Комплексное развитие сельских территорий» одним из важных моментов является создание привлекательных условий проживания в сельской местности, создание комфортных условий ведения агробизнеса и быта. Обеспеченность энергоресурсами позволит решить многие из проблем- свет, тепло, механизация это то, что важно для сельского жителя.

Согласно данным на 2023 год, в России 11000 крестьянско-фермерских хозяйств. Для справки: в дореволюционной России было 16 млн. крестьянских хозяйств.

Полагаясь на эти факты, допускаем, что часть этих хозяйств находилась в отдалённых районах и развитие этих территорий является большим государственным резервом развития малых хозяйств, которые будут демографическим драйвером. Так как люди, которые родились и выросли в деревне более физически и морально сильные, более мотивированные как в научном, так и творческом труде.

На основании данных ООН в мире к прилавку не доходит до 30 % произведённого продовольствия, а в России по данным 17…20%. Следует вывод, что огромные резервы в увеличении объёмов производства находятся в сфере развития энергетических технологий-сушильных, холодильных, перерабатывающих мощностей.

Малый и средний бизнес не могут самостоятельно развивать энергетические мощности.

Цель исследования - создание серийного ряда автономных энергетических установок на основе мультигенерации мощностью 20…100кВт для использования в сфере сельского хозяйства, ЖКХ, МЧС, МО.

Исследования рынка когенерационных и тригенерационных установок в течение более 14 лет дают нам право с уверенностью сделать заключение- в России малой когенерационной техники очень мало, а установки тригенерации практически отсутствуют. Это связано с невысокой общей стоимостью объектов и низкой доходностью в итоге стоимость установки составляет порядка 1000$ за 1 кВт европейского производства и порядка 500$ китайского производства. Сегодня востребованы на рынке энергоцентры малой мощности, которые бы обеспечивали малые хозяйства электрической мощностью 20…100 кВт и обладали приемлемой стоимостью, универсальностью, простотой в эксплуатации.

Исходя из вышеизложенного предлагаем развернуть программу по разработке унифицированных транспортабельных энергоцентров -«Народный энергоцентр».

Неразвитость этого сектора энергетики связана с невысокой стоимостью таких энергоцентров, а энергомашиностроительный бизнес не готов вкладываться в НИОКР. Не мене важной стороной является отсутствие системы сервисных центров и создания универсального ПО для дистанционной диагностики и управления комплексом.

Создания комфортной и безопасной среды для людей, которые приняли смелое решение вести хозяйство вдали от цивилизации, необходима поддержка государства и снижение стоимости автономных установок за счет серийного производства с применением нашего отечественного оборудования, которое сегодня реально существует в разрозненных вариантах- двигатели ДВС, теплообменное оборудование, холодильное оборудование. Проблема существует в отсутствии нормативной базы, единых стандартов для проектирования, правил эксплуатации. Создавая удобные в эксплуатации и унифицированные энергоцентры позволит развить автономную сельскую инфраструктуру и наращивать объёмы производства сельскохозяйственной продукции и увеличить глубину переработки. В итоге мы получим следующие результаты:

- решение демографических проблем, за счёт улучшения условий труда и повышая привлекательность сельского труда;
- создание привлекательной среда для молодежи и людей, желающих или сомневающихся заниматься сельским хозяйством;
- сокращение потерь произведенной сельскохозяйственной продукции;
- более глубокая переработка продукции;

- производство экологически чистых продуктов.

Повышение обеспеченности энергоресурсами позволяет снизить риски в хозяйственной деятельности и, следовательно, обеспечить более надежный механизм инвестирования.

Важным этапом внедрения является выработка финансового механизма приобретения оборудования через систему Агролизинг, аренды оборудования, передача в концессию. Но здесь должен работать механизм господдержки, так как этап внедрения будет длительным, пока не будет налажено серийное производство, накопится достаточное количество данных установок, будут созданы территориальная инфраструктура и операторы по производству, содержанию и обслуживанию данных устройств. Учитывая низкую динамику развития производства энергоцентров, считаем, что необходима государственная поддержка.

Сегодня на рынке оборудования много предложений в использовании энергии солнца, ветра, воды, биоэнергетики, высокотемпературной деструктуризации, пиролизной и водородной энергетики, СПГ, природного газа, дизеля, бензина, сетевой электроэнергии и малой генерации [1,2,3].

Но, увы, унифицированных энергоустановок с использованием различных видов топлива и энергии на базе мультигенеррации на рынке России пока не предлагается.

Проведение анализа по использованию независимых островных энергоустановок, параллельных с сетью источников энергии позволит решить вопрос снижения нагрузки на сети, так как сети еще во многих местах старые, а нагрузки увеличились значительно, также моральный и физический износ оборудования.

Применения предлагаемых решений позволит значительно сократить инвестиционные расходы на реконструкцию и строительство новых сетей.

Важным фактором исследования в системном анализе является инвариантность оборудования под различные условия эксплуатации, регионы, топлива, потребности.

Результаты исследований, должны стать исходным материалом для разработки и внедрения унифицированного оборудования. Полученные данные станут основой для формирования правил проектирования, создания нормативно-технической базы, унификации узлов и деталей, типовых проектных решений. В этом деле ВУЗы, колледжи могут выступить инициаторами создания учебно-экспериментальных установок, проведения НИОКР [3,5].

Рассмотрим общую ситуацию в России по использованию комплексных мультигенерационных установок.

В последние 15 лет, после принятия закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» ФЗ РФ 261 23.11.2009 г. в России начала складываться индустрия использования технологий сжигания, высокотемпературной переработки вторичных ресурсов и использования возобновляемых источников энергии.

Созданные установки и технические решения, носят единичный характер, и не имеют универсального подхода в создании моделей энергоцентров на основе тригенерации и мультигенерации [5].

Актуальна также «Зеленая повестка», карбоновые проекты, которые связаны с утилизацией и переработкой вторичного сырья, снижения выбросов парниковых газов, повышения КПД энергооборудования [4]. Федеральный закон от 02.07.2021 N 296-ФЗ Об ограничении выбросов парниковых газов, Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 N 3052-р “Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года”, ещё более

актуализируют необходимость в создании новых технологических решений.

Сегодня уже есть реализованные проекты большой мощности. Белгородская область – лидер по внедрению современных технологических решений в области альтернативной энергетики. Созданы уникальный комплекс Агро-Белогорье, который стал лидером в создании энергоцентра на базе традиционных и альтернативных источников, построено 4 тепличных комплекса, использующие когенерационные установки. Белгородские энергомашиностроители создали котлы по сжиганию подстилочной биомассы, отходов птицеводства, сжиганию лузги подсолнечника, кородревесные отходов, пилеты. Инновационные технологии на базе котлов ОАО «Завод Котельного Оборудования», «Белэнергомаш», «СТМ» успешно работают в различных регионах России и за рубежом.

Одним из проблемных переделов мультигенерации является аккумулирование [6], рекуперация и утилизация энергии, что является основой создания энергоэффективных систем мультигенерации. Значительную часть технических решений, накопителей, можно решать за счёт устройств хранения биомассы, ледников, аккумуляторных батарей, аккумуляторов условного тепла на основе фазовых переходов [2,7], хранилища сжиженного газа, газгольдеры. И в этой разделе необходимо разработать технологические рекомендации, производить универсальное оборудование по единому стандарту.

Прототипами можно сказать является: гибридный автомобиль, самолёт, трактор-механика, тепло, электроэнергия, холод - кондиционирование. И сегодня есть много отечественного оборудования которые можно использовать для решения задач энергообепечения.

Посетив тематические выставки в Москве, можем с уверенностью сказать, что такое оборудование востребовано и требует поддержки науки и государства.

Вовлечение в работу научных организаций и ВУЗов поможет обобщить наработанный опыт, создать линейку качественно новых систем с учётом региональной специфики, создать на базе ВИМ законодательную координирующую структуру.

Выработанные решения и технологии будут использоваться для проектирования и разработки нормативно-методических документов, конструкторской документации, которые в последствии могут быть приняты заводами ВПК как конверсионная продукция.

Обсуждение. Для решения данной задачи считаем необходимым проведение комплекса работ по исследованию и внедрению:

- популяризация энергоцентров по выработке электроэнергии, тепла и холода, дающих КПД-90%;
- подготовка специалистов электро-теплотехник;
- проведение научных исследований в области аккумулирования и преобразования энергии;
- создание научного направления по развитию и внедрению средств аккумулирования энергоресурсов на принципе фазовых переходов;
- проведение НИОКРов по разработке типовых энергоцентров 20-100кВт;
- создание опытных моделей;
- создание нормативной базы;
- создание клуба «Народный энергоцентр».

Выводы. Для достижения поставленных целей, развития сельского хозяйства и создания комфортных условий проживания и ведения бизнеса, в отдалённых районах необходимо:

- принять Государственную программу по созданию мобильных, контейнерных энергоценров на базе мультигенерации 10—100кВт;
- создать фундаментально-теоретический базис для производства и внедрения средств малой энергетики на базе мультигенерации;
- создать финансовые инструменты стимулирования и развития малой энергетики;
- провести НИОКР;
- унифицировать узлы и механизмы на базе проведенных исследований и опытного производства;
- стандартизировать и унифицировать узлы;
- разработать Программное Обеспечение;
- разработать типовые решения по аккумуляции и преобразованию энергии;
- создать каталог проектных решений для производителей, инвесторов, заказчиков, проектировщиков.

Исполнение данного проекта даст возможность создать новый вид высокотехнологичной продукции, даст импульс развития машиностроительным предприятиям, усилит потенциал сельхоз производителей, сделает более привлекательным сельский труд.

Список использованных источников

1. Стребков, Д.С., Тихомиров Д. А., Тихомиров А.В. Показатели потребления топливно-энергетических ресурсов в сельском хозяйстве и энергоёмкости сельхозпроизводства, их прогноз на период до 2030 года., ФГБНУ «Федеральный Научный Агроинженерный Центр ВИМ» // Вестник ВНИИМЖ. №4(32)-2018. С.4-12.

2. Трунов, С.С., Хименко А.В., Тихомиров Д. А., Соколов А. В. Обоснование энергосберегающей функциональной схемы аккумуляционной установки для нагрева воды на фермах КРС // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2024. Т. 71. №. С. 68-75.

3. Шелгунов, А.В. Сравнительный анализ автономных энергоцентров с когенерацией и тригенерацией // Силовое и энергетическое оборудование. Автономные системы. 2019. Т. 2. Вып. 3. С. 129–140.

4. Хомяков, Д.М. Карбоновые проекты. Как в Китае видят перспективы их развития // Агротехника и технологии. 2024. №01. С.18-21.

5. Андреев, С.А. Алгоритм управления энергетическими потоками в автономной комбинированной системе электроснабжения. / С. А. Андреев, Н.Э. Поволоцкий. // EUROPEAN RESARCH: Сборник статей XXXIIV Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2021. - С.16-21.

6. Андреев, С. А. Аккумулирование энергии в маломощных гелиосистемах автономного электроснабжения / С. А. Андреев, В.И. Загинайлов, Д. В. Шибаров. // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П.Горячкина». 2017. № 5(81). – С. 70-76.

7. Бараненко, А.В., Кузнецов П. А., Захарова В.Ю., Цой А.П. Применение веществ с фазовыми переходами для аккумулирования тепловой энергии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 6. - С. 990–1000.

Bibliography:

1. Strebkov, D.S., Tikhomirov D.A., Tikhomirov A.V. Indicators of fuel and energy resources consumption in agriculture and energy intensity of agricultural production, their forecast for the period up to

2030., FGBNU “Federal Scientific Agroengineering Center VIM” // Vestnik VNIIMZh. №4(32)-2018. C.4-12.

2. Trunov, S.S., Himenko A.V., Tikhomirov D.A., Sokolov A.. V. Justification of the energy-saving functional scheme of the accumulation unit for water heating on cattle farms // Electrotechnologies and electrical equipment in agroindustrial complex. 2024. T. 71. №. C. 68-75.

3. Shelgunov, A.V. Comparative analysis of the autonomous power centers with cogeneration and trigeneration // Power and Power Equipment. Autonomous Systems. 2019. T. 2. Vyp. 3. C. 129-140.

4. Khomyakov, D.M. Carbon projects. How China sees the prospects of their development // Agrotechnics and Technologies. 2024. №01. C.18-21.

5. Andreev, S.A. Energy flow control algorithm in the autonomous combined power supply system. / S.A. Andreev, N.E. Povolotsky. // EUROPEAN RESARCH: Collection of articles of the XXXIIV International Scientific and Practical Conference. - Penza: ICNS “Science and Enlightenment”. 2021. - C.16-21.

6. Andreev, S. A. Energy storage in low-power solar systems of autonomous power supply / S. A. Andreev, V. I. Zaginaylov, D. V. Shibarov. // Bulletin of FGBOU VPO “Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin”. 2017. № 5(81). - C. 70-76.

7. Baranenko, A.V., Kuznetsov P.A., Zakharova V.Yu., Tsoi A.P. Application of substances with phase transitions for thermal energy storage // Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2018. T. 18. № 6. - C. 990-1000.

Ковтун Александр Павлович, аспирант, инженер, kovtun_ap@bsaa.edu.ru
Стребков Сергей Васильевич, кандидат технических наук, профессор, strebkov_sv@bsaa.edu.ru
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ

"NATIONAL ENERGY CENTER" AS A DRIVER OF AGRICULTURAL EVELOPMENT

K.A. Pavlovich, S.V. Strebkov
FGBOU VO Belgorod GAU

Annotation. : The development of small-scale energy in remote areas and the provision of small and medium-sized farms with energy resources is the "NATIONAL ENERGY CENTER" AS A DRIVER OF AGRICULTURAL DEVELOPMENT. (Purpose of the study) Methodology for designing low-power energy centers of 20-100 kW, based on the principle of multigeneration. Creation of a regulatory and regulatory and technical basis for the creation of energy centers, taking into account optimal algorithms for the accumulation, recovery and utilization of energy based on materials with a phase transition. (Results and discussions)The creation of energy infrastructure in remote areas will create conditions for the development of new industries, raise production culture and reduce production costs, reduce losses and improve the quality of food.(Conclusions) The carbon agenda requires reducing fuel consumption per unit of production, reducing greenhouse gas emissions, which is directly related to the creation of efficient energy centers[4]. The main concept of creating energy centers should be: "Simplicity" of technical solutions, unification of nodes and the use of local energy resources.

Keywords: cogeneration, trigeneration, heat pumps, batteries, recovery.

Kovtun Alexander Pavlovich Kovtun, post graduate student, engineer, kovtun_ap@bsaa.edu.ru
Strebkov Sergey V., PhD (technical sciences), professor, strebkov_sv@bsaa.edu.ru FGBOU VO Belgorod GAU

УДК 621.311.6

МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УНИЧТОЖЕНИЯ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО РАЗРЯДА И ОБРАТНОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ДАТЧИКА ТОКА

А.С. Угловский, Н.Ю. Семеренко

Ярославский государственный аграрный университет

Аннотация. *В данной статье описывается разработка и тестирование автономной роботизированной системы, предназначенной для борьбы с сорными растениями с помощью высоковольтного разряда. В системе реализован механизм обратной связи. Основой устройства является мобильная платформа с шестиколесным приводом и подвеской типа «Багги». В ее состав входят источник высокого напряжения, способный генерировать напряжение до 15 кВ, манипулятор с электродами для механического и электрического удаления сорных растений, датчик для измерения потребляемого тока и одноплатный компьютер для управления и обработки данных.*

Принцип работы системы заключается в том, что при соприкосновении высоковольтного электрода с сорных растений наблюдается увеличение тока. После завершения процесса ток существенно уменьшается. Средняя энергия для уничтожения сорного растения (молочай) была оценена в 200 Дж при разрядном токе в 10 А. На основе измерений потребляемого тока была проведена калибровка механизма обратной связи для определения и обнаружения уничтожения сорных растений.

Исследования показали, что предлагаемая схема управления значительно повышает эффективность робототехнических систем, обеспечивая высокую точность и надежность при автоматизации агрономических процессов.

Ключевые слова: *уничтожение сорных растений, высоковольтный разряд, механизм обратной связи, багги, автономная платформа.*

Введение. Борьба с сорными растениями является важнейшей задачей в сельскохозяйственном секторе. Традиционные методы, такие как использование гербицидов и механическая прополка, имеют свои недостатки: они могут негативно влиять на окружающую среду, требуют значительных временных затрат и не всегда эффективны против всех видов сорных растений.

С каждым годом растет интерес к инновационным решениям, таким как применение электрического тока для борьбы с сорными растениями. Электрический метод уничтожения сорных растений предлагает экологичную и безопасную альтернативу. Сегодня электроэнергия активно используется в различных отраслях промышленности, и идея ее использования для уничтожения сорных растений обсуждается уже несколько десятилетий. Некоторые исследователи считают такой подход идеальным и безвредным способом борьбы с нежелательной растительностью. Высоковольтный ток воздействует на корни растений, существенно ограничивая их потенциал к отрастанию, при этом не загрязняя почву и пищевые цепи.

Несколько исследований продемонстрировали успешное применение электроэнергии для уничтожения сорных растений. Например, в одном из самых ранних экспериментов для

борьбы с сорными растениями использовались высоковольтные разряды (от 2 до 30 кВ). Результаты показали, что более высокое напряжение приводит к большей интенсивности и скорости уничтожения. Это подтверждает, что электрический метод является быстрым и эффективным средством, способным конкурировать с химическими методами.

Целью данного исследования является создание автоматизированной системы с механизмом обратной связи на основе контроля потребляемого электрического тока для целенаправленного уничтожения сорных растений в агрономической практике.

Материалы и методы. В данном исследовании была разработана автоматизированная система уничтожения сорных растений, включающая в себя мобильную платформу, высоковольтный источник, манипулятор и систему управления.

Конструкция мобильного робота спроектирована с использованием шестиколесного привода и подвески типа «Багги» (Рисунок 1). Такая конструкция обеспечивает высокую проходимость и устойчивость на неровных поверхностях.

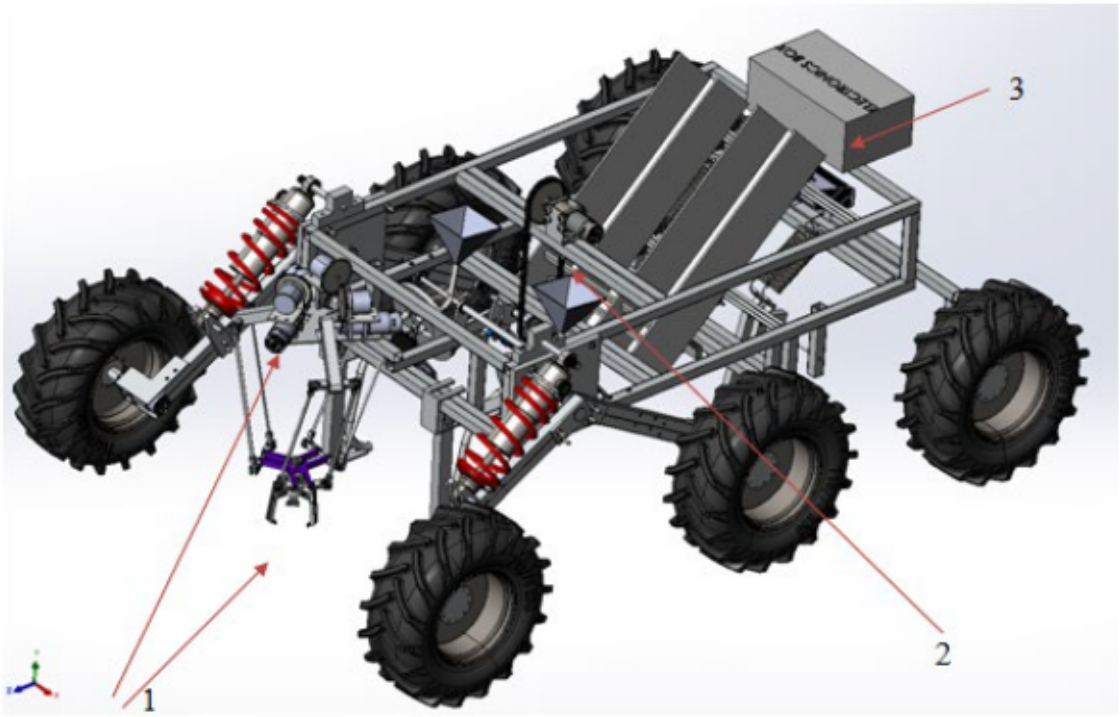


Рисунок 1 – Схема мобильной платформы робота
1 – манипулятор с электродвигателями, 2 – электропривод механизма подачи семян, 3 – блок системы управления

Основные элементы конструкции:

Электропривод: Шесть двигателей постоянного тока, установленных на колесах, обеспечивают движение робота. Три серводвигателя обеспечивают позиционирование манипулятора. Два электропривода отвечают за механизм подачи семян и посадку рассады.

Колеса: Шесть колес с глубокими протекторами для лучшего сцепления с землей.

Подвеска багги: Система подвески, которая позволяет колесам колебаться независимо, улучшая мобильность на неровных поверхностях.

Блок управления: Блок, который позволяет мобильному роботу выполнять все операции.

Система управления электроприводами мобильного робота

Мобильный робот управляется платой Raspberry Pi, которая обеспечивает следующие функции [1-4]:

Сбор данных с датчиков: Raspberry Pi получает информацию от датчика тока и камеры, которая обнаруживает сорные растения.

Анализ данных: Raspberry Pi анализирует собранные данные и принимает решения относительно действий робота.

Управляющие сигналы: Raspberry Pi отправляет управляющие сигналы на электроприводы, отвечающие за движение колес, позиционирование манипулятора и подачу высокого напряжения. Характеристики электроприводов.

Электрическая схема (рисунок 2) представляет собой драйвер для управления четырьмя серводвигателями манипулятора и устройства для посадки рассады. На схеме показаны четыре драйвера STK672-080-E (U1 - U4), отвечающие за управление двигателями. Разъем J2 имеет 10 контактов, 9 из которых являются GPIO (общий контакт - GND), используемые для управления двигателями. Управляющие сигналы для двигателей передаются на контроллер через контакты 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 и 15. Сигнал «Enable», отвечающий за включение и выключение двигателя, подается на общий контакт 1.

Для драйвера требуются два разных источника питания: управляющее напряжение 5 В и рабочее напряжение в диапазоне от 12 до 48 В. Контроллер является основной частью системы, отвечающей за точные движения механизмов мобильного робота. Драйвер STK672-080-E с помощью сигналов с разъемов (например, J3, J4 и т. д.) управляет несколькими шаговыми двигателями (M1, M2 и т. д.). В зависимости от выбранного способа возбуждения и сигнала CLK драйвер обеспечивает плавную работу и необходимую скорость всех двигателей. В зависимости от состояния выводов M1, M2 и M3 можно переключать способы управления двигателями, что позволяет системе подстраиваться под текущие задачи (перемещение, удержание, разгон и торможение). Предложенная схема может быть применима для колесных пар мобильного робота и устройства подачи семян.

Механизм уничтожения сорных растений включает в себя следующие компоненты:

1) Источник высокого напряжения: преобразует 24 В постоянного тока от аккумуляторов в 15 кВ переменного тока. Здесь используется высоковольтный преобразователь на основе импульсного трансформатора, управляемый Raspberry Pi.

2) Система позиционирования: дельта-робот, состоящий из трех сервоприводов, обеспечивает точное позиционирование манипулятора для контакта с сорным растением.

3) Манипулятор: дельта-робот оснащен 3D-печатным захватом с винтовым механизмом и тремя пальцами, которые захватывают сорное растение.

4) Электроды: манипулятор имеет электроды, которые подают высоковольтный разряд на сорное растение.

Механизм обратной связи в этой системе основан на измерении тока, потребляемого от источника высокого напряжения (рисунок 3). Этот механизм включает в себя:

1) Датчик тока: ACS712 измеряет ток, протекающий через электроды.

2) Анализ данных: Raspberry Pi анализирует данные с датчика тока, определяет момент контакта электродов с сорным растением (значительное увеличение тока) и момент уничтожения сорного растения (уменьшение тока).

3) Управляющие сигналы: Raspberry Pi на основе полученной информации управляет работой электроприводов для перемещения манипулятора к следующему сорному растению или, если сорное растение не было уничтожено за отведенное время, для перемещения к другому.

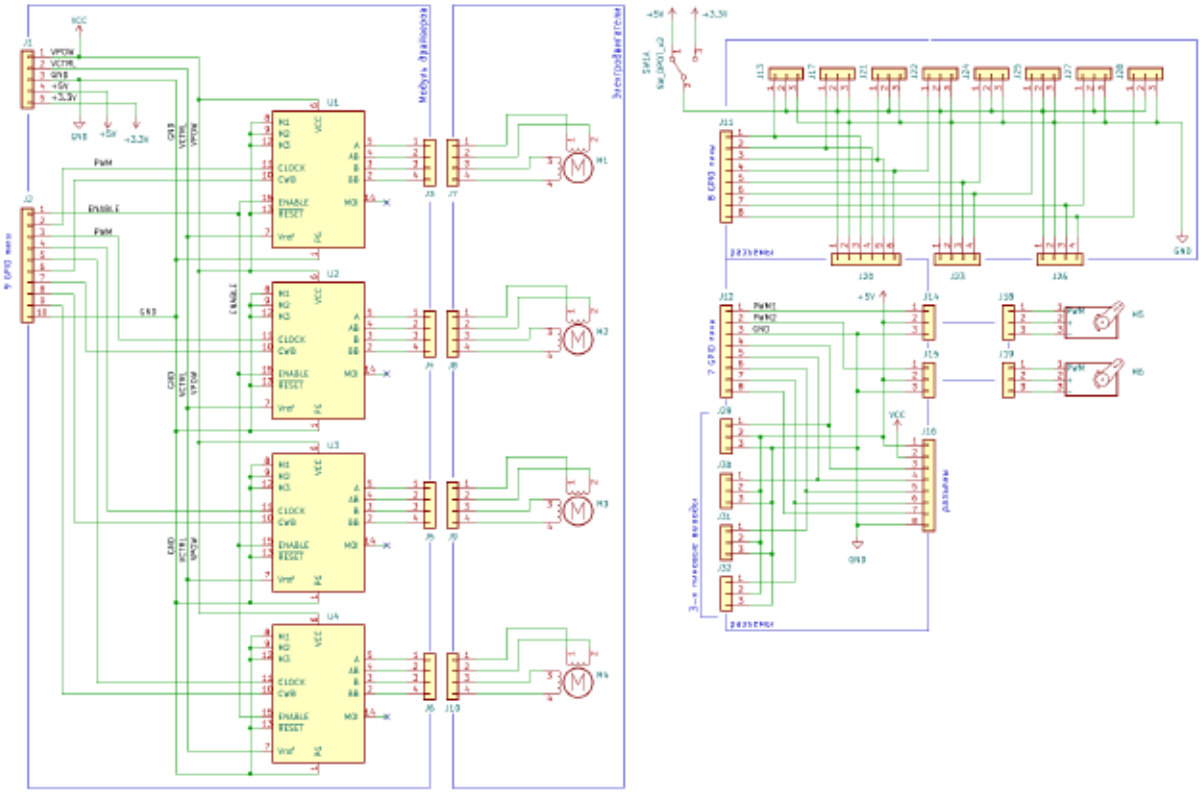


Рисунок 2 – Электрическая схема драйверов для управления серводвигателями манипулятора (М1-М3), устройством посадки рассады (М4) и позиционированием видеокамеры (М5-М6)

Модуль усилителя напряжения (2) преобразует 12 В постоянного тока в 200 В переменного тока, а повышающий трансформатор (3) увеличивает это напряжение до 15 кВ переменного тока. Высоковольтный электрод (4), подключенный к выходу трансформатора, подает высокое напряжение на сорное растение (5). Второй электрод, заземляющий электрод (6), обеспечивает замыкание цепи через почву.

Когда высоковольтный электрод касается сорного растения, через него начинает протекать электрический ток, величина которого измеряется датчиком тока (1). Ток зависит от сопротивлений сорного растения, почвы и воздуха.

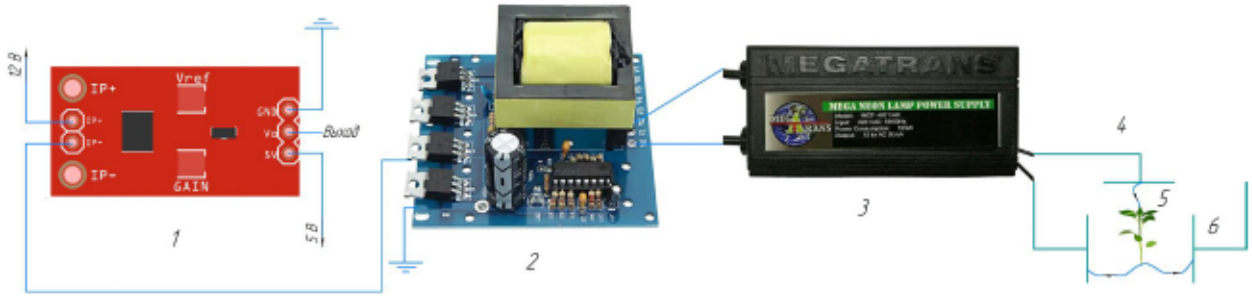


Рисунок 3 - Основная схема высоковольтного источника с механизмом обратной связи (1- Датчик электрического тока, 2- Модуль повышения напряжения 200 В, 3- повышающий трансформатор 15 кВ, 4- Высоковольтный электрод, 5- Сорное растение, 6- Заземляющий электрод)

Манипулятор состоит из двух электродов, установленных на конце дельта-робота (рисунок 4). Один электрод используется для механического удаления сорных растений, а второй - для электрического разряда. При подаче высокой электрической энергии почва и воздух, благодаря своей высокой электрической прочности, остаются невредимыми, но куст

сорного растения, ввиду своей ограниченной электрической прочности, нагревается, что приводит к испарению биомассы и разрушению его ткани [5-8]. В конечном итоге внутренняя структура куста сорного растения разрушается и выходит из цепи, а электрический ток в датчике уменьшается до пренебрежимо малого значения.

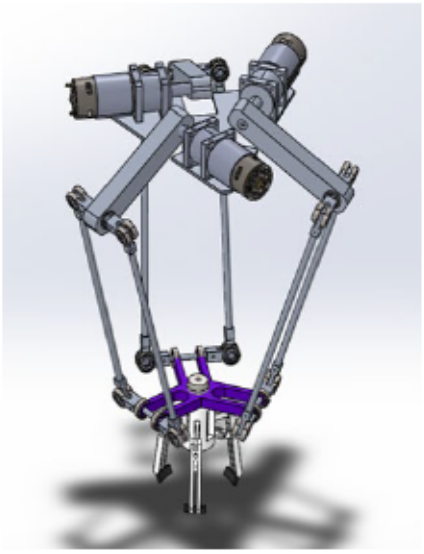


Рисунок 4 – Схема манипулятора робота

Система управления основана на микроконтроллере, который получает данные от датчика тока и управляет работой источника высокого напряжения и манипулятора. Датчик тока ACS712 используется для измерения потребляемого электрического тока. Механизм обратной связи основан на контроле потребляемого электрического тока. При соприкосновении электрода с сорным растением ток резко увеличивается, а после уничтожения сорного растения ток уменьшается. Такое решение позволяет системе определять, какие кусты были уничтожены, и оптимизировать работу платформы.

Результаты.

Для оценки эффективности системы с обратной связью по сравнению с системой без обратной связи было проведено сравнительное исследование. Результаты, представленные в таблицах 1 и 2, показывают, что система с обратной связью (20,5 ± 1,15 кустов) значительно эффективнее системы без обратной связи (19,0 ± 1,20 кустов) в уничтожении сорных растений ($p<0,05$, $t(8)=3,86$). Сорные растения выбирались по размеру. На рисунке 5 приведен график расхода энергии на уничтожение сорных растений с механизмом обратной связи. Необходимая энергия для уничтожения сорного растения (осот) при разрядном токе в 10 А находится в диапазоне от 40 до 75 Дж. Для молочая средняя энергия уничтожения составляет 200 Дж.

Таблица 1 - Сравнение эффективности уничтожения сорных растений в режимах работы с обратной связью и без нее

№	Количество уничтоженных сорных растений	
	Состояние с обратной связью	Состояние без обратной связи
1	27	19
2	24	23
3	23	17
4	28	18
5	24	21

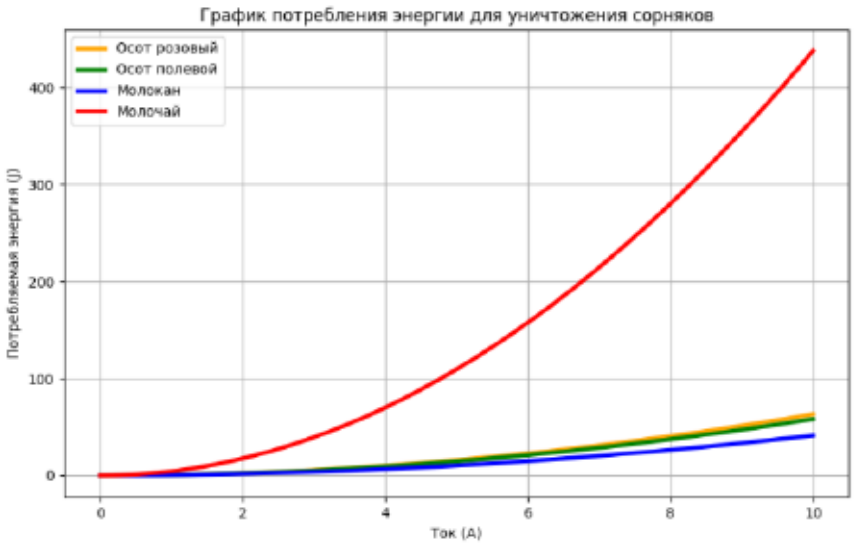


Рисунок 5 - График расхода энергии на уничтожение сорных растений с механизмом обратной связи

Таблица 2 - Сравнение режимов работы системы уничтожения сорных растений с механизмом обратной связи

Параметры	Без обратной связи	С обратной связью
Среднее значение	19,6	25,2
Стандартное отклонение (SD)	2,41	2,17
t-критерий Стьюдента (t)	3,86	-
Степени свободы (df)	8	-
Достигнутый уровень значимости (Sig (2-tailed))	0,005	-

В таблице 2 среднее значение для режима работы без обратной связи составляет 19,6, что значительно ниже среднего значения с обратной связью (25,2). Это говорит о том, что механизм обратной связи позволяет более точно настраивать параметры в системе управления.

Более низкое стандартное отклонение в системе с обратной связью (2,17) указывает на более стабильные и предсказуемые результаты по сравнению с системой без обратной связи (2,41).

Значение t (3,86) указывает на статистически значимую разницу между двумя режимами, что подтверждается низким уровнем значимости (0,005) – что указывает на то, что разница между двумя группами статистически значима. Другими словами, вероятность того, что наблюдаемая разница произошла случайно, очень мала.

Значение степеней свободы 8 указывает на то, что в анализе было использовано 9 наблюдений, что также подтверждает правильность расчетов.

Выводы

Сравнительный анализ, проведенный в таблице 1, показал, что система с механизмом обратной связи значительно превосходит систему без него, уничтожая в среднем 27 кустов сорных растений против 20. Статистический анализ подтвердил значимость этих различий ($p<0,05$), что свидетельствует о положительном влиянии обратной связи на эффективность системы.

Также была проведена оценка различных методов борьбы с сорными растениями. Высоковольтные системы, особенно с обратной связью, оказались единственными, не имеющими побочных эффектов и продемонстрировавшим высокую эффективность в работе.

Полученные результаты открывают новые возможности для автоматизации борьбы с сорными растениями и подчеркивают необходимость дальнейших исследований в этой области для оптимизации системы и ее применения в реальной агротехнической практике.

Список использованных источников:

1. Угловский А. С., Семеренко Н. Ю. Классификация болезней растений с использованием алгоритма глубокого обучения // Автоматизация. Современные технологии. – 2024. – Т. 78, № 8. – С. 343-349.

2. Угловский А. С., Семеренко Н. Ю. Компьютерное моделирование системы управления четырёхколёсным мобильным роботом в пакете Simulink // Вестник АПК Верхневолжья. – 2024. – № 1(65). – С. 128-135.

3. Угловский А. С. Система управления движением мобильного робота // Вестник АПК Верхневолжья. – 2024. – № 2(66). – С. 98-108.

4. Угловский А. С., Семеренко Н. Ю. Моделирование работы мобильного робота для обоснования его функциональных параметров и алгоритма управления // АгроЭкоИнженерия. – 2023. – № 4(117). – С. 57-72.

5. Юдаев И. В. Электроимпульсная энергосберегающая технология борьбы с сорной растительностью: автореферат дис. … д-ра техн. наук. – М., 2012. – 36 с.

6. Akiyama H. Streamer discharges in liquids and their applications // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2000. – Vol. 7. – No. 5. – P. 646-653.

7. Sun A. B., Teunissen J., Ebert U. The inception of pulsed discharges in air: simulations in background fields above and below breakdown // J. Phys. D, Appl. Phys. – 2014. – 47. – P. 445205. DOI: 10.1088/0022-3727/47/44/445205.

8. Yudaev I. V., Daus Yu. V., Panchenko V. A., Bolshev V. E. Influence of factors determining weeds' plant tissue reaction to the electric pulse damage impact // Agriculture. – 2023. – Vol. 13, No. 5. – P. 1099.

Bibliography:

1. Uglovskiy A. S., Semerenko N. Yu. Classification of plant diseases using a deep learning algorithm // Automation. Modern technologies. - 2024. - Vol. 78, No. 8. - P. 343-349.

2. Uglovskiy A. S., Semerenko N. Yu. Computer modeling of the control system of a four-wheeled mobile robot in the Simulink package // Bulletin of the APK of the Upper Volga region. - 2024. - No. 1 (65). - P. 128-135.

3. Uglovskiy A. S. Motion control system of a mobile robot // Bulletin of the APK of the Upper Volga region. - 2024. - No. 2 (66). - P. 98-108.

4. Uglovskiy A. S., Semerenko N. Yu. Modeling the operation of a mobile robot to substantiate its functional parameters and control algorithm // AgroEcoEngineering. - 2023. - No. 4 (117). - P. 57-72.

5. Yudaev I. V. Electric pulse energy-saving technology for weed control: abstract of dis. ... Doctor of Engineering Sciences. - Moscow, 2012. - 36 p.

6. Akiyama H. Streamer discharges in liquids and their applications // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. - 2000. - Vol. 7. - No. 5. - P. 646-653.

7. Sun A. B., Teunissen J., Ebert U. The inception of pulsed discharges in air: simulations in background fields above and below breakdown // J. Phys. D, Appl. Phys. – 2014. – 47. – P. 445205. DOI: 10.1088/0022-3727/47/44/445205.

8. Yudaev I. V., Daus Yu. V., Panchenko V. A., Bolshev V. E. Influence of factors

determining weeds' plant tissue reaction to the electric pulse damage impact // Agriculture. – 2023. – Vol. 13, No. 5. – P. 1099.

Угловский Артем Сергеевич - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электрификации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код:3717-5731.

Семеренко Наталья Юрьевна – старший преподаватель кафедры электрификации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет».

MOBILE WEED KILLING SYSTEM USING HIGH VOLTAGE DISCHARGE AND CURRENT SENSOR FEEDBACK

A.S. Uglovsky, N.Yu. Semerenko

Yaroslavl State Agrarian University

Annotation. This paper describes the development and testing of an autonomous robotic system designed to combat weeds using a high-voltage discharge. The system implements a feedback mechanism. The basis of the device is a mobile platform with a six-wheel drive and a buggy-type suspension. It consists of a high-voltage source capable of generating voltage up to 15 kV, a manipulator with electrodes for mechanical and electrical removal of weeds, a sensor for measuring the consumed current, and a single-board computer for control and data processing.

The principle of operation of the system is that when the high-voltage electrode comes into contact with the weed, an increase in current is observed. After the process is complete, the current decreases significantly. The average energy for the destruction of a weed (spurge) was estimated at 200 J with a discharge current of 10 A. Based on the measurements of the consumed current, the feedback mechanism was calibrated to determine and detect the destruction of weeds. Research has shown that the proposed control scheme significantly increases the efficiency of robotic systems, ensuring high accuracy and reliability in the automation of agronomic processes.

Keywords: weed control, high-voltage discharge, feedback mechanism, buggy, autonomous platform.

Uglovsky Artem Sergeevich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electrification, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin code: 3717-5731.

Semerenko Natalya Yurievna – senior lecturer of the Department of Electrification, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University".

УДК 621.311; 551.466.31(262.81)

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ВОЛНОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСТРОВЕ ГЫЗЫЛСУВ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

А. М. Пенджиев

Туркменский государственный архитектурно – строительный институт

Аннотация. *Изучена многолетняя сезонная изменчивость гидрометеорологических и гидродинамических режимов острова Гызылсув в Каспийском море, на их основе рассчитано распределение энергетического потенциала волновой энергии. С помощью математического моделирования гидродинамического процесса смешанного морского волнения определено среднее значение ресурсного энергетического потенциала волн, которое составляет 0,88·104 кВт/м. Среднее значение энергетического потенциала волн начинает повышаться с октября месяца с 1,02·104 до 1,23·104 кВт/м в феврале, с марта по сентябрь месяцы оно снижается от 0,87·104 до 0,41·104 кВт/м. Статистический анализ подтверждает, что среднее квадратичное отклонение энергетического потенциала волновой энергии от скорости ветра составляет 0,281 и 0,334. Остров Гызылсув в территориальных водах Туркменистана обладает значительными волновыми энергетическими ресурсами, которые могут решить проблемы снабжения электроэнергией, а также получения свежей питьевой воды с использованием опреснительных установок.*

Ключевые слова: *волновые энергетические потенциалы; скорость ветра, температура воды; остров Гызылсув; математическая статистика; Каспийское море, Туркменистан.*

Введение.

Туркменистан активно проводит всеобъемлющие реформы и преобразования, способные обеспечить устойчивый рост АПК на долгие годы вперед. Сегодня выдвигаются новые задачи по устойчивому развитию экономики, которые основаны на использовании современных и инновационных технологии в производственных структурах АПК [1].

Для решения этих задач реализуются национальные программы, планы, концепции и разрабатывается законодательная база для дальнейшего развития страны. Одним из них является Закон Туркменистана «О возобновляемых источниках энергии» (ВИЭ). Он определяет правовую, организационную, экономическую, социальную и финансовую основы, механизмы регулирования отношений государства, производителей, поставщиков и потребителей ВИЭ, оборудования для производства, установок и технологий для использования ВИЭ.

Энергия волн является одним из видов возобновляемой энергии, с использованием которой в морском энергетическом секторе Туркменистана с помощью различных энергетических технологии и установок можно получить электроэнергию от энергии волн и течения приливов и отливов; тепловую энергию за счёт градиента концентрации соли в воде на заливе Кара-Богаз–Гол (методика «солнечных прудов»).

На территории Туркменистана в Каспийском море имеется остров Гызылсув, где энергоснабжение децентрализовано и приходится завозить органическое топливо. Использование энергии волн будет приоритетным, экологически чистым и экономически

выгодным вариантом энергоснабжения [2-4,7-9].

При проектировании и строительстве инженерных сооружении, в данном случае волновой электростанции и энергообеспечении децентрализованных малонаселённых пунктов, существует необходимость в составлении технико-экономического обоснования (ТЭО) для прогноза эффективности выработки электроэнергии для потребителя.

Цель работы - рассчитать волновые ресурсные энергетические потенциалы острова Гызылсув в Каспийском море для разработки, создания и внедрения различных технологических установок для устойчивого развития острова Кызылсув.

Задача исследования - способствовать созданию новых рабочих мест, укреплению экономического положения и улучшению социально-бытовых условии жителей острова, а также расширению социально-экономических возможностей, включая поставку электроэнергии в другие рыночные сегменты, связанные с морем, например аквакультуру, опреснительные заводы и системы охлаждения, одновременно уменьшая потребность в органическом топливе.

Научная новизна - проделан гидродинамический анализ на основе многолетних гидрометеорологических наблюдений в юго-восточной части акватории Каспийского моря и проанализирована ее сезонная изменчивость применительно для острова Гызылсув, рассчитан энергетический потенциал морской волны для получения экологически чистой энергии с использованием различных видов установок.

Исходя из вышепоставленных задач, при проведении научно-исследовательской работы проанализированы гидродинамические и гидрометеорологические особенности Каспийского моря на побережье Туркменистана. За основу методологических исследований взяты данные Единой государственной системы информации об обстановки в мировом океане (ЕСИМ), математическими методами рассчитан ресурсный потенциал волновой энергии, рассмотрены возможности получения разнообразной энергии с использованием различных энергоустановок.

Гидрометеорологические и гидродинамические особенности острова. Остров Гызылсув находится в Каспийском море в 40 км от города Туркменбаши, с населением около 1000 человек. Остров расположен на южной оконечности Красноводской косы (39°47' с. ш.—53°00' в.д.), на юго-востоке Туркменбашинского залива. В советский период население острова занималось ловлей и переработкой рыбы, там находился рыбокомбинат, судоремонтная станция и существовал колхоз «Каспий» с сейнерским парком.

Температурный режим воды острова изменяется по сезонам года, средняя температура воды колеблется от 3,3 до 26,1 °С. Средняя температура воды в мае составляет 20,4 °С и по октябрь месяц держится до 22,3 °С, затем снижается до 3,3 °С в январе. В мелководной части острова с минимальной температуры в апреле — мае происходит быстрый прогрев вод моря, например, в августе температура воды в мелководной части острова может достигать +32 °С [12,15]. На рисунке 1 приведены: распределение среднего потенциала волновой энергии, средней скорости ветра и средней температуры воды на острове Гызылсув в Каспийском море в течение года по месяцам года.

Ветровой режим. Из-за большой меридиональной протяженности Каспийской акватории температура воды и ветровой режим разнообразны. Они обусловлены различиями природно-климатических условий и различными типами атмосферной циркуляции. Это приводит к тому, что при каждой из рассматриваемых синоптических ситуаций температура воды и воздуха, направление течения воды, скорость ветра изменяются в различных пределах [5-9,12,14].

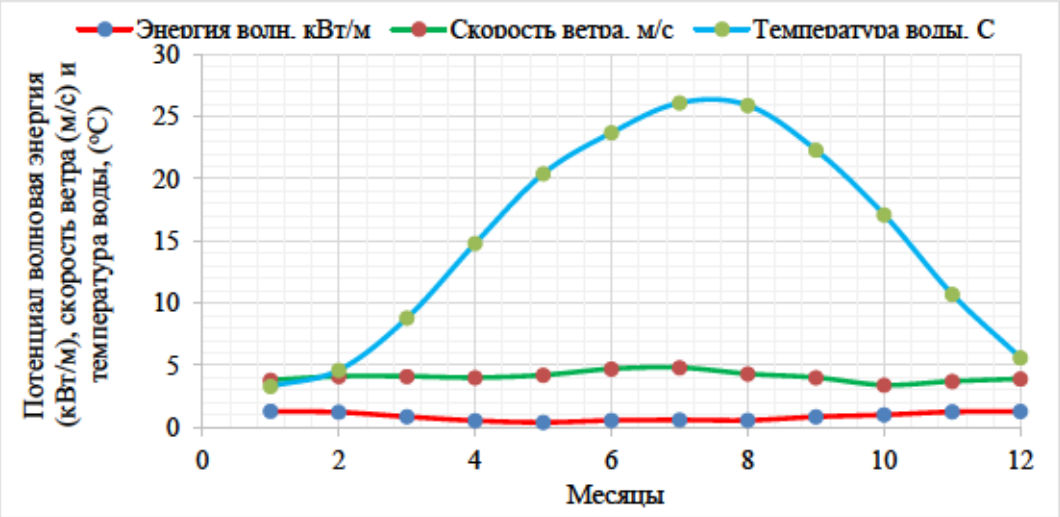


Рисунок - 1 Распределение среднего потенциала волновой энергии (кВт/м), средней скорости ветра (м/с) и средней температуры морской воды (°С) Каспийского моря по месяцам года на острове Гызылсув

Аналитический обзор показывает, что штормовой режим ветров формируется по разному, в зависимости от характера циркуляции атмосферы и рельефа местности. Средняя скорость ветра на острове меняется от 3,4 до 4,8 м/с, средняя скорость за год равна 4,0 м/с. Сильные штормовые ветра на острове отмечаются, когда скорость ветра достигает 25 м/с и более.

Роза ветров на острове составляет: 13% - северо-северо-западный; 12%-восточно-юго-восточный; 8% - северо-северо-восточный; 4% - северо-западный. Карта направлений ветровых потоков (стрелками) и скорости ветра (м/с) острова Гызылсув в Каспийском море в зимний период года приведена на рисунке 2.

При скорости ветра 5–10 м/с волны на мелководье усиливаются до высоты 5 м, с периодом 10 с и длиной 85 м. В районе свала глубин отмечаются волны высотой 2 м, южнее высота их увеличивается до 4 м и более [7-9,2,15].

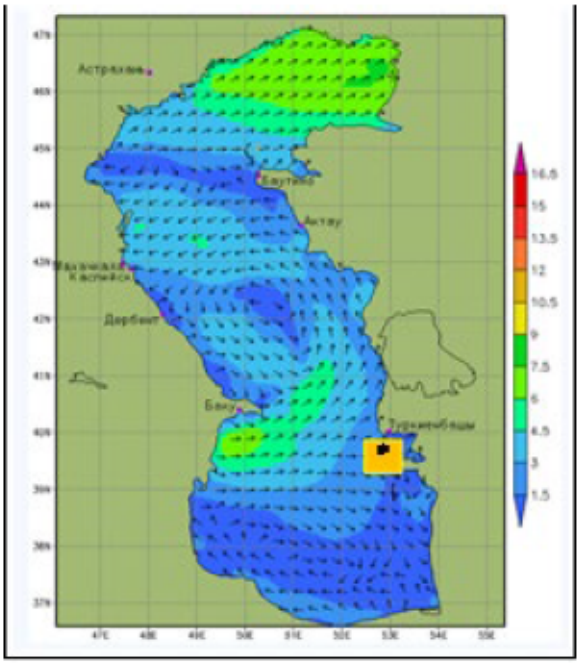


Рисунок – 2. Карта направлений ветровых потоков (стрелками) и скорости ветра (м/с) острова Гызылсув в Каспийском море в зимний период года.

Состав морской воды. Солевой состав вод Каспийского моря отличается от океанского и тем, что солесодержание в три раза меньше. Имеется значительное различие в соотношениях концентраций солеобразующих ионов, особенно в процессе метаморфизации морской воды. Материковые стоки приводят к уменьшению содержания хлоридов в морской воде, но при этом содействуют увеличению количества карбонатов, сульфатов, кальция. Наиболее консервативными ионами моря являются калий, натрий, хлор и магний. В среднем, минерализация в мелководных водах может достигать 60—100 г/кг соли [2-5, 7,9].

С 2013 году в стране реализуются задачи по возрождению этого острова, развивается туризм. Основным проблемами острова являются дефицит питьевой воды, отсутствие постоянного электроснабжения, тяжёлые климатические условия, слаборазвитая инфраструктура, отсутствие постоянной работы, трудные социально-бытовые условия населения.

Методология и методика исследования. За основу методического исследования были взяты данные Единой государственной системы информации об обстановке в мировом океане (ЕСИМ). На основе данных ЕСИМ о потоке волновой энергии были рассчитаны среднемноголетние значения потенциала острова Гызылсув, который находится в южной части Каспийского моря. Приток энергии к волнам осуществляется за счет энергии ветра, а ее диссипация – обрушение волновых гребней, вследствие донного трения и обрушения волн на критических глубинах. Для генерации волн использовали схему ST1, при расчетах нелинейных взаимодействий была использована параметрическая схема DIA (Discrete Interaction Approximation), которая является стандартным приближением для расчета нелинейных взаимодействий во всех современных волновых моделях ЕСИМ, Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А [1-9].

Для расчета параметров ветрового волнения в Каспийском море ссылались на спектральную волновую модель третьего поколения WAVEWATCH III по версии 4.18, полученную Мысленковым С.А., Лебедьевым С.А., Костяным А.Г. и некоторыми другими авторами. Для методики расчетов использованы данные гидрометеорологической службы Каспийского моря, средний период волн, скорость ветра, высота ветровых волн приведены на рис.2. [4-12,16-20].

Методика расчета волновых характеристик. В гидродинамической модели волновых характеристик, основанной на численном интегрировании, используется уравнение в виде (1), которое позволяет по заданному полю ветра (атмосферного давления) вычислить частотно - направленный спектр волн в узлах сеточной области в различные моменты времени (синоптические сроки). Переход к параметрам видимых волн (высотам, периодам) осуществляется через моменты спектра [2-6,10,12,23]:

$$\frac{\partial \mathrm{N}}{\partial \mathrm{t}} + \frac{\partial \mathrm{N}}{\partial \phi}\phi + \frac{\partial \mathrm{N}}{\partial \lambda}\lambda + \frac{\partial \mathrm{N}}{\partial \mathrm{k}}k + \frac{\partial \mathrm{N}}{\partial \beta}\beta + \frac{\partial \mathrm{N}}{\partial \omega}\omega = Gs, \qquad (1)$$

Как видно, зависимость ветрового волнообразования описывается уравнением эволюции спектральной плотности от функции волнового действия N, от широты φ, долготы λ, волнового числа k и угла β между направлением волнового вектора и параллелью, а также от частоты ω и времени t.

Функция источника Gs записывается в виде суммы трех компонент:

$$Gs = Gin + Gnl + G\,ds, \qquad (2)$$

где Gin – поступление энергии от ветра к волнам; Gds – диссипация волновой энергии; Gnl – слабо нелинейное взаимодействие в спектре ветрового волнения.

В настоящее время в международной практике наиболее часто используются три

модели: Wave Watch (WW), Wave Model (WAM), а также Simulating Waves Nearshore (SWAN) – для мелководья. Модель Wave Watch разработана в США, остальные две – в Европе. Они находятся в свободном доступе и открыты для широкого круга пользователей Интернета. Для оценки параметров волнения Каспийского моря использована нелинейная нестационарная численная гидродинамическая модель SWAN, версия 41.01A, разработанная в Делфтском Технологическом университете в Нидерландах. Эта модель признана международной общественностью, опробована на различных природных объектах и в течение многих лет используется для расчетов волнения [2-6,10,12,23].

Исходные данные для расчета ветрового волнения состоят из двух групп: данные о глубинах и положении береговой линии моря; информация о скорости и направлении. При расчетах с помощью специальных модулей учитывалось положение кромки льда и динамика береговой линии в зависимости от уровня Каспийского моря.

Результаты исследований. Учеными проделана большая теоретическая и практическая работа по гидродинамике смешанных морских волнений, при этом учитывали различные реальные спектры волн и их нагрузки на различные сооружения в море и в прибрежной зоне, что связано с разрушением берегов. Эти вопросы исследованы и рассмотрены в работах Коробкова В.А., Вершинского Н.В., Васильева Ю.С., Дьяковой А.Ф., Елистратова В.В., Сичкарева В.И., Лебедева С.А., Костяного А.Г., Babarit A. Falnes J.Whittaker T., Janssen P.A., Zakharov V.E., Cavaleri L. и многих др.[2-6,10,12,23].

В работах Абузярова З.К., Агаларова А.М., Гусейнова М.М., Камилова И.К., Кисельевой С.В., Лопатухина Л.И., Мысленкова С.А., Савченко Г.Ю., Соловьева Д.А., Яицкой Н. А. и других исследователей проанализированы энергоэффективность, перспективы и тенденции развития волновой энергетики. Рассмотрены технические характеристики, себестоимость получаемой электроэнергии и преимущества волновых электростанций различных типов. Приведены расчётные формулы распределения волновой энергии для оценки максимально возможной мощности модуля с учетом энергетических и гидродинамических ресурсов моря [2-7,16].

Во всех этих работах изучались, в той или иной форме, различные общие волно-энергетические потенциалы других регионов Каспийского моря, но для конкретного случая, для юго-восточной части Каспия на побережье Туркменистана, энергетические ресурсы и использование потенциалов недостаточно изучены, а для острова Гызылсув не рассматривалось вообще.

В работе проведен научно-исследовательский анализ ветрового волнения, температуры воды и воздуха на побережье Туркменистана за период с 1979 года по 2017 годы. В результате проведенных расчетов для каждого узла вычислительной сетки получены характеристики ветрового волнения за каждые 3 часа с 1979 по 2017 год (всего 39 лет): высота значительных волн Hs (среднее значение высот от 1/3 наиболее высоких волн в спектре волнения или 13% обеспеченности), средний период волн, средняя длина волны и поток волновой энергии в кВт на метр фронта волны.

В результате математической обработки фактических материалов по метеостанции Туркменистана, были вычислены статистические характеристики эмпирических распределений скорости ветра и по ним найдены уравнения типовых режимов повторяемости скорости ветра острова Гызылсув.

Режим повторяемости скорости ветра, характерный для острова, может быть представлен зависимостью в процентах, м/с:

$$t_i = 1571 \frac{\Delta\vartheta}{\bar{\vartheta}} \cdot \frac{\vartheta_i}{\bar{\vartheta}} \cdot e^{-0{,}75\left(\frac{\vartheta_i}{\bar{\vartheta}}\right)^{2{,}0}} \quad (3)$$

где $\Delta\vartheta$ – интервал скорости ветра, м/с; ϑ_i – повторяемость ветра, м/с; $\bar{\vartheta}$ – средняя годовая скорость ветра, м/с; e – экспоненциальная функция.

Из уравнений (3) для острова вычислены повторяемости для $\bar{\vartheta}$ от 2,0 до 8,0 м/с через 0,2 м/с и получены значения в процентах для каждой скорости ветра ϑ_i от 0 до 25 м/с [13,15].

Используя теоретическую методику расчетов энергии потенциалов и анализируя гидродинамические и гидрометеорологические показатели (Hsig высота, длина, период волн) острова Гызылсув в Каспийском море на территории Туркменистана, были получены результаты по месяцам года. Они приведены в гистограмме на рис. 3.

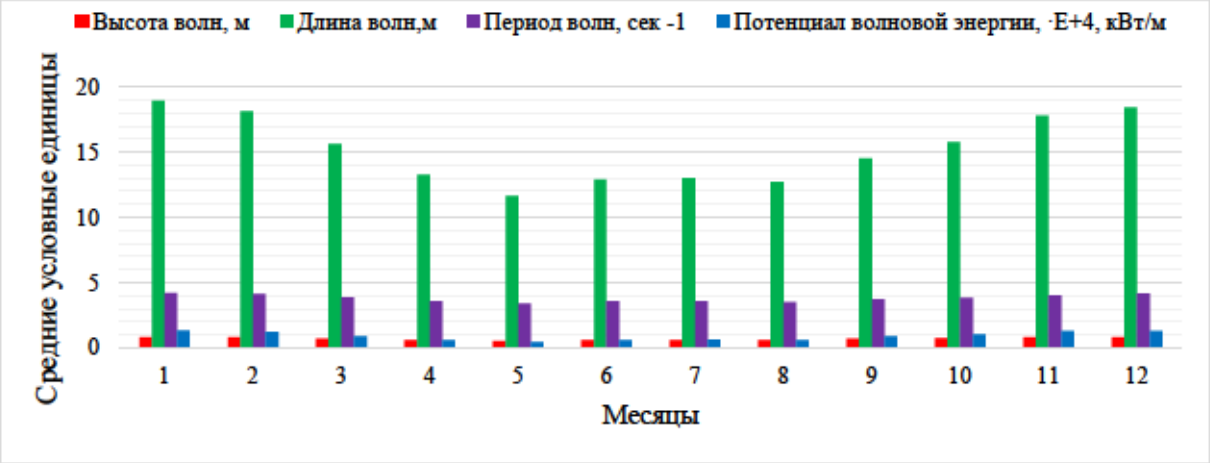


Рисунок - 3. Средние гидродинамические показатели и энергетический потенциал Каспийского моря на побережье острова Гызылсув по месяцам года

Ветровое волнение юго-западной части Каспия. Наиболее слабое волнение наблюдается в мае–июле, при этом нередки случаи полного штиля на всей акватории северной части моря. Средняя повторяемость волн высотой менее 0,5 м составляет 58,6%; 0,5–1 м — 27,5%; 1–2 м — 13%; 2–3 м — 0,8% и более 3 м — 0,1%.

Статистический анализ. По результатам приведенных данных, на рис. 1 для оценки взаимосвязи распределения *среднего потенциала волновой энергии (x) и скорости ветра (y)* острова Гызылсув в течение года по шкале отношении интервалов и формы взаимосвязи, использовали коэффициент корреляции Бравэ-Пирсона (r) [11-13].

Коэффициент корреляции Бравэ - Пирсона, $r_{xy} = 0{,}547$. Средняя скорость ветра X = 5,73 м/с, средний потенциал волновой энергии $Y = 0{,}88 \cdot 10^4$ кВт/м.

В математическом выражении коэффициентов корреляционных *а* и *в* использовали параметры уравнения и коэффициенты регрессии $B_{y/x} = 0{,}651$ и $B_{x/y}=0{,}459$. Коэффициент коррелируемых переменных прямых и обратных параметров a_1=–2,85 и a_2= 5,33. Для оценки качества уравнения регрессии вычислено остаточное среднее квадратичное отклонение $\sigma_{x/y} = 0{,}23$ и $\sigma_{y/x}= 1{,}12$. Относительная погрешность уравнения $\delta_{y/x} = 127{,}0\%$; $\delta_{x/y}= 4{,}88\%$. Среднее квадратное отклонение скорости ветра $\sigma_y = 0{,}281$, волновой энергии $\sigma_x = 0{,}334$.

Тесную взаимосвязь общей вариации скорости ветра с показателем на потенциал волновой энергии определяет коэффициент детерминации, D = 70,2%. Следовательно, только 70,2% взаимосвязи скорости ветра влияет на потенциал волновой энергии. Остальная часть, то есть 29,8%, объясняется влиянием других неучтённых факторов.

Полученные корреляционные коэффициенты *а* и *в* описывают уравнение регрессии, с помощью которой можно прогнозировать ожидаемые:

Скорость ветра: X (м/с) = 5,33 + 0,459*Y;

Потенциал волновой энергии: Y(кВт/м) = -2,85 + 0,651*X.

За исследуемый период средняя скорость ветра X = 5,73 м/с, а средний потенциал волновой энергии Y = $0,88 \cdot 10^4$ кВт/м. Среднее квадратное отклонение скорости ветра σ_y=0,281, волновой энергии σ_x=0,334.

Аналогично были проведены исследования взаимосвязи распределения среднего потенциала волновой энергии (x) и температуры морской воды (z), скорости ветра (y) и температуры воды (z) в течение года.

Обсуждение результатов. На побережье юго-западной части Каспийского моря на острове Гызылсув во время сильных ветров 10–15 м/с волны максимально поднимаются высотой до 4,13 м, а средняя максимальная высота волн в течение года составляет 3,14 м. Максимальная длина волны доходит до 75,5 м в ноябре месяце, средняя максимальная длина волн в течение года равна 58,81 м, средняя длина волн в течение года составляет 15,32 м. Средний период волн изменяется от 3,79 до 7,40 секунд. Средний энергетический потенциал волны в течение года максимально доходит до $36,89 \cdot 10^4$ кВт/м, минимальный равен $0,88 \cdot 10^4$ кВт/м. Средний энергетический потенциал волн начинает повышаться с октября от $1,02 \cdot 10^4$ до $1,23 \cdot 10^4$ кВт/м в феврале месяце, с марта по сентябрь снижается в среднем от $0,87 \cdot 10^4$ до $0,41 \cdot 10^4$ кВт/м. При сильных штормовых волнениях 21–25 м/с высота волн доходит до 3 м. На туркменском побережье штормовые ветры бывают 16–20 м/с, при этом волновое волнение достигает до 4 м высоты. По другим частям Каспия высоты волн в процентном соотношении составляют: в Среднем 5-10%; в Южном 3-8%.

Заключение. На основе гидродинамической модели и гидрометеорологических условий смешанного морского волнения, с учетом наблюдаемых на волноизмерительных платформах реальных спектров, дана оценка энергетических потенциалов волновой энергии на юго-западной части акватории Каспийского моря на острове Гызылсув на территории Туркменистана. В рамках математического моделирования гидродинамического процесса смешанного морского волнения за исследуемый многолетний период рассчитано среднее значение энергетического потенциала волн, которое изменяется в пределах от максимального $36,89 \cdot 10^4$ кВт/м до среднего $0,88 \cdot 10^4$ кВт/м. Средний энергетический потенциал волн повышается с октября месяца от $1,02 \cdot 10^4$ до $1,23 \cdot 10^4$ кВт/м в феврале, с марта по сентябрь месяцы снижается в среднем от $0,87 \cdot 10^4$ до $0,41 \cdot 10^4$ кВт/м. Статистический анализ показывает, что среднее квадратичное отклонение энергетического потенциала волновой энергии от скорости ветра составляет 0,33 и 0,39.

По полученным результатам делаем вывод, что к положительным факторам волновой энергии побережья Каспийского моря на острове Гызылсув относится то, что значительный суммарный средний волновой потенциал составляет $10,58 \cdot 10^4$ кВт/м в год, максимальное суммарное волнение при штормах равно $442,68 \cdot 10^4$ кВт/м в год. Следовательно, энергетическая мощность увеличивается в осенне-зимний период на 49,4 %, в то время, когда растет потребление электроэнергии. В теплый период года с марта по сентябрь она уменьшается на 51,6 %. Одним из недостатков волновых энергоресурсов является их прерывистость [13,15].

Список использованных источников

1. Г.М. Бердымухамедов, Туркменистан на пути достижения целей устойчивого

развития. -Ашхабад: Туркменская государственная издательская служба, 2018. – 468 с.

2. З.К. Абузяров, Морское волнение и его прогнозирование. Под ред. А.И. Дуванина. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 166 с.

3. З.К. Абузяров, Роль водного баланса Каспийского моря. Труды Гидрометцентра России, Вып.341, 2006. с. 3-27.

4. А.М. Агаларов, М.М. Гусейнов, И.К. Камилов. Волно-энергетический потенциал Каспия. Вестник ДНЦ РАН, №51, 2013. с. 23-27.

5. Амбросимов С.А., Амбросимов Е.С. Экспериментальное исследование ветрового волнения в центральной части Каспийского моря// Инженерная физика. №6, 2007. с. 40-47.

6. И.Н. Давидан, Л.И. Лопатухин, В.А. Рожков. Ветровое волнение в Мировом Океане. -Л.:Гидрометеоиздат, 1985. - 289 с.

7. Костяной А.Г., Лебедев С.А., Зонн И.С., Лаврова О.Ю., Соловьев Д.М. Спутниковый мониторинг Туркменистана. – М.: Сигнал. 2011. – 16 с.

8. Ю.М. Крылов. Спектральные методы исследования и расчеты ветро¬вых волн. -Л.: Гидрометеоиздат, 1966. - 256 с.

9. С.А. Лебедев. Модель средней высоты морской поверхности Каспийского моря. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. –Т. 9. – № 3, 2012. – с. 224–234.

10. П. Леблон, Л. Майсек Волны в океане. -М.: Мир, 1981. - 480 с.

11. М.С. Лонге-Хигтинс Статистический анализ случайной движущейся поверхности. Ветровые волны. – М.: Иностранная литература, 1962. – с. 125–218.

12. Л.И. Лопатухин. Карты волнения Каспийского моря. Гидрометеорологические карты Каспийского моря. -Л.: ГУНиО, МО СССР, 1988.

13. А.М. Пенджиев. Экоэнергетические ресурсы возобновляемых источников энергии. Москва.: РУСАЙНС, 2023. - 400 с.

14. В.Г. Полников Нелинейная теория случайного поля на воде. -М.: Ленанд, 2007. - 408 с.

15. Д.С. Стребков, А.М. Пенджиев, Б.Д. Мамедсахатов. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане.– М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012. - 498 с.

16. Дж. Уизем Линейные и нелинейные волны. -М.: Мир, 1977. -624 с.

17. Babarit et al. Numerical benchmarking study of a selection of wave energy converters. Renewable Energy. 2012. V.41. p. 44-63.

18. J. Falnes Ocean waves and oscillating systems, Cambridge University Press (USA), 2009. 340 p.

19. T. Whittaker and M. Folley. Nearshore oscillating wave surge converters and development of Oyster //Philos. T. Roy. Soc. 2012.V.A370. p.345-364.

20. P.A.Janssen. Progress inocean wave forecasting. Comp.Phys.2008. V.227. p.3572-3594.

21. V.E. Zakharov et al. Coexistence of Weak and Strong Wave Turbulence in a Swell Propagation. Phys. Rev. Lett.,2007. V.99. p.164501-4.

22. L. Cavaleri et al. (The WISE Group), Wave modeling –The State of the art, Progress in Oceanography, 2007. V.75. p.603-674.

23. SWAN. Technical documentation. Delft University of Technology, Faculty of Civil Eng. and Geosciences, Environmental Fluid Mechanics Section. 2006. 88 p.

Bibliography:

1. G.M. Berdymukhamedov, Turkmenistan on the way to achieving sustainable

development goals. -Ashgabat: Turkmen State Publishing Service, 2018. - 468 c.

2. Z.K. Abuzyarov, Sea swell and its forecasting. Edited by A.I. Duvanin. - L.: Gidrometeeoizdat, 1981. - 166 c.

3. Z.K. Abuzyarov, The role of water balance of the Caspian Sea. Proceedings of the Hydrometeorological Center of Russia, Vyp.341, 2006. p. p. 3-27. 3-27.

4. A.M. Agalarov, M.M. Huseynov, I.K. Kamilov. Wave-energy potential of the Caspian Sea. Vestnik DNTS RAS, No. 51, 2013. p. pp. 23-27.

5. Ambrosimov S.A., Ambrosimov E.S. Experimental study of wind waves in the central part of the Caspian Sea// Engineering Physics. No. 6, 2007. p. p. cm. 40-47.

6. I.N. Davidan, L.I. Lopatukhin, V.A. Rozhkov. Wind Waves in the World Ocean. - L.:Gidrometeeoizdat, 1985. - 289 c.

7. Kostyanoy A.G., Lebedev S.A., Zonn I.S., Lavrova O.Yu., Solov'ev D.M. Satellite Monitoring of Turkmenistan. - Moscow: Signal. 2011. - 16 c.

8. Y.M. Krylov. Spectral methods of research and calculations of wind waves. -L.: Gidrometeeoizdat, 1966. - 256 c.

9. S.A. Lebedev. Model of the average height of the Caspian Sea sea surface. // Modern Problems of Earth Remote Sensing from Space. -T. 9. - № 3, 2012. - c. 224-234.

10. P. Leblon, L. Majsek Waves in the Ocean. -M.: Mir, 1981. - 480 c.

11. M.S. Longe-Higgins Statistical analysis of a random moving surface. Wind waves. - M.: Foreign Literature, 1962. - c. 125-218.

12. L.I. Lopatukhin. Wave maps of the Caspian Sea. Hydrometeorological maps of the Caspian Sea. -L.: GUNiO, Defense Ministry of the USSR, 1988.

13. A.M. Pendzhiev. Ecoenergetic resources of renewable energy sources. Moscow: RUSAINS, 2023. - 400 c.

14. V.G. Polnikov Nonlinear theory of random field on water. -M.: Lenand, 2007. - 408 c.

15. D.S. Strebkov, A.M. Pendzhiev, B.D. Mamedsakhatov. Development of solar energy in Turkmenistan. - M.: GNU VIESKh, 2012. - 498 c.

16. J. Wisem Linear and nonlinear waves. -M.: Mir, 1977. -624 c.

17. A. Babarit et al. Numerical benchmarking study of a selection of wave energy converters. Renewable Energy. 2012. V.41. p. 44-63.

18. J. Falnes Ocean waves and oscillating systems, Cambridge University Press (USA), 2009. 340 p.

19. T. Whittaker and M. Folley. Nearshore oscillating wave surge converters and the development of Oyster //Philos. T. Roy. Soc. 2012.V.A370. p.345-364.

20. P.A.Janssen. Progress inocean wave forecasting. Comp.Phys.2008. V.227. p.3572-3594.

21. V.E. Zakharov et al. Coexistence of Weak and Strong Wave Turbulence in a Swell Propagation. Phys. Rev. Lett.,2007. V.99. p.164501-4.

22. L. Cavaleri et al. (The WISE Group), Wave modeling -The State of the art, Progress in Oceanography, 2007. V.75. p.603-674.

23. SWAN. Техническая документация. Делфтский технологический университет, факультет гражданской инженерии и геонаук, секция механики жидкостей окружающей среды. 2006. 88 p.

А. М. Пенджиев, кандидат технических наук, доктор сельскохозяйственных наук, доцент кафедры автоматизация производственных процессов Туркменского государственного архитектурно-строительного института (4/1 Гунеш, Бикрова, Ашхабод, 744032, Туркменистан), https://orcid.org/0000-0002-6584-5851; Scopus ID: 57203910120; DOI: 10.3103/S0003701X18030118; 10.3103/S0003701X19030083; 10.3103/S0003701X21030087.
ampenjiev@rambler.ru; ampenjiyev@gmail.com

WAVE ENERGY RESOURCE POTENTIAL ON GYZYLSUV ISLAND IN THE CASPIAN SEA

A. M. Penjiyev
Turkmen State Architectural and Construction Institute

Annotation. The long-term seasonal variability of the hydrometeorological and hydrodynamic regimes of the Gyzylsuv Island in the Caspian Sea was studied, and the distribution of the energy potential of wave energy was calculated on their basis. With the help of mathematical modeling of the hydrodynamic process of mixed sea waves, the average value of the resource energy potential of waves is determined, which is 0,88·104 kW/m. The average value of the energy potential of waves begins to increase from October from 1,02 104 to 1,23 104 kW/m in February, from March to September it decreases from 0,87 104 to 0,41 104 kW/m . Statistical analysis confirms that the standard deviation of the energy potential of wave energy from the wind speed is 0,281 and 0,334. Gyzylsuv Island in the territorial waters of Turkmenistan has significant wave energy resources that can solve the problems of supplying electricity, as well as obtaining fresh drinking water using desalination plants.

Keywords: wave energy potentials; wind speed, water temperature; the island of Gyzylsuv; math statistics; Caspian Sea, Turkmenistan.

M. Penjiyev, Candidate of Technical Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Automation of Production Processes of the Turkmen State Institute of Architecture and Civil Engineering, SPIN: 7525-9498; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6584-5851; Scopus ID: 57203910120; DOI: 10.3103/S0003701X18030118; 10.3103/S0003701X19030083; 10.3103/S0003701X21030087.
ampenjiev@rambler.ru; ampenjiyev@gmail.com

УДК 621.311.243

РАЗВЕРТЫВАЕМАЯ КОНСТРУКЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ ЗДАНИЙ КОНТЕЙНЕРНОГО ТИПА

А.Т. Ахметшин, В.М. Голубков

Башкирский государственный аграрный университет

Аннотация. *В данной работе рассмотрена, разработанная авторами, оригинальная развертываемая конструкция солнечных фотоэлектрических батарей для электроснабжения мобильных зданий контейнерного типа. Предлагаемая развертываемая конструкция позволяет повышать мощность системы электроснабжения путем увеличения количества фотоэлектрических батарей без явных ограничений, связанных с техническими параметрами мобильного здания. Конструкция компактна, имеет возможность автономного использования и транспортировки. Регулируемые части конструкции позволяют устанавливать различные типоразмеры солнечных фотоэлектрических батарей. Конструкция, вмонтированная на крышу мобильного здания, в транспортировочном положении компактна, обеспечивает целостность рабочей поверхности фотоэлектрических батарей, позволяет производить перемещение мобильного здания контейнерного типа, без нарушения габаритных размеров правил дорожного движения Российской Федерации о перевозки грузов. Разработанная конструкция обладает простотой установки и раскрытия, предусматривает возможность регулировки угла наклона фотоэлектрических батарей, для повышения их эффективности выработки электрической энергии, в зависимости от времени года, географической широты расположения мобильных зданий контейнерного типа.*

Ключевые слова: *развертываемая конструкция, рабочее и транспортировочное положение, солнечная фотоэлектрическая батарея, электроснабжение, мобильное здание контейнерного типа.*

Введение. Автономные, электрифицированные мобильные здания контейнерного типа, применяемые в служебно-бытовых целях, пользуются высокой популярностью [6].

Электроснабжение мобильных зданий, в настоящее время, осуществляется присоединением к централизованной сети или с помощью дизель/бензиновой генераторной установки при децентрализованном электроснабжении. Между тем существует спрос на электрифицированные мобильные здания контейнерного типа используемые, преимущественно, в летний период, как жилых (бытовых) сооружений, мобильных лабораторных комплексов, офисов, передвижных медицинских пунктов, киосков и т. п.

Электроснабжение вышеприведенных объектов от централизованного электроснабжения может быть невозможно, при дислокации мобильных зданий контейнерного типа вне зоны сетевого электроснабжения, или затруднительно, при частой смене месторасположения мобильного здания контейнерного типа и связанные с этим мероприятия по технологическому присоединению к электрическим сетям.

Применение дизель/бензиновой генераторной установки может быть ограничено из-за невозможности, трудности хранения, подвоза горюче-смазочных материалов, обслуживания дизель/бензиновых установок или из-за требований законодательства, например, в

заповедных и особо охраняемых зонах и т.д. В таких случаях, электроснабжение мобильных зданий контейнерного типа осуществляют с применением альтернативных источников, в частности солнечной энергии, с помощью фотоэлектрических батарей.

Определение системы электроснабжения мобильных зданий контейнерного типа с использованием солнечных фотоэлектрических батарей требует индивидуального подхода с учетом многих факторов [4, 5].

Материалы и методы работы

В работе применялись материалы литературного обзора, патентного поиска, нормативных документов. Использовались теоретические методы синтеза и аналитического мышления, а также практические методы сравнения и описания.

Целью работы является разработка развертываемой конструкции солнечных фотоэлектрических батарей для электроснабжения мобильных зданий контейнерного типа

Результаты и обсуждение.

Одним из факторов, при установке солнечных фотоэлектрических батарей непосредственно на мобильных зданиях контейнерного типа, является его технические параметры (основные - конструктивное исполнение, габаритные размеры).

В Российской Федерации размеры мобильных зданий контейнерного и типа стандартизированы ГОСТом Р 58760 – 2024 [1]:

- контейнерные – ширина 3,0 м, длина от 3 до 12 м с интервалом 3,0 м, высота 2,4 м;
- контейнерные на шасси – ширина 2,5 м, длина 3 – 9 м, высота 2,2 м;
- контейнерные длинные – ширина 3,0 м, длина 6 – 12 м, высота 2,2 м;
- сборно-разборные – ширина 3,0 м, длина 3 – 12 м, высота 2,4 м.

Большинство производителей выпускает мобильные здания контейнерного типа со следующими параметрами: высота – 2,4 м; длина – 6 м; ширина 2,3-3 м.

Согласно [5] на стандартном мобильном здании с установленной мощностью 2,8 кВт, размерами 2,5×6×2,3 м, исходя из графика суточной нагрузки электрических потребителей, природно-климатических условий эксплуатации (г. Уфа), с учетом максимально возможной площади установки необходимы 9 фотоэлектрических батарей суммарной номинальной мощностью 2,2 кВт и общей площадью 14,4 м^2. Номинальная мощность одной фотоэлектрической батареи 250 Вт, габаритные размеры составляют 1×1,6 м.

Выработка электроэнергии солнечными фотоэлектрическими батареями, в значительной степени, зависит от природных климатических условий, времени дня и года, имеет переменный характер, как и суточный график нагрузки потребителя. Существуют и потери электрической энергии в системе электроснабжения. Поэтому для надежного электроснабжения потребителя с надлежащим качеством электрической энергии необходимо предусмотреть в системе электроснабжения от солнечных фотоэлектрических батарей целесообразный резерв мощности, достигаемый увеличенным значением мощности генерирования и обеспечение запаса накопителей электрической энергии.

Пределы увеличения количества солнечных фотоэлектрических батарей ограничены техническими параметрами мобильного здания контейнерного типа, обеспечением устойчивости контейнера, в том числе с учетом ветровой нагрузки, требованиями правил дорожного движения Российской Федерации о перевозки грузов и т.д.

Солнечные фотоэлектрические батареи, как правило, монтируются на каркас обеспечивающий: удобства и быстроту монтажа; физическую поддержку; требуемую защиту от ветровых, снежных и гололедных нагрузок; возможность регулировки угла наклона; создания проветриваемого пространства между фотоэлектрическим батареями и

поверхностью на которые они монтированы, обеспечивающего их охлаждение.

Обзор и анализ литературных источников выявил большое количество существующих или предлагаемых вариантов различных конструкций каркасов для монтажа солнечных фотоэлектрических батарей, имеющих свои достоинства и недостатки. Проанализировав данные конструкции, учитывая их положительные и отрицательные характеристики, пришли к выводу, что развертываемая конструкция наиболее рациональна для применения в мобильных зданиях контейнерного типа и позволяет решить проблему ограничений, указанных ранее.

Предлагаемая развертываемая конструкция солнечных фотоэлектрических батарей для электроснабжения мобильных зданий контейнерного типа обладает следующими достоинствами:

- простотой конструкции, монтажа и эксплуатации;
- компактность, возможности автономного использования и транспортировки;
- возможности повышения мощности системы электроснабжения путем увеличения количества фотоэлектрических батарей без явных ограничений, связанных с техническими параметрами мобильного здания;
- универсальность. Регулируемые части конструкции позволяют устанавливать различные типоразмеры солнечных фотоэлектрических батарей;
- возможности транспортировки мобильного здания контейнерного типа в сборе с системой электроснабжения без нарушения требований правил дорожного движения Российской Федерации о перевозки грузов.

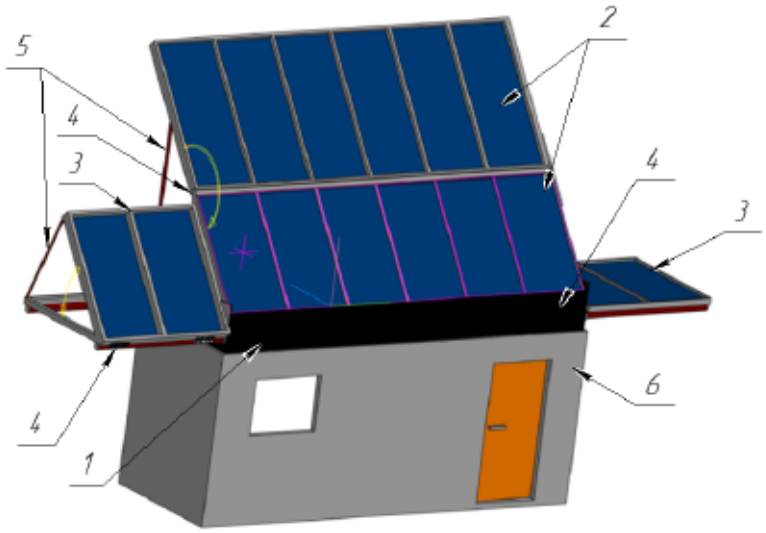


Рисунок 1 – Развертываемая конструкция с солнечными фотоэлектрическими батареями на крыше мобильного здания контейнерного типа: 1- корпус; 2 - первый и второй ряд раскладной регулируемой системы; 3 - многосекционная выдвижная регулируемая рамка; 4 - шарнирные соединения; 5 - телескопическая штанга; 6 - мобильное здание контейнерного типа

Развертываемая конструкция солнечных фотоэлектрических батарей состоит из:

- двух или многорядных раскладных, регулируемых систем, позволяющих установить фотоэлектрические батареи различных типовых размеров. Как правило, типоразмеры фотоэлектрических батарей одинаковой номинальной мощности у различных потребителей отличаются незначительно. Например [2, 3]. Ряды системы соединены друг с другом с помощью петель и прикреплены к раме с помощью подвижного шарнира (рис.2. Поз. 2). На

рис. 2 поз. 3 изображено крепление рядов друг с другом при помощи металлического уголка, с фиксацией на болтовое соединение, для исключения автоматического складывания и укрепления жёсткости конструкции. На рис. 2 поз. 4 изображен принцип развёртывания многорядной раскладной, регулируемой системы на подвижном шарнире;

- двух многосекционных выдвижных, регулируемых рамок, позволяющих обеспечить необходимый угол наклона солнечных фотоэлектрических батарей, с помощью телескопической системой, выполненной труба в трубе (рис 2. Поз. 1). По всей длине труб просверлены технологические отверстия для фиксации штифтом и последующим шплинтованием.

На рис. 1 представлена двухрядная раскладная конструкция с 6 в каждой и двух выдвижных рам с 2 фотоэлектрическими батареями. Количество рядов в многорядной конструкции и количество фотоэлектрических батарей в выдвижных рамах будет зависеть от ветровой, снеговой, гололедной нагрузки в условиях эксплуатации мобильного здания и самих размеров фотоэлектрических батарей. В одном ряду раскладной, регулируемой системы количество фотоэлектрических батарей будет зависеть от их типоразмеров, но ограничено размерами мобильного здания контейнерного типа.

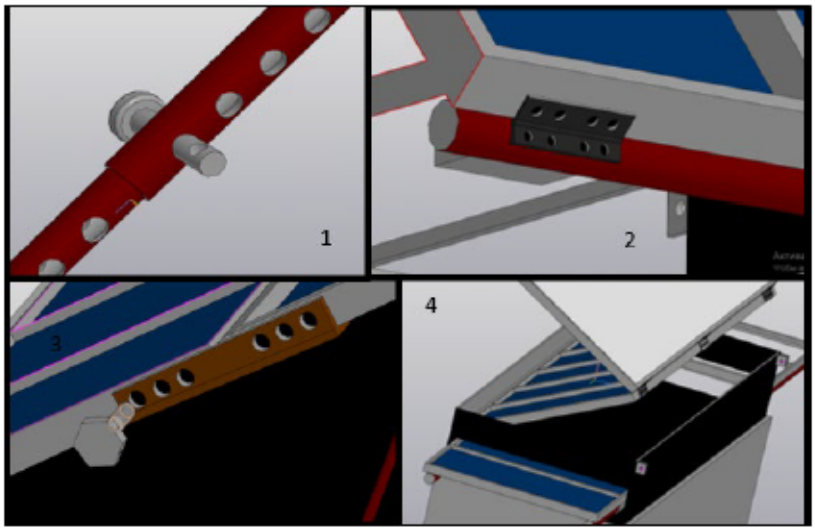


Рисунок 2 – Способ фиксации подвижных элементов развертываемой конструкции солнечных фотоэлектрических батарей

Применение простых технологических решений позволяет повысить надёжность, снизить стоимость и сократить срок производства развертываемой конструкции солнечных фотоэлектрических батарей для электроснабжения мобильных зданий контейнерного типа.

Помимо развертываемой конструкции с солнечными фотоэлектрическими батареями для электроснабжения мобильных зданий контейнерного типа необходимы аккумуляторные батареи, контроллер заряда аккумуляторных батарей, инвертор, питающие кабели и соединительные провода. Более подробно в [4], [5], [7].

Вывод

Разработанная развертываемая конструкция солнечных фотоэлектрических батарей для электроснабжения мобильных зданий контейнерного типа обладает простотой конструкции, монтажа и эксплуатации, предусматривает возможность регулировки угла наклона фотоэлектрических батарей, для повышения их эффективности выработки электрической энергии, в зависимости от времени года, географической широты

эксплуатации. Развертываемая конструкция позволяет повышать мощность системы электроснабжения путем увеличения количества фотоэлектрических батарей без явных ограничений, связанных с техническими параметрами мобильного здания. Конструкция компактна, имеет возможность автономного использования и транспортировки. Регулируемые части конструкции позволяют устанавливать различные типоразмеры солнечных фотоэлектрических батарей. Вмонтированная на крышу мобильного здания, в транспортировочном положении конструкция, обеспечивает целостность рабочей поверхности фотоэлектрических батарей, позволяет производить перемещение мобильного здания контейнерного типа, без нарушения габаритных размеров правил дорожного движения Российской Федерации о перевозки грузов.

Список использованных источников:

1. Здания мобильные (инвентарные). Общие технические условия: ГОСТ Р 58760 – 2024. – Введ. с 01.08.2024. – Москва: Российский институт стандартизации, 2024. – 16 с.

2. Каталог продукции группы компаний «ХЭВЭЛ»: офиц. сайт. – Режим доступа: https://www.hevelsolar.com/catalog/solnechnye-moduli// (дата обращения: 27.11.24).

3. Каталог продукции группы Helios House. Монокристаллические солнечные батареи. офиц. сайт. – https://helios-house.ru/monokristallicheskie-solnechnye-batarei/ (дата обращения: 27.11.24).

4. Ахметшин А.Т. Моделирование и анализ эффективности фотоэлектрических систем в программе PVSYST / А.Т.Ахметшин, Б.Г. Надыргулов, Д.Ф. Балтиков // В сборнике: Наука молодых – инновационному развитию АПК: материалы XV Национальной научно-практической конференции молодых ученых. ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ. – 2022. – с. 16-25.

5. Ярмухаметов, У.Р. Моделирование работы солнечной фотоэлектрической установки в PVSYST / У.Р. Ярмухаметов, А.Т. Ахметшин // Наука молодых – инновационному развитию АПК: материалы XIII Национальной научно-практической конференции молодых ученых. ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2020. – с. 141-146.

6. Golubkov V.M., Determination of parameters of an autonomous power supply system for block containers based on solar photovoltaic batteries / V.M.Golubkov, A.T. Akhmetshin // Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сборник материалов XVI Международной конференции молодых ученых и студентов. – Бишкек: НС РАН, 2024. – с. 401 - 405.

7. Ахметшин А.Т. Комбинированная ветро-солнечная электростанция малой мощности с удаленной системой диспетчеризации ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ / А.Т. Ахметшин, Б.Г. Надыргулов, М.К. Аталиков // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2021. – № 3 (59). – с. 57-62.

Bibliography:

1. Mobile buildings (inventory). General specifications: GOST R 58760 - 2024. - Introduced on 01.08.2024. - Moscow: Russian Institute of Standardization, 2024. - 16 p.

2. Product catalog of the HEVEL group of companies: official website. - Access mode: https://www.hevelsolar.com/catalog/solnechnye-moduli// (date of access: 27.11.24)

3. Product catalog of the Helios House group. Monocrystalline solar batteries. official website. - https://helios-house.ru/monokristallicheskie-solnechnye-batarei/ (date of access: 27.11.24)

4. Akhmetshin A.T. Modeling and analysis of the efficiency of photovoltaic systems in the PVSYST program / A.T. Akhmetshin, B.G. Nadyrgulov, D.F. Baltikov // In the collection: Science of the young - innovative development of the agro-industrial complex: materials of the XV National scientific and practical conference of young scientists. FSBEI HE Bashkir SAU. - 2022. - pp. 16-25.

5. Yarmukhametov, U.R. Modeling of the operation of a solar photovoltaic installation in PVSYST / U.R. Yarmukhametov, A.T. Akhmetshin // Science of the young - innovative development of the agro-industrial complex: materials of the XIII National scientific and practical conference of young scientists. FSBEI HE Bashkir SAU. - Ufa: Bashkir SAU, 2020. - pp. 141-146.

6. Golubkov V.M., Determination of parameters of an autonomous power supply system for block containers based on solar photovoltaic batteries / V.M.Golubkov, A.T. Akhmetshin // Modern equipment and technologies in scientific research: Collection of materials of the XVI International conference of young scientists and students. - Bishkek: NS RAS, 2024. - pp. 401 - 405.

7. Akhmetshin A.T. Combined wind-solar power plant of low power with a remote dispatching system of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Bashkir State Agrarian University / A.T. Akhmetshin, B.G. Nadyrgulov, M.K. Atalikov // Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. - 2021. - No. 3 (59). - pp. 57-62.

Ахметшин Артур Талгатович, кандидат технических наук, доцент, artur-2506@mail.ru, Голубков Владимир Михайлович, магистр, vlad_ov@yahoo.com.

Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Российская Федерация

DEPLOYABLE DESIGN OF SOLAR PHOTOVOLTAIC BATTERIES FOR CONTAINER TYPE MOBILE BUILDINGS

Akhmetshin Artur Talgatovich, Golubkov Vladimir Mikhailovich
Bashkir State Agrarian University

Abstract. In this paper, the original deployable design of solar photovoltaic batteries for the power supply of mobile container-type buildings, developed by the authors, is considered. The proposed deployable design makes it possible to increase the power of the power supply system by increasing the number of photovoltaic batteries without obvious restrictions related to the technical parameters of a mobile building. The design is compact, has the possibility of autonomous use and transportation. Adjustable parts of the structure allow you to install various sizes of solar photovoltaic cells. The structure mounted on the roof of a mobile building is compact in the transport position, ensures the integrity of the working surface of photovoltaic batteries, allows the movement of a container-type mobile building without violating the overall dimensions of the traffic rules of the Russian Federation on the transportation of goods. The developed design is easy to install and deploy, provides for the possibility of adjusting the angle of inclination of photovoltaic batteries to increase their efficiency of generating electric energy, depending on the time of year, the geographical latitude of the location of mobile container-type buildings.

Keywords: deployable structure, working and transportation position, solar photovoltaic battery, power supply, mobile container-type building.

Akhmetshin Artur Talgatovich, Candidate of technical sciences, associate professor, artur-2506@mail.ru, Golubkov Vladimir Mikhailovich, master, vlad_ov@yahoo.com.
Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russian Federation

УДК 621.3

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К УСТРОЙСТВУ ИНДИКАЦИИ ПОФАЗНОЙ НАГРУЗКИ И ПЕРЕГРУЗКИ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА

Е.В. Попрядухин[1], С.В. Крамской[1], А.А. Панфилов[1], А.В. Виноградов[1,2]

[1]ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
[2]ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина»

Аннотация. *Несимметрия токов и напряжений является одной из причин снижения качества электроэнергии и надёжности электроснабжения сельских потребителей. Её наличие связано с тем, что электроприёмники сельских потребителей по большей части являются однофазными. Добиться их равномерного распределения по фазам практически невозможно. Эта проблема вносит свой негативный вклад и в снижение ресурса работы электрооборудования, особенно электрогенераторов, используемых для резервного электроснабжения сельских потребителей. Несимметрия приводит к механической вибрации и быстрому перегреву ротора генератора. Усугубляется проблема тем, что генераторы небольшой мощности, используемые в рассмотренном случае, не оснащаются устройствами мониторинга и индикации загрузки по фазам и перегрузки. Оператор, обслуживающий генератор не видит возникшей проблемы с несимметрией, или перегрузкой по одной из фаз до тех пор, пока это не приведёт к отключению защитой, или выходу из строя генератора. Поэтому актуальной является задача создания средств мониторинга и индикации пофазной нагрузки и перегрузки электрогенераторов. Для этого, в первую очередь, следует разработать требования к таким устройствам, что и выполняется в настоящей работе.*

Ключевые слова: *устройство, мониторинг и индикация пофазной нагрузки, перегрузка, электрогенератор, электроснабжение, сельские электрические сети, несимметрия напряжений, требования.*

Введение. В ходе изучения вопроса использования электрогенераторов в сельском хозяйстве было выявлено, что рост числа используемых бензиновых и дизельных генераторов малой мощности связан, прежде всего с невысокой надёжностью электроснабжения сельских потребителей, а также активным использованием данных установок в строительной и военной отраслях [1,2].

Применение электрогенератором малой мощности для резервного электроснабжения сельских потребителей обосновано тем, что показатели надёжности сельских электрических сетей остаются низкими [3]. Во многом это связано с недостатками конфигурации электрических сетей 0,4 кВ, которая не позволяет осуществлять сетевое резервирование [4] и их состоянием. Более 65% сетей имеют срок нахождения в эксплуатации более нормативного [5].

В электросетевых компаниях имеются передвижные электростанции мощностью 6-30 кВт, применяемые для резервного электроснабжения сельских потребителей [6]. При необходимости, такие генераторы подключаются к отходящей от трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ линии 0,4 кВ и питают подключенных к ней потребителей.

Используются и частные генераторы для резервного электроснабжения жилых домов, приусадебных участков, в последние годы количество их неуклонно растёт [7].

На работу всех резервных генераторов негативно сказывается наличие несимметрии токов и напряжений, обусловленных неравномерным распределением нагрузки по фазам. Такое распределение является характерным для сельских потребителей, поскольку большинство применяемых ими электроприёмников является однофазными и распределяется по фазам при подключении к электрической сети в случайном порядке. Несимметрия, в свою очередь, приводит к механической вибрации и быстрому перегреву ротора генератора [8,9]. В конечном итоге это, наряду с другими причинами, может привести к выходу из строя генераторов [10,11,12].

Для борьбы с несимметрией используют различные средства, среди которых фильтры [13], симметрирующие устройства [14], равномерное распределение электроприёмников по фазам. Тем не менее, полностью избежать несимметрии токов и напряжений в сельских электрических сетях практически невозможно. Поэтому генераторы работают в режимах с несимметрией. Это приводит часто и к ситуациям, когда одна из фаз перегружается относительно допустимой для неё мощности. Такие ситуации возникают, в том числе, из-за некомпетентности обслуживающего установку персонала, который неверно определяет допустимую к подключению фазную мощность и иногда подключает на одну фазу мощность, сопоставимую с трёхфазной мощностью генератора. Проблема усугубляется тем, что генераторные установки малой мощности не оснащаются средствами мониторинга и индикации пофазной загрузки. Поэтому оператор не видит текущую загрузку фазы и не реагирует на перегрузку до момента отключения генератора защитой, или выхода его из строя.

Таким образом, разработка устройств мониторинга и индикации пофазной загрузки и перегрузки генераторов малой мощности (УМЗЭГ) является актуальной задачей не только для случаев резервного электроснабжения сельских потребителей, но и для основного электроснабжения в регионах, где централизованное электроснабжение отсутствует. А согласно [15] это 2/3 территории России, где порядка 30% электроэнергии производятся с помощью дизельгенераторных установок (ДГУ).

Материалы и методы. Выполненный обзор литературы показал необходимость создания устройств мониторинга и индикации пофазной загрузки и перегрузки генераторов малой мощности. Их применение позволит предотвратить значительную несимметрию токов и напряжений за счёт того, что при подключении нагрузки оператор генераторной установки будет видеть текущую загрузку фаз генератора и будет более рационально распределять подключаемую нагрузку. Также оператор сможет оперативно отреагировать на перегрузку одной, или нескольких фаз, предотвращая снижение ресурса и выход из строя генератора. Разрабатываемые требования к устройству включают в себя необходимый функционал, условия эксплуатации.

Результаты и обсуждение.

Разрабатываемое устройство мониторинга и индикации пофазной загрузки и перегрузки генераторов малой мощности УМЗЭГ используется следующим способом, который проиллюстрирован на рисунке 1. С помощью соответствующих датчиков контролируют ток и напряжение на выводах генератора и мощность по фазам, определяют наличие несимметрии по току, напряжению и нагрузке, выделяют наиболее и наименее нагруженные фазы. Отображают на панели управления генератора допустимые ток, напряжение и мощность по фазам, фактические ток, напряжение и мощность по фазам,

степень загрузки фаз, возможную и рекомендуемую свободные мощности нагрузки по фазам, осуществляют световую индикацию о недопустимой несимметрии по фазам, световую и звуковую индикацию о перегрузке по фазам. На основе указанной информации принимают решение о перераспределении нагрузки, при подключении дополнительной однофазной нагрузки определяют на какую фазу её рационально подключить.



Рисунок 1 – Способ применения УМЗЭГ для рационального управления нагрузками электрогенератора

Исходя из вышеприведённого способа основные функциональные возможности данного устройства можно сформулировать следующим образом. Устройство должно обеспечивать:

– измерение напряжения, коэффициента мощности (cos φ), тока и мощности по всем трём фазам и нулевому проводнику;

– отображение текущих напряжения, коэффициента мощности (cos φ), тока и мощности по фазам;

– задачу и отображение допустимой мощности по фазам;

– отображение разрешённой и рекомендуемой дополнительной мощности нагрузки по фазам;

– индикацию и сигнализацию о превышении допустимой мощности по каждой из фаз;

– индикацию и сигнализацию о превышении допустимой несимметрии тока и напряжения;

– возможность подключения к генератору без вмешательства в его внутренние цепи для эксплуатируемых генераторов с помощью переходного устройства;

– архивирование данных;

– передачу информации удалённому оператору.

Описанные функциональные возможности позволят УМЗЭГ обеспечивать мониторинг и индикацию пофазной загрузки и перегрузки генератора. Это позволит повысить эффективность обслуживания генераторной установки.

УМЗЭГ планируется устанавливать непосредственно на корпусе, или щите генераторной установки с помощью специальной крепёжной платформы или магнитов в положении, удобном для восприятия отображаемой информации оператором установки. Устройство должно надежно работать после длительного хранения при температуре воздуха от – 35˚С до + 40˚С и относительной влажности воздуха от 20% до 85%. Устройство должно быть устойчиво к воздействию влаги и вибрации. Степень защиты контактов не менее IP-44. Устройство должно обеспечивать продолжительный режим работы в течение суток или на время работы электрогенератора [15,16]. Устройство будет предназначено для использования в трехфазной или (в модификации для однофазных генераторов) однофазной электрической сети переменного тока с напряжением 220/380В (220В) и частотой 50 Гц. Техническое обслуживание устройства должно осуществляться не реже одного раза в 6 месяцев.

Основные требования, предъявляемые к устройству следующие:

– устройство должно быть представлено в виде трёхфазной и однофазной модификаций исполнения с возможностью комплектования датчиками и трансформаторами тока различного номинала;

– напряжение 220/380В.

– наличие защиты входных цепей от перенапряжений;

– наличие защиты входных цепей от сверхтоков;

– компоненты устройства должны соответствовать требованиям соответствующих технических условий;

– все комплектующие должны соответствовать ГОСТам и ТУ;

– средний срок службы устройства должен составлять не менее 5 лет.

Техническое обслуживание устройства должно осуществляться подготовленным электротехническим персоналом.

Выводы. При выполнении приведённых функциональных и технических требований, устройства мониторинга и индикации пофазной нагрузки и перегрузки генераторов УМЗЭГ позволят улучшить работу электрогенераторных установок. Это достигается за счёт возможности обеспечить минимизацию несимметрии токов и напряжений генератора на этапе подключения нагрузки, не допущения перегрузки генератора. Таким образом, применение УМЗЭГ позволит предотвращать выход из строя генераторов, повышать ресурс их работы и снижать в них потери электроэнергии.

Список использованных источников

1. Попрядухин Е.В., Крамской С.В., Панфилов А.А., Виноградов А.В. Анализ рынка электрогенераторов в России // Агротехника и энергообеспечение. 2024. №1 (42). С.15-23.

2. Защита электрогенераторов объектов распределенной генерации от аварийных режимов / В. Е. Большев, А. В. Виноградов, С. В. Крамской, С. И. Белов // Агроинженерия. – 2024. – Т. 26, № 3. – С. 80-88. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-3-80-88. – EDN GGZBYC.

3. Виноградова А.В., Виноградов А.В., Букреев А.В. Удельные показатели надежности электрических сетей 0,4 кВ // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 6. С. 77-85. https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-77-85

4. Виноградов А.В., Лансберг А.А., Виноградова А.В. Анализ конфигурации электрических сетей 0,4 кВ Орловской области // Электротехнологии и электрооборудование

в АПК. 2023. Т. 70. N4(53). С. 22-29. DOI: 10.22314/2658-4859-2023-70-4-22-29. EDN: LHIRSK

5. Виноградова, А. В. Энергосистема Орловской области: обзор статистической информации / А. В. Виноградова, А. А. Лансберг, А. В. Виноградов. – Орёл : ООО Полиграфическая фирма «Картуш», 2023. – 360 с. – EDN FPQAEF.

6. Обоснование мощности генераторов для резервирования в секционированных линиях электропередачи/ Виноградов А.В., Крамской С.В., Лансберг А.А., Виноградова А.В. Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2024. Т. 71. № 3 (56). С. 27-34.

7. Бутов А.М. Рынок генераторных установок. Москва, Россия: ВШЭ, 2021. 75 с

8. Булатов Ю.Н., Крюков А.В. Влияние несимметричной нагрузки на работу турбогенераторов установок распределенной генерации // Системы Методы Технологии. 2016. Т. 3, № 31. С. 85–93. EDN: XQSNZJ

9. Brekken T.K.A., Mohan N. Control of a doubly fed induction wind generator under unbalanced grid voltage conditions. IEEE Transactions on Energy Conversion. 2007. Т. 22. №1. С. 129–35. DOI: 10.1109/TEC.2006.889550

10. Защита электрогенераторов объектов распределенной генерации от аварийных режимов / В. Е. Большев, А. В. Виноградов, С. В. Крамской, С. И. Белов // Агроинженерия. – 2024. – Т. 26, № 3. – С. 80-88. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-3-80-88. – EDN GGZBYC.

11. Основные неисправности бензогенераторов и их причины. Электронный ресурс. Заголовок с экрана. Режим доступа: https://karex.ru/about/information/prichiny_neispravnosti_benzogeneratorov/ (Дата обращения 12.11.2024г.)

12. Типы неисправностей в генераторе переменного тока. Электронный ресурс. Заголовок с экрана. Режим доступа: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.b47652f7-66ec07dc-c2161ac7-74722d776562/https/www.tutorialspoint.com/types-of-faults-in-an-alternator (Дата обращения 15.11.2024г.)

13. Ribeiro E.R., Barbi I. Harmoniv voltage reduction using a series active filter under different load conditions // IEEE Trans Power Electron. 2006. Т. 21, № 5. С. 1394–1402. DOI: 10.1109/TPEL.2006.880265

14. Дмитриев В.Н., Милашкина О.В., Борисов И.А. Применение симметрирующих устройств для повышения качества электроэнергии автономных источников // Известия высших учебных заведений Проблемы энергетики. 2009 Т. 3–4. С. 59–64. EDN: KUVYZJ

15. Анализ применения электрогенераторов в сельскохозяйственном производстве. Попрядухин Е.В. В сборнике: Студенческий научный форум 2024. Сборник статей XIII Международной научно-практической конференции. Пенза, 2024. С. 26-28.

16. ПУЭ-7 п.1.2.17-1.8.19 Категории электроприёмников и обеспечение надёжности электроснабжения. Нормативный документ. Режим доступа: http://pue7.ru/pue7/punkt.php (Дата обращения 16. 04. 2024).

Bibliography:

1. Popryadukhin E.V., Kramskoj S.V., Panfilov A.A., Vinogradov A.V. Analiz rynka ehlektrogeneratorov v Rossii // Agrotekhnika i ehnergoobespechenie. 2024. №1 (42). S.15-23.

2. Zashchita ehlektrogeneratorov ob"ektov raspredelennoj generacii ot avarijnykh rezhimov / V. E. Bol'shev, A. V. Vinogradov, S. V. Kramskoj, S. I. Belov // Agroinzheneriya. – 2024. – T. 26, № 3. – S. 80-88. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-3-80-88. – EDN GGZBYC.

3. Vinogradova A.V., Vinogradov A.V., Bukreev A.V. Udel'nye pokazateli nadezhnosti ehlektricheskikh setej 0,4 KV // Agroinzheneriya. 2024. T. 26, № 6. S. 77-85.

https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-77-85

4. Vinogradov A.V., Lansberg A.A., Vinogradova A.V. Analiz konfiguracii ehlektricheskikh setej 0,4 KV Orlovskoj oblasti // Ehlektrotekhnologii i ehlektrooborudovanie v APK. 2023. T. 70. N4(53). S. 22-29. DOI: 10.22314/2658-4859-2023-70-4-22-29. EDN: LHIRSK

5. Vinogradova, A. V. Ehnergosistema Orlovskoj oblasti: obzor statisticheskoj informacii / A. V. Vinogradova, A. A. Lansberg, A. V. Vinogradov. – Oryol : OOO Poligraficheskaya firma «KartuSH», 2023. – 360 s. – EDN FPQAEF.

6. Obosnovanie moshchnosti generatorov dlya rezervirovaniya v sekcionirovannykh liniyakh ehlektroperedachi/ Vinogradov A.V., Kramskoj S.V., Lansberg A.A., Vinogradova A.V. Ehlektrotekhnologii i ehlektrooborudovanie v APK. 2024. T. 71. № 3 (56). S. 27-34.

7. Butov A.M. Rynok generatornykh ustanovok. Moskva, Rossiya: VSHEH, 2021. 75 s

8. Bulatov YU.N., Kryukov A.V. Vliyanie nesimmetrichnoj nagruzki na rabotu turbogeneratorov ustanovok raspredelennoj generacii // Sistemy Metody Tekhnologii. 2016. T. 3, № 31. C. 85–93. EDN: XQSNZJ

9. Brekken T.K.A., Mohan N. Control of a doubly fed induction wind generator under unbalanced grid voltage conditions. IEEE Transactions on Energy Conversion. 2007. T. 22. №1. S. 129–35. DOI: 10.1109/TEC.2006.889550

10. Zashchita ehlektrogeneratorov ob"ektov raspredelennoj generacii ot avarijnykh rezhimov / V. E. Bol'shev, A. V. Vinogradov, S. V. Kramskoj, S. I. Belov // Agroinzheneriya. – 2024. – T. 26, № 3. – S. 80-88. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-3-80-88. – EDN GGZBYC.

11. Osnovnye neispravnosti benzogeneratorov i ikh prichiny. Ehlektronnyj resurs. Zagolovok s ehkrana. Rezhim dostupa: https://karex.ru/about/information/prichiny_neispravnosti_benzogeneratorov/ (Data obrashcheniya 12.11.2024g.)

12. Tipy neispravnostej v generatore peremennogo toka. Ehlektronnyj resurs. Zagolovok s ehkrana. Rezhim dostupa: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.b47652f7-66ec07dc-c2161ac7-74722d776562/https/www.tutorialspoint.com/types-of-faults-in-an-alternator (Data obrashcheniya 15.11.2024g.)

13. Ribeiro E.R., Barbi I. Harmoniv voltage reduction using a series active filter under different load conditions // IEEE Trans Power Electron. 2006. T. 21, № 5. C. 1394–1402. DOI: 10.1109/TPEL.2006.880265

14. Dmitriev V.N., Milashkina O.V., Borisov I.A. Primenenie simmetriruyushchikh ustrojstv dlya povysheniya kachestva ehlektroehnergii avtonomnykh istochnikov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij Problemy ehnergetiki. 2009 T. 3–4. S. 59–64. EDN: KUVYZJ

15. Analiz primeneniya ehlektrogeneratorov v sel'skokhozyajstvennom proizvodstve. Popryadukhin E.V. V sbornike: Studencheskij nauchnyj forum 2024. Sbornik statej XIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Penza, 2024. S. 26-28.

16. PUEH-7 p.1.2.17-1.8.19 Kategorii ehlektropriyomnikov i obespechenie nadyozhnosti ehlektrosnabzheniya. Normativnyj dokument. Rezhim dostupa: http://pue7.ru/pue7/punkt.php (Data obrashcheniya 16. 04. 2024).

Е.В. Попрядухин, студент 4 курса бакалавр, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ. Тел. 8(999)7550900
e-mail: popryaduhinzhenya@mail.ru
А.А. Панфилов аспирант ФГБОУ ВО Орловский ГАУ
С.В. Крамской, аспирант ФГБОУ ВО Орловский ГАУ

А.В. Виноградов, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, зав. лабораторией, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, профессор, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, профессор. Тел. 8(920)2879024 e-mail: winaleksandr@gmail.com

FUNCTIONAL AND MAIN TECHNICAL REQUIREMENTS FOR THE DEVICE INDICATING THE PHASE LOAD AND OVERLOAD OF THE ELECTRIC GENERATOR

E.V. Popryadukhin[1], S.V. Kramskoy[1], A.A. Panfilov[1], A.V. Vinogradov[1,2]

[1]FGBNU FNATS VIM
[2]FGBOU VO "Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin". N.V. Parakhin"

Abstract. Asymmetry of currents and voltages is one of the reasons for the decrease in the quality of electricity and the reliability of power supply to rural consumers. Its presence is due to the fact that the electrical receivers of rural consumers are mostly single-phase. It is almost impossible to achieve their uniform distribution across phases. This problem also makes a negative contribution to the reduction in the service life of electrical equipment, especially electric generators used for backup power supply to rural consumers. Asymmetry leads to mechanical vibration and rapid overheating of the generator rotor. The problem is aggravated by the fact that the low-power generators used in the considered case are not equipped with devices for monitoring and indicating phase loading and overload. The operator servicing the generator does not see the problem with asymmetry or overload in one of the phases until it leads to shutdown by protection or failure of the generator. Therefore, the task of creating means for monitoring and indicating phase loading and overload of electric generators is relevant. To do this, first of all, it is necessary to develop requirements for such devices, which is done in this work.

Keywords: device, monitoring and indication of phase loading, overload, electric generator, power supply, rural electric networks, voltage asymmetry, requirements.

E.V. Popryadukhin, 4th year Bachelor's student, Oryol State University. Tel. 8(999)7550900 e-mail: popryaduhinzhenya@mail.ru
A.A. Panfilov, postgraduate student, Oryol State Agrarian University
S.V. Kramskoy, postgraduate student, Oryol State Agrarian University
A.V. Vinogradov, FSBI FNAC VIM, Head. laboratory, FGBOU VO Orlovsky GAU, Professor, K.A. Timiryazev Moscow State Agricultural Academy, Professor. Tel. 8(920)2879024 e-mail: winaleksandr@gmail.com

УДК 66.047.38

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ПЕЛЬТЬЕ

Яшин И.С.

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

Аннотация. *В статье реализована физическая модель термоэлектрической сушильной установки на базе термоэлектрических модулей Пельтье, работающих в режиме теплового насоса с рекуперацией и утилизацией теплоты отработанного сушильного агента (воздуха) в процессе сушки. В ведении описана актуальность процесса сушки и цель исследования. В материалах и методах описана характеристика конвективных сушильных установок, основные параметры сушки, традиционные методы интенсификации процесса сушки, и оценка применения термоэлектрических модулей и сборок на базе элементов Пельтье. В результатах и их анализе представлена функциональная схема термоэлектрической сушильной установки, термоэлектрическая сборка на базе элементов Пельтье, а также физическая модель термоэлектрической сушильной установки. Проведен процесс сушки, представлены: графики изменения температуры в характерных точках установки от времени, изменения относительной влажности воздуха от времени, технические характеристики физической модели сушильной установки, а также массы яблок, до и после сушки с расчетом количества испаренной влаги. Недостатками известных серийно выпускаемых конвективных сушильных установок является сброс вместе с влажным воздухом в окружающее пространство теплоты, полученное от электронагревателя. Таким образом, физическая модель термоэлектрической сушильной установки снижает затраты электроэнергии на проведение процесса сушки путем использования части теплоты удаляемого сушильного агента при конвективной сушке до 20% от общего потребления установки и обеспечивает более равномерный процесс сушки продукта за счет наличия боковых воздушных каналов и более эффективной организации движения воздуха в рабочей камере, что подтверждается результатами проведенных испытаний, а также позволяет уменьшить установленную мощность нагревателя по сравнению с традиционными серийно выпускаемыми малогабаритными установками.*

Ключевые слова: *термоэлектрическая сушильная установка, энергосбережение, элемент Пельтье, тепловой насос, конвективная сушка, сушеные плоды, овощи, фрукты.*

Введение. Процесс сушки – удаление влаги из твердых влажных или жидких материалов путем ее испарения и отвода образовавшихся паров. Высушенный пищевой продукт должен иметь высокие показатели физико-химических свойств, а оптимальный режим сушки должен осуществляться при минимальной затрате тепла и энергии [1].

Производство сушеных фруктов и овощей является одним из наиболее экономичных способов переработки сырья. Они занимают меньший объем для хранения, имеют длительный срок годности и могут использоваться в качестве сырья для производства пищевых концентратов в различных отраслях пищевой промышленности [2].

Исследования последних лет направлены на совершенствование способов сушки, которые бы обеспечивали максимальную сохранность пищевых и вкусовых достоинств

продукта, а также высокую эффективность процесса [3].

В бытовых сушилках малой производительности, как правило, применяют конвективный способ нагрева материала. В процессе сушки происходит удаление влаги из продукта до достижения влажности 10-12 % для овощей и 18-25 % для фруктов. Известные серийно выпускаемые электросушилки для пищевых продуктов Элвин СУ-1, SUPRA DFS-211, «Ветерок-2», Polaris PFD 0205AD, «Суховей-3», Smile FD 993, Saturn ST-FP0111 и другие модели [4] в рабочем режиме сбрасывают вместе с влажным воздухом в окружающее пространство тепло, полученное от электронагревателя.

Цель исследования – разработка энергосберегающей сушильной установки на базе термоэлектрических модулей Пельтье, работающих в режиме теплового насоса, приводящих к сокращению затрат электроэнергии в процессе сушки с сохранением высоких показателей качества высушенной продукции.

Материалы и методы. Конвективные сушилки – это самые распространенные виды сушилок. Энергия передается высушиваемому объекту с помощью конвекции. В качестве сушильного агента используется нагретый воздух, который является теплоносителем и влагопоглотителем. Преимущество данного типа сушилок – это простота конструкции, возможность точного регулирования температуры высушиваемого материала.

Важную роль при конвективной сушке играют следующие параметры сушильного агента: температура, относительная влажность, скорость движения, толщина слоя, поэтому интенсификация процесса конвективной сушки заключается в регулировке данных параметров [5].

С повышением температуры сушильного агента интенсивность испарения влаги увеличивается за счет увеличения теплообмена между высушиваемым материалом и сушильным агентом, а продолжительность сушки сокращается. Однако температура в процессе сушки плодово-ягодного и овощного сырья не должна быть выше 55-65 °С.

С уменьшением относительной влажности процесс сушки ускоряется. Но сушка с низкой относительной влажностью связана с излишним расходом тепла. Кроме того, низкая относительная влажность сушильного агента вначале процесса способствует быстрому перемещению влаги и образованию корочки на поверхности, что увеличивает время сушки. Поэтому для плодово-ягодного и овощного сырья относительная влажность сушильного агента, удаляемого в окружающую среду должна быть в пределах 35-45 %.

Поскольку конвективные сушильные установки преобладают в общем парке обезвоживающих устройств, рассматривается проблема энергосбережения применительно к конвективной сушке. Методы, относящиеся к традиционным, основаны на выборе рациональной функциональной схемы сушильной установки и параметров режима сушки.

В последнее время применение термоэлектрических модулей и сборок на базе элементов Пельтье находят достаточно широкое применение в различных технологических процессах сельхозпроизводства: осушение и подогрев воздуха [6, 7], пастеризация и охлаждение молока [8], локальный обогрев молодняка животных [9] и др. [10].

Для эффективного энергосбережения термоэлектрической сушильной установки необходимо, чтобы коэффициент рециркуляции стремился к своему предельному значению, однако, на ряду с этим происходит увеличение конечного влагосодержания сушильного агента, снижается движущая сила массообмена, что приводит к увеличению продолжительности процесса сушки. Следовательно, возрастают габаритные размеры установки, и увеличиваются капитальные затраты. [11].

Результаты и их анализ.

Разработана функциональная схема сушильной установки с применением термоэлектрического теплового насоса с частичной рециркуляцией и утилизацией теплоты сушильного агента, представленная на рисунке 1.

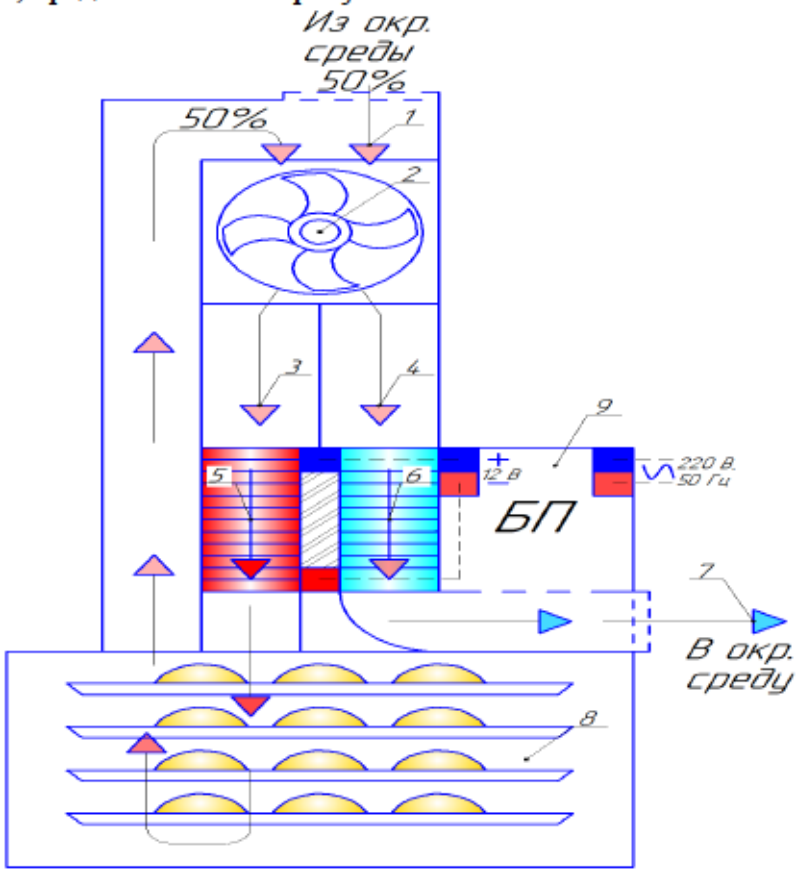


Рисунок 1 – функциональная схема сушильной установки:
1 – сушильный агент (воздух); 2 – вентилятор; 3, 4 – двухканальный разделитель потока воздуха; 5 – радиатор горячего спая; 6 – радиатор холодного спая; 7 – окружающая среда; 8 – сушильная камера; 9 – блок питания 12 В

Работает данная схема следующим образом: сушильный агент 1 (50 %) нагнетается вентилятором 2, попадает в двухканальный разделитель потока 3 и 4, далее часть агента удаляется через радиатор холодного спая 6 элемента Пельтье в окружающую среду 7, вторая часть агента проходит через радиатор горячего спая 5 элемента Пельтье и подается в сушильную камеру 8. Таким образом, одна часть потока (циркулирующая, 30-60 %) подогревается в радиаторе горячего спая 5, другая его часть охлаждается в радиаторе холодного спая 6 и удаляется в окружающую серды 7. Таким образом, при охлаждении воздушного потока в радиаторе холодного спая 6 часть теплоты этого потока передается на радиатор горячего спая 5, что приводит к повышению выработки тепловой энергии на горячей стороне термоэлектрического модуля, используемой для нагрева воздуха и экономии электроэнергии потребляемой из сети.

Разработана термоэлектрическая сборка сушильной установки, представленная на рисунке 2.

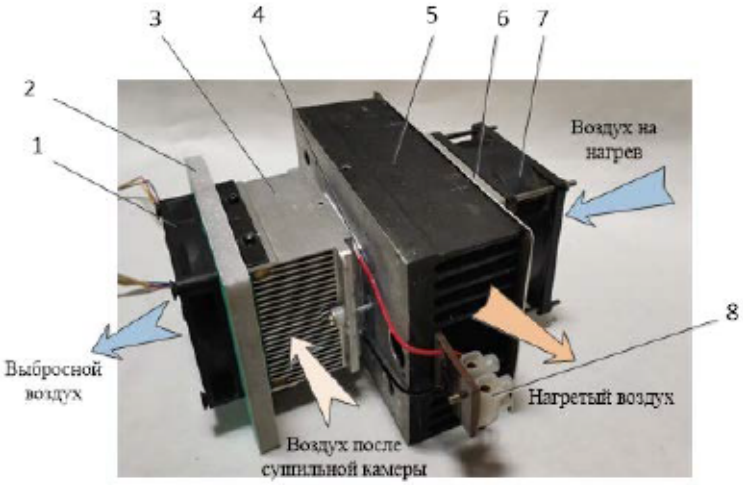


Рисунок 2 – термоэлектрическая сборка сушильной установки:
1 – вентилятор холодного контура; 2,6 – теплоизолирующая вставка; 3 – воздушный радиатор холодного контура; 4 – элемент Пельтье; 5 – воздушный радиатор горячего контура; 7 - вентилятор горячего контура; 8 – клеммная колодка питания.

Термоэлектрическая сборка представляет собой термоэлектрический насос на базе элемента Пельтье TEC1-22818. Снятие электрических и тепловых параметров происходит путем подключения лабораторный стенда [12].

На основании разработанной функциональной схемы (рисунок 1) и термоэлектрической сборки (рисунок 2) изготовлена физическая модель термоэлектрической сушильной установки для исследования параметров (рисунок 3).

Исходные параметры: производительность – 1 кг/ч; мощность (235±5) Вт; температура сушильного агента 55-65 °С; доля рециркуляции сушильного агента 30-60 %; продукт сушки – овощи, фрукты; источник тепловой энергии – термоэлектрический модуль Пельтье; режим работы – периодический.

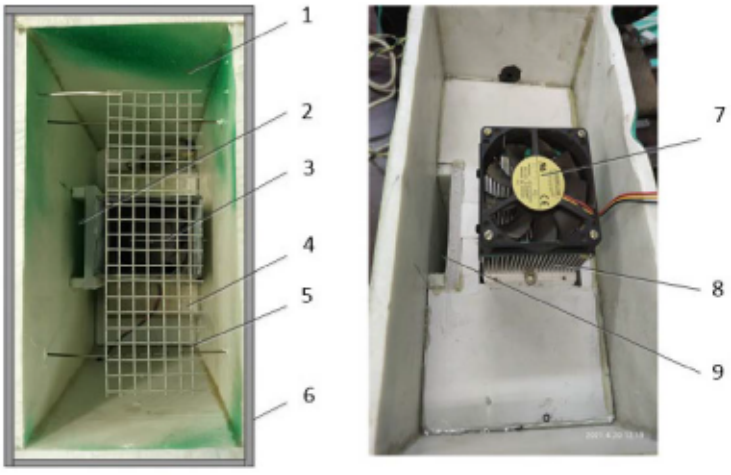


Рисунок 3 – физическая модель термоэлектрической сушильной установки:
1 – сушильная камера; 2 – канал удаляемого воздуха; 3 – циркуляционный вентилятор; 4 – радиатор горячей стороны элементов Пельтье; 5 – сетка для высушиваемого материала; 6 – корпус; 7 – вытяжной вентилятор; 8 – радиатор холодной стороны элементов Пельтье; 9 – канал подачи удаляемого воздуха.

Проведен процесс сушки яблок, нарезанных тонкими ломтиками. Получены

измерения температуры сушильного агента (воздуха) и радиаторов термоэлектрической сборки в восьми характерных точках установки, а также измерения относительной влажности и расхода воздуха на входе и выходе установки.

На рисунке 4 представлены графики изменения температуры воздуха в характерных точках сушильной установки в зависимости от времени.

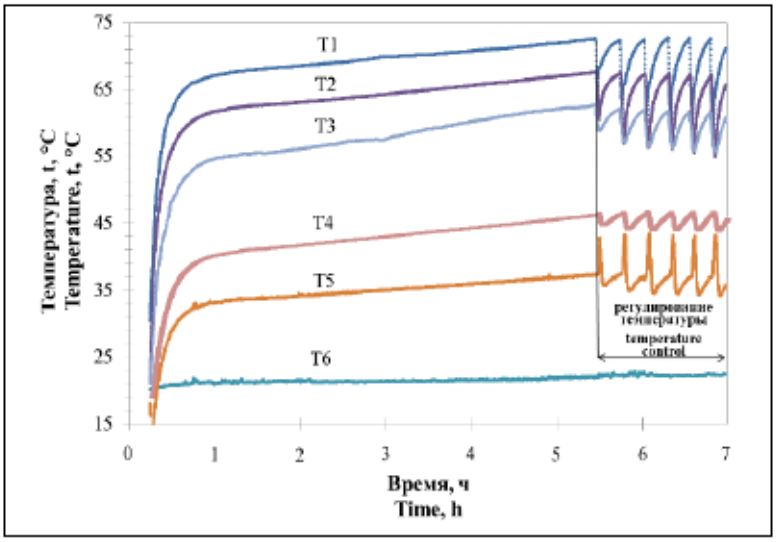


Рисунок 4 – зависимость температуры от времени в процессе сушки:
T1 – поверхность горячего радиатора; T2 – воздух, подаваемый в сушильную камеру после подогрева; T3 – воздух в сушильной камере; T4 – воздух, уходящий из сушильной камеры; T5 – воздух, удаляемый из сушильной установки; T6 – воздух окружающей среды

Согласно графикам (T4) (рисунок 4) в установившемся режиме температура воздуха, уходящего из сушильной камеры 45 °C, а согласно графику (T5) (рисунок 4) температура воздуха, удаляемого из сушильной установки равна 41 °C. Таким образом, сушильный агент охлаждается на 4 °C, что является подтверждением того, что физическая модель сушильной установки частично утилизирует теплоту сушильного агента, выходящего из камеры, в окружающую среду через радиатор холодного спая.

На рисунке 5 представлено изменение относительной влажности сушильного агента на входе и выходе сушильной установки в зависимости от времени, а пик на графике 2 обусловлен удалением поверхностной влаги высушиваемых яблок.

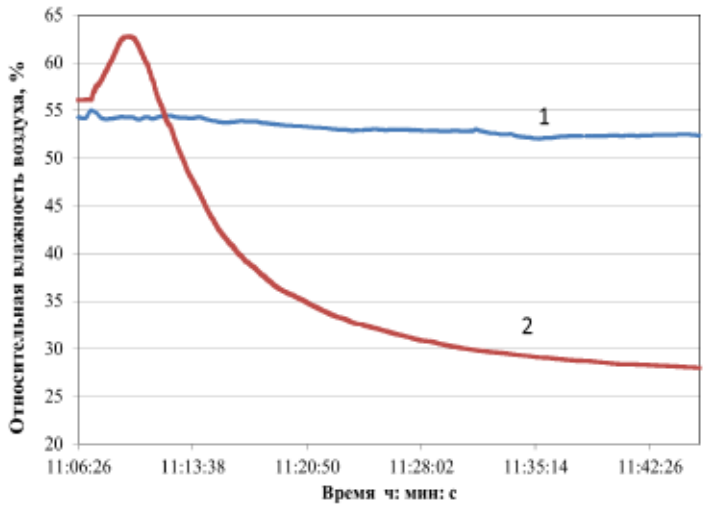


Рисунок 5 – изменение относительной влажности сушильного агента в зависимости от времени:

1 – изменение относительной влажности сушильного агента на входе; 2 – изменение относительной влажности сушильного агента на выходе

Технические параметры сушильной установки представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Технические характеристики физической модели термоэлектрической сушильной установки

Параметры	Значение показателей
Мощность установки, потребляемой из электрической сети, не более	237 Вт
Теплота, возвращаемая установкой, не менее	51,5 Вт
Напряжение питания установки	220 В
Напряжение питания одного термоэлемента	20 В
Объем материала (продукта) для сушки	9,6 л
Максимальная температура сушильного агента (воздух)	65 °С
Среднее время сушки продукта (яблок) при начальной влажности 85% и конечной 23%.	7 ч

Масса яблок до и после процесса сушки представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Масса яблок до и после процесса сушки

Масса яблок до сушки				Масса яблок после сушки			
№ поддона	Масса поддона и яблок, г	Масса поддона, г	Масса яблок, г	Масса поддона и яблок, г	Масса яблок, г	Масса испаренной влаги, г	Количество испаренной влаги, %
1	446,4	171,6	274,8	235,7	64,1	210,7	76,67
2	438,5	170,4	268,1	233,3	62,9	205,2	76,54
3	420,1	173,4	246,7	225,3	51,9	194,8	78,96
4	462,3	172,4	289,9	236,4	64	225,9	77,92
5	444,6	175,4	269,2	233,8	58,4	210,8	78,31
Всего:	2211,9	863,2	1348,7	1167,2	304	1044,7	

Выводы. Реализована физическая модель термоэлектрической сушильной установки согласно функциональной схеме. Модуль Пельтье в данной модели работает в режиме теплового насоса, за счет чего обеспечивается снижение затрат электроэнергии на проведение процесса сушки путем использования части теплоты удаляемого сушильного агента при конвективной сушке.

Среднее количество утилизируемой теплоты из удаляемого сушильного агента, которое подводится к радиатору холодного спая термоэлектрического теплового насоса при среднем значении перепада температур до и после радиатора в течение процесса сушки 7,3 °С, составляет 51,5 Вт, что соответствует ~ 20% от общего потребления термоэлектрической сушильной установки из электрической сети (~ 237 Вт).

Физическая модель обеспечивает более равномерный процесс сушки продукта за счет наличия боковых воздушных каналов и более эффективной организации движения сушильного агента в рабочей камере, что подтверждается результатами проведенных испытаний.

Применение термоэлектрического теплового насоса с рекуперацией теплоты отработанного сушильного агента позволяет уменьшить установленную мощность

нагревателя и снизить расход электроэнергии на процесс сушки разработанной конвективной термоэлектрической сушильной установкой по сравнению с традиционными серийно выпускаемыми установками.

Дальнейшие исследования будут направлены на повышение энергоэффективности термоэлектрической установки путем регулирования величины рециркуляции сушильного агента.

Список использованных источников

1. Сушка [Электронный ресурс]: Массообменные процессы и аппараты, используемые при переработке отходов. — М., 2017. — Режим доступа: https://studwood.net/1919457/tovarovedenie/sushka, свободный.
2. Теплотехническое оборудование: учебник для студ. учреждений средн. проф. образования / В.М. Боровков, А.А. Калютик, В.В. Сергеев. – 2-е изд., испр. - М. : Издательский центр «Академия», 2013. -192 с.
3. Теплотехника [Текст]: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки высшего образования "Агроинженерия" / С. П. Рудобашта. - Изд. 2-е, доп. - Москва: Перо, 2015. - 671 с
4. Сушилки для овощей и фруктов: каталог [Электронный ресурс]. URL: https://market.yatdex.ru/search?text=каталог%20сушилки%20для%20овощей% 20и%20фруктов&lr=213&clid=830&utm_medium=cpc&cpa=0&onstock=0&local-offers-first=05.
5. Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Хименко А.В., Ламонов Н.Г., Трунов С.С. Возможные направления в совершенствовании малогабаритных бытовых сушильных установок // Электротехнологии и электро¬оборудование в АПК. 2021 Т. 68 N3(44). С. 9-14.
6. Dmitry A. Tikhomirov, Stanislav S. Trunov, Aleksey V. Kuzmichev, Sergey A. Rastimeshin, Olga V. Shepovalova Energy-efficient thermoelectric unit for microclimate control on cattle breeding premises // Energy Reports. 2020. Vol. 6S6, pp. 293-305.
7. Venkatesan K., Venkataramanan M. Experimental and simulation studies on thermoelectric cooler: A performance study approach // International journal of thermophysics.-2020.-Vol. 41.- Issue: 4.- Article Number: 38. DOI: 10.1007/s10765-020-2613-2.
8. Кирсанов В.В., Кравченко В.Н., Филонов Р.Ф. Применение термоэлектрических модулей в пастеризационно-охладительных установках для обработки жидких пищевых продуктов: монография. -М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2011. – 88 с.
9. Тихомиров Д.А., Хименко А.В., Кузьмичев А.В. Напольный обогрев поросят с применением термоэлектрического теплового насоса // Техника и оборудование для села. 2021. № 9 (291). С. 28-32.
10. Patel, Viral K.; Gluesenkamp, Kyle R.; Goodman, Dakota; et al. Experimental evaluation and thermodynamic system modeling of thermoelectric heat pump clothes // Applied energy.-2018.- Volume: 217.- Pages: 221-232.
11. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учеб. пособие. - Изд. 3-е испр.- / СПб ГТУ РП. СПб., 2012 -136 с.
12. Физическое моделирование процесса сушки с применением термоэлектрического теплового насоса / Д. А. Тихомиров, И. С. Яшин, А. В. Хименко, А. В. Кузьмичев // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 1(307). – С. 40-45. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-1-40-45. – EDN INBMYQ.

Bibliography:

1. Sushka [E`lektronny`j resurs]: Massoobmenny`e processy` i apparaty`, ispol`zuemy`e pri pererabotke otxodov. — M., 2017. — Rezhim dostupa: https://studwood.net/1919457/tovarovedenie/sushka, svobodny`j.

2. Teplotexnicheskoe oborudovanie: uchebnik dlya stud. uchrezhdenij sredn. prof. obrazovaniya / V.M. Borovkov, A.A. Kalyutik, V.V. Sergeev. – 2-e izd., ispr. - M. : Izdatel`skij centr «Akademiya», 2013. -192 s.

3. Teplotexnika [Tekst]: uchebnik dlya studentov vy`sshix uchebny`x zavedenij, obuchayushhixsya po napravleniyu podgotovki vy`sshego obrazovaniya "Agroinzheneriya" / S. P. Rudobashta. - Izd. 2-e, dop. - Moskva: Pero, 2015. - 671 s

4. Sushilki dlya ovoshhej i fruktov: katalog [E`lektronny`j resurs]. URL: https://market.yatdex.ru/search?text=katalog%20sushilki%20dlya%20ovoshhej%20i%20fruktov&lr=213&clid=830&utm_medium=cpc&cpa=0&onstock=0&local-offers-first=05.

5. Kuz`michev A.V., Tixomirov D.A., Ximenko A.V., Lamonov N.G., Trunov S.S. Vozmozhny`e napravleniya v sovershenstvovanii malogabaritny`x by`tovy`x sushil`ny`x ustanovok // E`lektrotexnologii i e`lektro¬oborudovanie v APK. 2021 T. 68 N3(44). S. 9-14.

6. Dmitry A. Tikhomirov, Stanislav S. Trunov, Aleksey V. Kuzmichev, Sergey A. Rastimeshin, Olga V. Shepovalova Energy-efficient thermoelectric unit for microclimate control on cattle breeding premises // Energy Reports. 2020. Vol. 6S6, pp. 293-305.

7. Venkatesan K., Venkataramanan M. Experimental and simulation studies on thermoelectric cooler: A performance study approach // International journal of thermophysics.-2020.-Vol. 41.- Issue: 4.- Article Number: 38. DOI: 10.1007/s10765-020-2613-2.

8. Kirsanov V.V., Kravchenko V.N., Filonov R.F. Primenenie termoe`lektricheskix modulej v pasterizacionno-oxladitel`ny`x ustanovkax dlya obrabotki zhidkix pishhevy`x produktov: monografiya. -M.: FGOU VPO MGAU, 2011. – 88 s.

9. Tixomirov D.A., Ximenko A.V., Kuz`michev A.V. Napol`ny`j obogrev porosyat s primeneniem termoe`lektricheskogo teplovogo nasosa // Texnika i oborudovanie dlya sela. 2021. № 9 (291). S. 28-32.

10. Patel, Viral K.; Gluesenkamp, Kyle R.; Goodman, Dakota; et al. Experimental evaluation and thermodynamic system modeling of thermoelectric heat pump clothes // Applied energy.-2018.- Volume: 217.- Pages: 221-232.

11. E`nergosberezhenie v teploe`nergetike i teplotexnologiyax: ucheb. posobie. - Izd. 3-e ispr.- / SPb GTU RP. SPb., 2012 -136 s.

12. Fizicheskoe modelirovanie processa sushki s primeneniem termoe`lektricheskogo teplovogo nasosa / D. A. Tixomirov, I. S. Yashin, A. V. Ximenko, A. V. Kuz`michev // Texnika i oborudovanie dlya sela. – 2023. – № 1(307). – S. 40-45. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-1-40-45. – EDN INBMYQ.

И.С. Яшин, аспирант, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
Тел. 8(977)8662013 e-mail: yailya_0310@mail.ru

PHYSICAL MODELING OF A THERMOELECTRIC DRYING PLANT BASED ON PELTIER THERMOELECTRIC MODULES

Yashin I.S.

FEDERAL SCIENTIFIC AGROENGINEERING CENTER VIM

Abstract. The article implements a physical model of a thermoelectric drying plant based on Peltier thermoelectric modules operating in the heat pump mode with recovery and utilization of the heat of the spent drying agent during the drying process. The report describes the relevance of the drying process and the purpose of the study. The materials and methods describe the characteristics of convective drying plants, the main drying parameters, traditional methods of intensifying the drying process, and an assessment of the use of thermoelectric modules and assemblies based on Peltier elements. The results and their analysis present a functional diagram of a thermoelectric drying plant, a thermoelectric assembly based on Peltier elements, as well as a physical model of a thermoelectric drying plant. The drying process was carried out, presented: graphs of temperature changes at characteristic points of the installation from time to time, changes in relative humidity from time to time, technical characteristics of the physical model of the drying unit, as well as the mass of apples, before and after drying, calculating the amount of evaporated moisture. The disadvantages of the well-known commercially available convective drying plants are the discharge of heat received from an electric heater together with moist air into the surrounding space. Thus, the physical model of a thermoelectric drying plant reduces the cost of electricity for the drying process by using part of the heat of the drying agent removed during convective drying to 20% of the total consumption of the installation and provides a more uniform drying process of the product due to the presence of side air channels and more efficient organization of air movement in the working chamber, which is confirmed by the results of the tests, it also allows you to reduce the installed capacity of the heater compared to traditional commercially available small-sized installations.

Keywords: thermoelectric drying plant, energy saving, Peltier element, heat pump, convective drying, dried fruits, vegetables, fruits.

I.S. Yashin, Postgraduate student Federal Scientific Agroengineering Center VIM
e-mail: yailya_0310@mail.ru

УДК 621.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ДАННЫХ ПО ОТКЛЮЧЕНИЯМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

К.А. Шатохин[1], А.В. Виноградов[1,2]

[1]ФГБОУ ВО Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина
[2]ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

Аннотация. *Процессы электроснабжения характеризуются большими потоками данных о параметрах режимов работы электрических сетей, потреблении электроэнергии, показателях качества электроэнергии, надёжности и многих других. Большая часть этих данных может быть использована для дополнительной обработки, что позволит формировать прогнозы развития систем электроснабжения, оценивать их состояние, разрабатывать мероприятия по повышению надёжности электроснабжения, качества электроэнергии. Постоянный рост уровня цифровизации требует новых методов и инструментов анализа, т.к. традиционные не всегда учитывают специфику цифровых сигналов в должном объеме. Проведен анализ возможности использования статистических методов обработки данных для анализа количества отключений в электрических сетях. Проиллюстрирована последовательность обработки данных, для чего использованы основополагающие методы оценивания с учетом особенностей данных по отключениям. Проведено тестирование полученных результатов. С применением языка программирования C# и платформы .Net спроектировано программное средство анализа данных по отключениям в электрических сетях, приведены результаты применения разработанного программного средства на примере обработки данных по отключениям в электрических сетях 35 кВ.*

Ключевые слова: *электроснабжение сельских потребителей, отключения в электрических сетях, обработка данных, статистика, методы оценки, C# и .Net.*

Введение.

Функционирование электрических сетей характеризуется различными данными, касающимися надёжности элементов сетей [4, 7, 8], параметров режимов работы сетей и многих других. Все они могут быть использованы для дополнительной обработки с целью ускорения принятия решений, прогнозов развития сети, разработки способов и средств повышения эффективности сетей и процессов электроснабжения потребителей. При оснащении сетей средствами мониторинга обслуживающие организации получают большой объём данных, которые необходимо эффективно обрабатывать. Это требует выбора рациональных методов обработки, создания инструментов, в первую очередь, программных, для анализа данных и выработки решений.

Целью исследования является оценка возможности использования методов оценки статистической информации для обработки данных по отключениям электроэнергии в электрических сетях 35 кВ.

Материалы и методы. Прежде чем приступить к исследованию данных и описанию работы программного анализатора, необходимо разделить статистическую обработку, которая является частью процесса математического моделирования, на две составляющие:

описательную и аналитическую.

Описательная часть включает в себя представление и описание результатов исследования - эта часть работы имеет большое значение, поскольку все последующие выводы будут основываться именно на ней. Данные, которые подвергаются исследованию, можно разделить на количественные и качественные. Если исследуется информация об обработке данных по электроснабжению, то все данные будут количественными. Это значит, что они будут иметь натуральное обозначение без использования кодировки.

В качестве математической модели процесса рассматривается уравнение, которое связывает функцию отклика с влияющими на неё факторами - это уравнение называется уравнением регрессии. Обычно такое уравнение представляется в виде следующего полинома:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \cdots + b_iX_i + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + \cdots + b_{ij}X_iX_j + b_{11}X_iX_j + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + \ldots + b_{ij}X_j^2, \quad (1)$$

где y – отклик функции (исследуемое значение), b_o - свободный коэффициент уравнения регрессии, X_i – факторы, влияющие на отклик уравнения регрессии, b_i - линейные коэффициенты уравнения регрессии.

Описываемая модель будет строится путем факторного эксперимента — это метод исследования, при котором одновременно изучается влияние нескольких независимых переменных (факторов) на зависимую переменную. В электроэнергетике факторный эксперимент может быть использован для анализа и оптимизации работы электрических сетей, систем электроснабжения и других объектов электроэнергетики.

В ходе исследования на примере анализа данных по отключениям сетей 35 кВ составлена математическая модель, продемонстрированы методики определения относительной значимости влияния факторов на процессы с последующей постановкой уравнения регрессии, определены значимость и адекватность уравнения регрессии.

На практике данные могут быть получены из справочных сведений по электроэнергетике, литературных данных, например [3,5,7,8], программ развития энергосистемы [9,11].

Ниже рассмотрен пример данных по количеству аварийных отключений в электрических сетях 35 кВ одного из регионов, в котором можно проследить уменьшение количества отключений, за исключением 2021 года, пришедшегося на восстановление индустриализации после эпидемии Covid19 (таблица 1). Суммарная протяженность рассматриваемых ВЛ, l_{Σ}, составляет 1870 км, а количество линий n, 118 ед.

Таблица 1 – Данные по количеству аварийных отключений в электрических сетях 35 кВ

Номинальное напряжение, Uном, кВ	Количество аварийных отключений, $n_{откл}$, год$^{-1}$				
35 кВ	2018	2019	2020	2021	Среднее количество, отключений, $n_{ср.откл.}$, год$^{-1}$
	15	13	5	10	11

Причинами отключений в сетях 35 кВ могут быть проявления климатических условий (ветер, гололёд и т.п.), воздействие сторонних лиц и другие, которые носят сезонный характер [1]. На количество отключений в сетях 35 кВ влияет ряд факторов, среди которых, в первую очередь, можно выделить типы и сечения проводов, типы и характеристики опор,

что характерно не только для сетей 35 кВ, но и других классов напряжения [2].

В сетях с напряжением 35 кВ чаще всего применяются провода типа АС-70. Протяжённость линий с использованием таких проводов в исследуемых сетях составляет 1360 км, что соответствует доле в 73,2%. Однако этот показатель указывает на несоответствие требованиям к минимальному сечению для сетей 35 кВ согласно нормам ПУЭ 7 [8, 10]. Рассматривая техническое состояние сетей 35 кВ (диаграмма 1) можно увидеть, что линии с очень хорошим техническим состоянием занимают 40%, а с хорошим состоянием 48% [8]. Все перечисленные показатели могут быть предопределяющими и предоставлять, объяснять сведения при анализе.

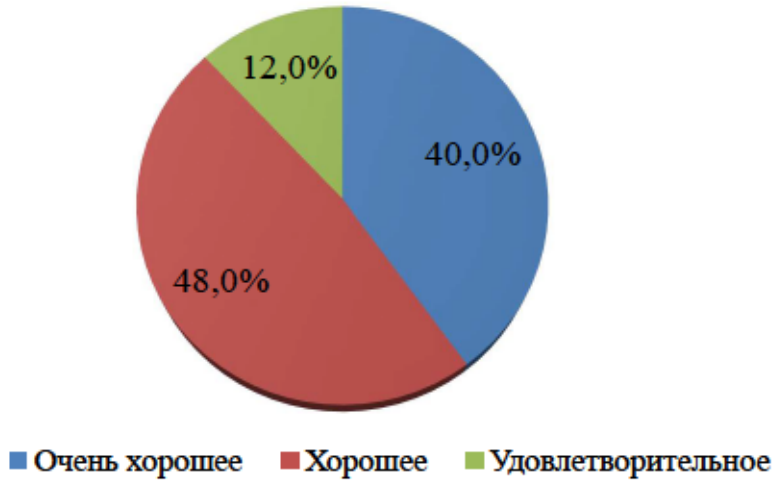


Диаграмма 1 – Техническое состояние сетей 35 кВ [8]

Приступая к анализу, необходимо определить соответствие данных нормальному закону распределения и возможности их использования при моделировании. Значения факторов используются типовые для факторного эксперимента, с учетом дальнейшего определения значимости влияния каждого из них. Например, для прогнозирования информации об успешности устранения возникшей неполадки (%) за значение фактора x_1 может быть взято процентное значение удовлетворительных по состоянию от общего количества воздушных линий (%.), x_2 – длительность устранения неполадки (t, ч.), а x_3 – количество задействованного персонала [4]. Таким образом, при анализе учитываются все значения фактора в конкретном диапазоне значений: для x_1 – от 15 до 30, x_2 – от 0,5 до 1, x_3 – от 5 до 10. Диапазон выбран как типовой на основе диспетчерских журналов. Эти ограничения задаются перед определением исследуемой функции.

Определившись с исследуемым объектом (т.е. откликом) необходимо ввести проверку обрабатываемых данных на нормальность распределения. Стандартное нормальное распределение – это нормальное распределение с $\mu = 0$, $\sigma = 1$, оно базируется на уравнении [12]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} = e^{-\frac{1}{2}\left(2\ln\sigma+\ln 2\pi+\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right)} = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma^2}-2\frac{\mu x}{\sigma^2}+2\ln\sigma+\ln 2\pi+\frac{\mu^2}{\sigma^2}\right)} \quad (2)$$

где σ - стандартное отклонение, μ - математическое ожидание, x - случайная величина.

Далее необходимо проверить однородности дисперсий (разброс значений) нескольких выборок [13]. Такая проверка называется G-критерием Кохрена - это статистический тест, который помогает определить, являются ли различия между дисперсиями выборок случайными или значимым (выяснить, есть ли необходимость использовать данные для

последующим расчетов). Статистический тест (критерий) используется для определения принадлежности изучаемых данных нормальному стандартному распределению:

$$G < G_{1-p}(m,\ f), \quad (3)$$

где $G_{1-p}(m,\ f)$ – значение G от 0 до 1;

m – число обрабатываемых выражений;

f – число степеней свободы ($f = n - 1$).

После того как было установлено, что дисперсии в выборках данных однородны, необходимо определить, равны ли средние значения этих выборок. Для этого используется статистический критерий Стьюдента, который позволяет оценить значимость различий между средними значениями двух выборок и принять решение о том, можно ли считать эти средние равными:

$$T = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{m_1 + m_2}}, \quad (4)$$

где m_1 и $m_2 = \frac{s^2}{\sqrt{n}}$ – ошибки репрезентативности первой и второй выборки соответственно;

X – случайная величина с гауссовским распределением.

Результаты и обсуждение.

С целью автоматизации расчётов разработан программный анализатор. Учет первичных данных и величин их ограничений на примере рассмотренных электрических сетей 35 кВ в спроектированном программном анализаторе представлен на рисунке 1. Пользователем заносятся данные о количестве опытов, указывается диапазоны факторных значений и является ли отклик скалярной величиной:

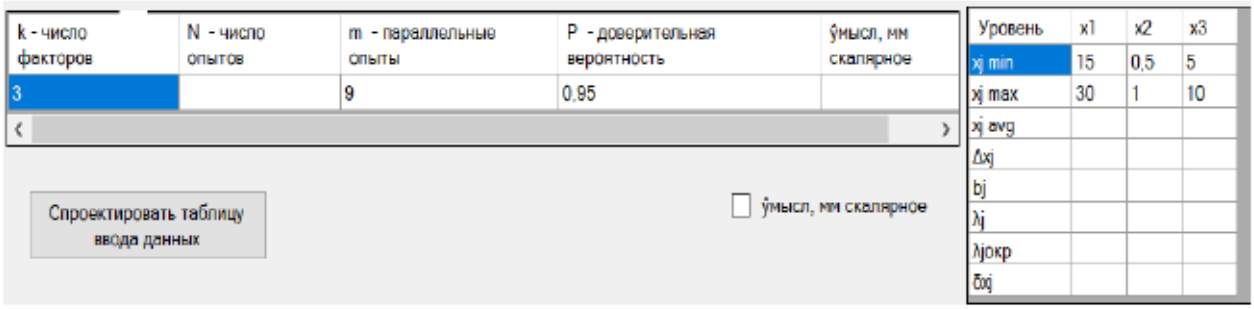


Рисунок 1 - Учет первичных данных и величин их ограничений для сетей 35 кВ

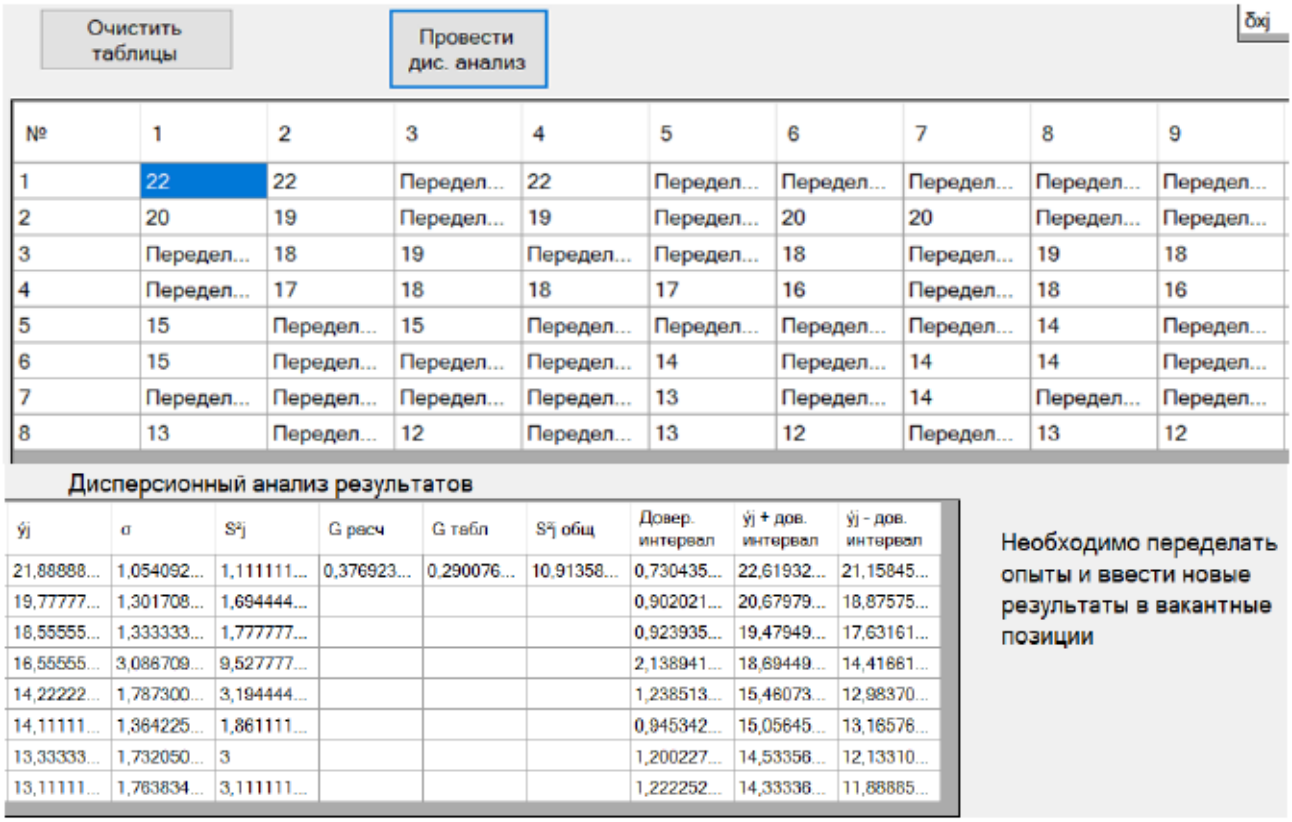
В таблице: x1, x2, x3 – факторы; Xj min и xj max – минимальное и максимальное значения факторов соответственно; Xj avg – среднее значение фактора в заданной области;

Δxj – значение разницы xj max и xj avg; bj – значимый коэффициент; λj – произведение значимого коэффициента и Δxj; λjокр – статистическое округление; σxj – частное от λjокр и bj, определяется как шаг крутого восхождения.

При использовании программы от пользователя требуется ввод только числа параллельных опытов и диапазонов факторов (xj min и xj max), все остальные значения статичны, а в случае с значениями, использующими bj - вычисляются результате работы анализатора.

В полученную пустую таблицу заносятся соответствующие указанным ограничениям данные. Если в ячейках есть некорректные или неподходящие для статистической обработки результаты, которые отличаются от средних значений или содержат символьные обозначения, то система выдаёт предупреждения о необходимости повторного проведения наблюдений и контрольных измерений в соответствии с требованиями [9] (рисунок 2). Такое может произойти в случае введения параметров для сети другого номинала – 110 кВ вместо

35 кВ, полного несоответствия границ заданных параметров или же самих параметров.



№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	22	22	Передел...	22	Передел...	Передел...	Передел...	Передел...	Передел...
2	20	19	Передел...	19	Передел...	20	20	Передел...	Передел...
3	Передел...	18	19	Передел...	Передел...	18	Передел...	19	18
4	Передел...	17	18	18	17	16	Передел...	18	16
5	15	Передел...	15	Передел...	Передел...	Передел...	Передел...	14	Передел...
6	15	Передел...	Передел...	Передел...	14	Передел...	14	14	Передел...
7	Передел...	Передел...	Передел...	Передел...	13	Передел...	14	Передел...	Передел...
8	13	Передел...	12	Передел...	13	12	Передел...	13	12

ȳj	σ	S²j	G расч	G табл	S²j общ	Довер. интервал	ȳj + дов. интервал	ȳj - дов. интервал
21,88888...	1,054092...	1,111111...	0,376923...	0,290076...	10,91358...	0,730435...	22,61932...	21,15845...
19,77777...	1,301708...	1,694444...				0,902021...	20,67979...	18,87575...
18,55555...	1,333333...	1,777777...				0,923935...	19,47949...	17,63161...
16,55555...	3,086709...	9,527777...				2,138941...	18,69449...	14,41661...
14,22222...	1,787300...	3,194444...				1,238513...	15,46073...	12,98370...
14,11111...	1,364225...	1,861111...				0,945342...	15,05645...	13,16576...
13,33333...	1,732050...	3				1,200227...	14,53356...	12,13310...
13,11111...	1,763834...	3,111111...				1,222252...	14,33336...	11,88885...

Рисунок 2 – Обработка заданных параметров и вывод несоответствий

В таблице: ȳj – среднее арифметическое №-ого опыта; σ – стандартное отклонение; S^2j – дисперсия №-ого опыта; G расч – расчетное значение (опытных данных) G-критерия Кохрена; G табл - табличное значение G-критерия Кохрена; S^2j общ – общая дисперсия; Довер. интервал - доверительный интервал для среднего генеральной совокупности с нормальным распределением; ȳj + дов. интервал, ȳj - дов. интервал – сумма и разница среднего арифметического №-ого опыта с доверительным интервалом соответственно.

Если полученные после дисперсионного анализа данные подчиняются нормальному распределению, то расчёт коэффициентов регрессии и оценка их значимости происходят автоматически. Коэффициенты, которые признаются значимыми, включаются в модель и формируют дополнительные столбцы в таблице значений исследуемых факторов (рисунок 3):

Коэффици	Значения коэфф-в	+/-	S²b	Sb	Ғ2	t табл	Δbj
b0	16,6944...	+	1,25121...	1,11857...	64	1,66901...	1,86691...
b1	-0,6666...	-					
b2	-1,0833...	-					
b3	-2,6388...	+					
b12	-0,1666...	-					
b13	0,16666...	-					
b23	0,30555...	-					
b123	-0,1666...	-					

Уровень	x1	x2	x3	X3
xj min	15	0,5	5	5
xj max	30	1	10	10
xj avg	22,5	0,75	7,5	7,5
Δxj	7,5	0,25	2,5	2,5
bj				-2,6...
λj				-6,5...
λjокр	0	0	0	-5,2...
δxj				2

Рисунок 3 – Определение коэффициентов регрессии с оценкой их значимости

В таблице: +/- – соответствие значимости коэффициента уравнению; S^2b – дисперсия b-ого коэффициента; Sb – стандартное отклонение b-ого коэффициента; f2 – вычисление степени свободы; t табл – табличное значение Т-критерия; Δbj – произведение t табл и Sb, необходимо для определения значимости коэффициента.

Выводимые выше коэффициенты оцениваются на значимость путем соотнесения фактора (или совокупного влияния факторов, типа X_{12} ...$X_{123)}$ и соответствующего ему коэффициента.

На основе данных из таблицы расчета коэффициентов создаётся предварительная математическая модель (рисунок 4):

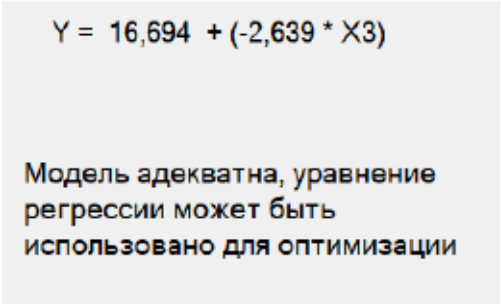


Рисунок 4 – Оценка адекватности математической модели

Основываясь на выведенном уравнении регрессии можно определять при проведении оценивания факторы, оказывающие наибольшее влияние на исследуемый процесс. Т.е., в данном примере фактор X_3 (количество задействованного персонала), сравнительно факторов X_1 и X_2, имеет большую статистическую значимость, т.к. значение этого фактора имеет статистически значимое влияние. Обосновать такое явление можно работой дополнительного персонала, привлекаемого к устранению неполадок в случаях длительных простоев (т.е. увеличением значения фактора). Также большое значение имеет распространенность сетей номиналом 35 кВ и высокие показатели технического состояния сетей – 88%, что может определить влияние фактора X_1, т.к. в последних этапах анализа произведение величины 0,9 и обрабатываемых значений дает результат близкий к единице.

Выводы

На примере анализа данных по отключениям электрических сетей 35 кВ показана методика определения относительной значимости влияния факторов на процессы электроснабжения с последующим составлением уравнения регрессии, где нулевой b_0 и b_3 коэффициенты описывают влияние статистически важного фактора – X_3. Определены значимость и адекватность уравнения. Проиллюстрированы и расписаны этапы проверки данных, определена значимость факторов и их влияние на нормальность распределения.

Низкий процент (12%) удовлетворительных по состоянию ВЛ 35 кВ и небольшая распространенность дают положительные результаты при обработке, т.к. соответствие показателей стандартам делает график Гауссовского распределения близким к норме. Описываемую выше методику следует особенно использовать при проектировании энергообъектов – учет опыта эксплуатации дает основополагающие данные, который может повлиять на функционирование потенциального объекта. Такой метод имеет важное практическое значение, т.к. позволяет на основе модельных значений строить математическую модель любого процесса. Т.е., имея ограниченные ресурсы, возможно вычислить наиболее оптимальные параметры и определиться с их влиянием на результат.

Спроектирован программный анализатор для получения математической модели на примере данных по отключениям электрических сетей 35 кВ, проводящее регрессионный, корреляционный и дисперсионный анализы. Программное обеспечение способствует поиску наиболее значимых параметров исследуемых процессов, что может быть полезно при оптимизации работы электроустановок номиналом 0,4 - 110 кВ или при анализе причин возникновения проблем с электроснабжением.

Планируется проведение дальнейших исследований по анализу данных, характеризующих работу электрических сетей с номиналами 0,4 кВ - 110 кВ с учетом сезонности их возникновения в качестве факторной нагрузки.

Список использованных источников

1. Белов С. И. Прогнозирование внезапных отключений в электрических сетях 35-220 кВ на ближайший год / С. И. Белов, П. С. Петров // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2018. - №6
2. Большев В.Е. Анализ влияния параметров ЛЭП 110 кВ на вероятность их отказов / В.Е. Большев, А.В. Виноградова // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2024, 17(6). С. 758–776. EDN: FFDERV
3. Виноградов А. В., Лансберг А. А., Виноградова А. В. Анализ технического состояния и срока нахождения в эксплуатации воздушных линий электропередачи 35–110 кВ Орловской области // Вестник МГТУ. 2022. Т. 25, № 4. С. 324-333. DOI: 10.21443/1560-9278-2022-25-4-324-333
4. Виноградов А.В., Лансберг А.А., Виноградова А.В. Определение современных показателей надежности воздушных линий электропередачи 0,4-110 кВ // Агроинженерия. 2023. Т. 25. № 1. С. 77-85].
5. Виноградов А.В., Лансберг А.А., Сорокин Н.С. Характеристика электросетевых компаний по количеству и протяженности линий электропередачи, мощности подстанций // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69. N2(47). С. 31-41. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-2-31-41. EDN DSUSOU.]
6. Виноградов А.В. Определение современных показателей надежности воздушных линий электропередачи 0,4-110 кВ / А. В. Виноградов, А. А. Лансберг, А. В. Виноградова // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 77-85. – DOI 10.26897/2687-1149-2023-1-77-85. – EDN SZTQIR.
7. Виноградова А.В., Виноградов А.В., Букреев А.В. Удельные показатели надежности электрических сетей 0,4 кВ // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 6. С. 77-85. https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-77-85
8. Виноградова А. В. Энергосистема Орловской области: обзор статистической информации / А. В. Виноградова, А. А. Лансберг, А. В. Виноградов. – Орёл : ООО Полиграфическая фирма «Картуш», 2023. – 360 с. – EDN FPQAEF.
9. Приказ Министерства энергетики РФ от 28 февраля 2023 г. N 108 "Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 2023-2028 годы" URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406404497/
10. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). (Издание седьмое) URL: https://docs.cntd.ru/document/1200030216?section=text
11. Схема и программа развития электроэнергетических систем России на 2023–2028 годы - Орловская область – URL: https://docs.cntd.ru/document/406127476
12. Иванов Б. Н. Теория вероятностей и математическая статистика : учебное

пособие / Б. Н. Иванов. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 224 с

13. Микрюкова О. И. [и др.]. Непараметрические критерии проверки статистических гипотез: учебное пособие / — Вологда : ВоГУ, 2017. — 63 с.

Bibliography:

1. Belov S. I. Forecasting of sudden outages in electric networks of 35-220 kV for the next year / S. I. Belov, P. S. Petrov // Electrical equipment: operation and repair. – 2018. - No.6

2. Bolshev V.E. Analysis of the influence of 110 kV transmission line parameters on the probability of their failures / V.E. Bolshev, A.V. Vinogradova // Journal of the Siberian Federal University. un-ta. Engineering and Technology, 2024, 17(6). pp. 758-776. EDN: FFDERV

3. Vinogradov A.V., Lansberg A. A., Vinogradova A.V. Analysis of the technical condition and service life of 35-110 kV overhead power transmission lines in the Oryol region // Bulletin of the Moscow State Technical University. 2022. Vol. 25, No. 4. C. 324-333. DOI: 10.21443/1560-9278-2022-25-4-324-333

4. Vinogradov A.V., Lansberg A.A., Vinogradova A.V. Determination of modern reliability indicators of overhead power transmission lines 0.4-110 kV // Agroengineering. 2023. Vol. 25. No. 1. pp. 77-85].

5. Vinogradov A.V., Lansberg A.A., Sorokin N.S. Characteristics of electric grid companies by the number and length of power transmission lines, substation capacity // Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex. 2022. Vol. 69. N2(47). pp. 31-41. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-2-31-41. EDN DSUSOU.

6. Vinogradov A.V. Determination of modern reliability indicators of overhead power transmission lines of 0.4-110 kV / A.V. Vinogradov, A. A. Lansberg, A.V. Vinogradova // Agroengineering. - 2023. – Vol. 25, No. 1. – pp. 77-85. – DOI 10.26897/2687-1149-2023-1-77-85. – EDN SZTQIR.

7. Vinogradova A.V., Vinogradov A.V., Bukreev A.V. Specific reliability indicators of 0.4 kV electric networks // Agroengineering. 2024. Vol. 26, No. 6. pp. 77-85. https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-77-85

8. Vinogradova A.V. The energy system of the Orel region: a review of statistical information / A.V. Vinogradova, A. A. Lansberg, A.V. Vinogradov. – Eagle : LLC Printing company "Cartouche", 2023. – 360 p. – EDN FPQAEF.

9. Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation No. 108 dated February 28, 2023 "On approval of the scheme and program for the development of Russian electric power systems for 2023-2028" URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406404497 /

10. Rules for the installation of electrical installations (PUE). (Seventh edition) URL: https://docs.cntd.ru/document/1200030216?section=text

11. Scheme and program for the development of Russian electric power systems for 2023-2028 - Orel region – URL: https://docs.cntd.ru/document/406127476

12. Ivanov B. N. Probability theory and mathematical statistics: a textbook / B. N. Ivanov. — 2nd ed., ispr. and add. — St. Petersburg : Lan, 2022. — 224 s

13. Mikryukova O. I. [et al.].Nonparametric criteria for testing statistical hypotheses : textbook / — Vologda : VSU, 2017. — 63 p.

К.А. Шатохин, студент ФГБОУ ВО Орловский ГАУ,
тел. 89803648494, e-mail.ru: k.a.shatokhin@mail.ru
А.В. Виноградов, доктор технических наук, доцент, профессор ФГБОУ ВО Орловский ГАУ,
главный научный сотрудник ФГБНУ ФНАЦ ВИМ,
тел. 8(920)2879024, e-mail: winaleksandr@gmail.com

THE USE OF METHODS FOR EVALUATING STATISTICAL INFORMATION ON DATA ON POWER OUTAGES IN THE OREL REGION

K.A. Shatokhin[1], A.V. Vinogradov[1,2]

[1]FGBOU VO Oryol GAU named after N.V. Parakhin
[2]FGBNU FNATS VIM

Annotation. Power supply processes are characterized by large streams of data on the parameters of the operating modes of electric networks, electricity consumption, indicators of electricity quality, reliability and many others. Most of this data can be used for additional processing, which will make it possible to make forecasts for the development of power supply systems, assess their condition, and develop measures to improve the reliability of power supply and the quality of electricity. The constant increase in the level of digitalization requires new methods and analysis tools, because traditional ones do not always take into account the specifics of digital signals in due volume. The analysis of the possibility of using data on outages in electric power networks for processing by methods of evaluating statistical information is carried out. The fundamental evaluation methods are investigated, taking into account the characteristics of the power supply data, followed by testing of the obtained data. Using the example of the C# programming language and the platform.Net has designed a software tool for analyzing data on power outages, the results of the analysis are given on the example of 35 kV networks.

Key words: data processing, power outage, statistics, estimation methods, C# and .Net.

K.A. Shatokhin, student FSBEE HE Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin, tel. 89803648494, e-mail.ru: k.a.shatokhin@mail.ru
A.V. Vinogradov, Doctor of Technical Sciences PhD, Associate Professor, Chief Researcher of the FGBI FNC VIM, Professor FSBEE HE Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin tel. 8(920)2879024, e-mail: winaleksandr@gmail.com

ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 621.43.00: 681.518

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ. ОБОСНОВАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

О.Ф. Савченко, В.В. Альт, А.А. Солошенко, О.В. Елкин, С.П. Исакова, Р.А. Корякин
Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Аннотация. *Показана целесообразность использования информационного моделирования с применением современных цифровых технологий для разработки инфраструктуры системы автоматизации диагностирования и управления техническим состоянием тракторных двигателей, определены основные информационные потоки и их взаимодействие. Обосновано применение развитой облачной инфраструктуры для расчета параметров по массивам данных текущего состояния тракторных двигателей, поступающих в «реальном времени» с бортовой системы диагностики и управления, анализе данных и знаний, выработке альтернативных решений, что позволяет существенно упростить архитектуру технических и программных средств, исключить мощный парк серверов непосредственно в сельхозпредприятии. Для реализации системы предложен предварительный предметно-ориентированный набор инструментальных программных средств, а также решений при создании цифровой технологии определения мощности двигателя с использование диагностического сигнала ускорения коленчатого вала тракторных двигателей. Дальнейшие шаги по разработке системы включают углублённое исследование и тестирование бортовой системы диагностики и управления, интеграцию и оптимизацию удалённой облачной инфраструктуры, насыщение системы готовыми техническими решениями по разработке и обучению математических моделей для оперативной оценки эксплуатационных параметров тракторных двигателей, а также созданию интуитивно понятного интерфейса пользователя. Проводимые исследования имеют, на наш взгляд, перспективу развития в направлении создания и совершенствования программно-аппаратных средств для технического сервиса машинно-тракторного парка, что необходимо для повышения эффективности и конкурентоспособности растениеводческого сельхозпредприятия.*

Ключевые слова: *тракторный двигатель, эксплуатационные параметры, бортовая система диагностирования, облачные технологии, информационные потоки, программный комплекс.*

Введение. *Постановка проблемы.* Определяющими факторами эффективности сельхозпредприятия являются компетентное планирование комплекса агротехнологий, основанное на привлечении и анализе многосторонней и достоверной информации в данной предметной области; надлежащее выполнение запланированных технологических операций на каждом этапе производства и оперативное управление на основе оценки складывающейся производственной ситуации. Процесс принятия агротехнологических решений происходит

путем выбора технологических операций предпочтительно на альтернативной основе, эффективное выполнение которых в значительной мере определяется степенью полномасштабного достоверного формирования *информационного пространства* данной предметной области и обеспечения его функционирования [15, 22, 23].

Очевидно, что информационное пространство практической деятельности конкретного хозяйства должно целенаправленно формироваться на основе имеющихся информационных ресурсов всех уровней и обеспечивать взаимосвязанное решение основных технологических и управленческих задач. Среди них: выбор структуры и объёмов производства растениеводческой продукции; определение схемы севооборотов и подбора соответствующих культур и сортов с оптимальным размещением их по полям хозяйства; проектирование пакета технологий, адаптированных к природным и хозяйственным условиям сельхозпредприятия. Кроме того, важна подготовка мероприятий для оценки их дифференциации по уровням интенсификации производства в зависимости от ресурсного потенциала. Немаловажными являются также данные и знания по формированию и обеспечению функционирования машинно-тракторного парка (МТП) [5].

На основе методического подхода, основанного на реализации практической схемы действий сельхозтоваропроизводителя при планировании агротехнологических операций и формировании конкретных технологических карт, а также с использованием разработок по автоматизированному выбору агротехнологий и тракторного парка сельхозпредприятия авторами была предложена перспективная, на наш взгляд, модель формирования информационного пространства сельхозтоваропроизводителя для поддержки принятия агротехнологических решений. Модель включает значимые информационные составляющие рассматриваемого процесса и их взаимодействие; она состоит из блоков сбора и преобразования исходной информации, формирования баз данных и баз знаний, оперативного мониторинга текущей информации, анализа данных и формирования альтернативных решений, функционально связанных с ядром единой информационно-технологической платформы предприятия. Создание баз знаний осуществляется с применением моделей представления знаний. Для принятия решений привлекается соответствующий набор математических и семантических моделей и алгоритмов [2, 19].

Одной из основных составляющих информационного пространства при формировании и выполнении агротехнологий являются данные и знания по формированию и обеспечению функционирования машинно-тракторного парка (МТП). Необходимо определить оптимальный состав машинно-тракторного парка, установить наиболее целесообразное соотношение между отдельными типами и марками тракторов и сельскохозяйственных машин и их количеством в условиях конкретного хозяйства. При этом проблема обеспечения работоспособности техники всегда актуальна и является одним из важнейших приоритетов сельскохозяйственного производства, необходимых для обеспечения конкурентоспособности сельскохозяйственного производства. В немалой степени это зависит от наличия в хозяйствах эффективных систем диагностирования тракторов и их основного энергетического средства двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Для поддержки устойчивого работоспособного состояния двигателей в нормальном экономичном режиме очевидна необходимость разработки и практической реализации методов и средств оперативной оценки эксплуатационных параметров ДВС, что позволит принимать своевременные управляющие воздействия.

Анализ решения проблемы. Исследования, проводимые ранее авторами в этом направлении, позволили разработать диагностические информационные измерительные

системы анализа быстропротекающих рабочих процессов ДВС в сочетании с типовыми экспертными системами – измерительные экспертные системы (ИЭС), создать автоматизированные технологические комплексы экспертизы ДВС, показавшие свою результативность [1, 9, 18, 20].

В настоящее время цифровой трансформации сельскохозяйственного производства одним из основных направлений совершенствования эксплуатации машинно-тракторного парка агропромышленного комплекса (МТП) и поддержания техники в работоспособном состоянии получает онлайн-мониторинг технического состояния техники и цифровизация процессов диагностирования. Цифровая диагностика реализовывается тремя путями: встроенное диагностирование – практически все современные автоматизированные системы имеют системы самодиагностики, компьютерное диагностирование и онлайн-диагностирование, причем в самое ближайшее время ведущее место займет дистанционная онлайн-диагностика с применением обычных серверов облачных технологий вместо компьютерной диагностики в центрах диагностики [11,14].

Важное непреходящее значение для цифровизации диагностирования тракторных двигателей имеют исследования, направленные на разработку и совершенствование методов и средств определения эксплуатационных параметров двигателей, использования различных физических процессов, характеризующих техническое состояние двигателя. Среди них, например, тестовый метод контроля технического состояния цилиндропоршневой группы на основе анализа чувствительности выходного параметра – массового расхода воздуха, способ определения эффективной мощности по величине реакций опор двигателя внутреннего сгорания при работе в режиме свободного разгона, диагностирование фаз газораспределения [7,8,16]. Отличительной чертой такого типа исследований является все расширяющееся применение для сбора, анализа и обработки физических процессов современных интеллектуальных и облачных технологий [12, 13,17,21].

Очевидно, что для цифрового диагностирования и управления техническим состоянием тракторных двигателей необходимо привлекать всю совокупность информации сопровождающую этот технологический процесс (информационные потоки данных и знаний, их взаимодействие) о значениях его эксплуатационных параметров, в том числе и прогнозируемых, отклонениях от нормальных значений, вырабатываемых управляющих сигналах и командах. Такой подход предопределяет разработку адекватной инфраструктуры системы автоматизации диагностирования и управления техническим состоянием тракторных двигателей, определения функциональных возможностей технических и программных продуктов, применение которых решающим образом влияет на качественные работы тракторных двигателей и соответственно, эффективность деятельности хозяйства, снижает энергозатраты и повышает его конкурентоспособность.

Цель исследований – на основе рассмотрения информационных потоков процесса оценки эксплуатационных параметров тракторных ДВС сформировать инфраструктуру системы автоматизации диагностирования и управления состоянием тракторных двигателей.

Материалы и методы. Исследования выполнены с помощью информационных и аналитических методов, системного подхода, логического и математического анализа материалов. Отмечая большой объем разнообразной информации, имеющийся в этой предметной области, обосновано применение метода информационного моделирования как наиболее адаптивного инструмента анализа для целостного и формализованного описания процесса автоматизированной оценки эксплуатационных параметров тракторных ДВС.

Результаты исследования. На основе анализа взаимодействия информационных

потоков процесса оценки эксплуатационных параметров тракторных ДВС обоснована инфраструктура системы автоматизации диагностирования и управления состоянием тракторных двигателей, схема которой приведена на рисунке 1.

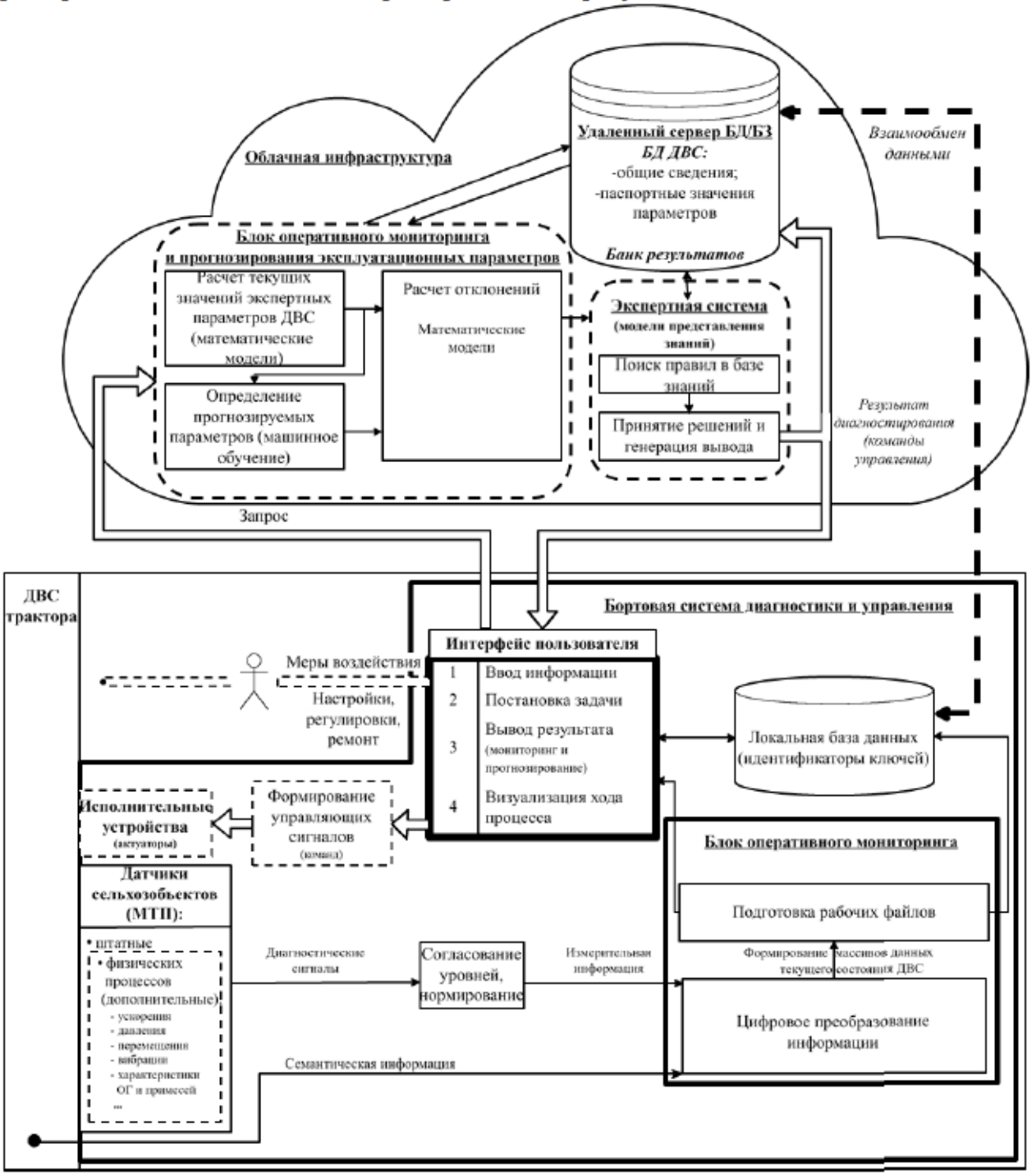


Рисунок 1 - Схема инфраструктуры системы автоматизации диагностики и управления техническим состоянием тракторных двигателей

Определен состав информационных составляющих данной предметной области и их взаимодействие в процессе диагностирования путем мониторинга и прогнозирования эксплуатационных параметров, выявление отклонений их текущих значений от паспортных данных (нормальных значений) и выдачи рекомендаций по мерам воздействия на ДВС. Учитывая необходимость целенаправленной обработки и анализа больших объемов разнообразной информации, сопровождающей эксплуатацию тракторных двигателей в

составе МТА при выполнении полевых работ в растениеводстве, обоснована интеграция передовых цифровых методов математического и семантического анализа, интеллектуальных и облачных технологий. Для получения измерительной информации предусмотрено применение как штатных датчиков, так и дополнительных датчиков физических процессов, характеризующих техническое состояние двигателей. В состав инфраструктуры входит бортовая система диагностики и управления, включающая датчики первичной диагностической информации, блок оперативного мониторинга, локальная база данных (идентификаторы ключей), интерфейс пользователя, а также облачная инфраструктура, включающая удаленный сервер баз данных и знаний, блок оперативного мониторинга и прогнозирования эксплуатационных параметров, экспертная система.

Следует отметить, что отличительной особенностью инфраструктуры является применение наряду с интеллектуальными технологиями (экспертная система, машинное обучение), и облачных технологий для расчета параметров по массивам данных текущего состояния ДВС, поступающих в «реальном времени» с бортовой системы диагностики и управления. Привлечение облачной инфраструктуры, имеющей практически «неограниченные ресурсы и возможности», позволяет существенно упростить архитектуру системы, исключить мощный парк серверов непосредственно в сельхозпредприятии.

Взаимодействие информационных потоков. Блок оперативного мониторинга получает информацию с датчиков ДВС трактора, обрабатывает ее и транслирует на интерфейс пользователя, одновременно сохраняя коды сигналов для доступа к удаленному серверу баз данных. Пользователь взаимодействует с интерфейсом, отправляя запросы к удаленной экспертной системе, которая предоставляет рекомендации. Интерфейс также передает информацию в облачную инфраструктуру, где данные обрабатываются с использованием математических моделей для расчета текущих значений эксплуатационных параметров и машинного обучения для формирования прогнозов (ожидаемых значений параметров) с последующим расчетом их отклонений от нормальных (паспортных) значений, на основании чего экспертная система выдает результаты обработки на интерфейс пользователя в виде предоставления рекомендаций (команд). Исполнительные устройства, при их наличии, получают команды от бортовой системы и выполняют, при необходимости, действия по управлению техническим состоянием (обеспечением нормальных значений эксплуатационных параметров). Предусмотрено и ручное исполнение экспертных рекомендаций по необходимым мерам воздействия (настройки, регулировки ремонт).

Рассмотрим несколько аспектов, связанных с *реализацией предложенной инфраструктуры* системы автоматизации диагностирования и управления техническим состоянием тракторных двигателей, в части *подбора инструментальных программных средств* для выполнения функциональных возможностей системы и применения *диагностических сигналов,* характеризующих техническое состояние тракторных двигателей для оценки эксплуатационных энергетических параметров.

Что касается использования *имеющихся на рынке инструментальных программных средств* при реализации предложенной инфраструктуры системы автоматизации диагностирования и управления состоянием тракторных двигателей, то в *результате предварительного рассмотрения* имеющихся решений [6, 10] наибольший интерес для осуществления ряда функций, необходимых при разработке и последующем использовании системы по назначению, представляют следующие решения (программные средства).

Исследование и тестирование бортовой системы диагностики и управления.

TensorFlow, Keras, PyTorch – библиотеки машинного и глубокого обучения – для

разработки алгоритмов диагностики. *Scikit-learn* – библиотека для Python, которая содержит множество алгоритмов машинного обучения, таких как регрессия, классификация.

Matplotlib, Seaborn – библиотеки для визуализации данных, для отображения результатов диагностики.

Для интеграции системы с существующими бортовыми устройствами и сенсорами: *MQTT, CoAP, XMPP* – протоколы для передачи данных между бортовыми устройствами и облачной инфраструктурой.

REST API – стандартный интерфейс для обмена данными между программами – для интеграции системы с существующими устройствами.

Тестирование системы в различных условиях эксплуатации.

VirtualBox, VMware, Docker –для создания виртуальных сред, которые используются для симуляции различных условий эксплуатации.

Интеграция и оптимизация удалённой облачной инфраструктуры.

AWS, Azure, Google Cloud – облачные платформы – для разработки и оптимизации облачной инфраструктуры. *Kubernetes, Docker Swarm, Docker Compose* – инструменты для управления контейнерами – для оптимизации процессов передачи данных между бортовыми устройствами и облачной инфраструктурой.

Разработка и обучение математических моделей.

R, Python, MATLAB– языки программирования – для разработки и обучения математических моделей. *TensorFlow Probability, PyMC3, Stan* – библиотеки для *Python и R,* которые содержат алгоритмы регрессии и другие методы машинного обучения.

Создание интуитивно понятного интерфейса пользователя.

Bootstrap, Foundation, Bulma – библиотеки стилей для HTML и CSS –для разработки адаптивного дизайна. *React, Vue.js, Angular* библиотеки JavaScript – разработка интерактивных элементов интерфейса, таких как графики и диаграммы.

Material-UI, Bootstrap-Material-Design, Bootstrap-Vue – библиотеки компонентов для *React, Vue.js и Angular*, которые содержат готовые элементы интерфейса, такие как кнопки, меню и другие.

Разработка автоматизированных систем технического обслуживания.

Robot Framework, Selenium, Python – разработка автоматических диагностических систем.

Natural Language Processing (NLP) – разработка систем предиктивного обслуживания, анализ данных с датчиков и предсказывание отказов оборудования.

Интеграция с системами управления предприятием.

REST API, SOAP, GraphQL – разработка интерфейсов между системой автоматизации диагностики и ERP-системами.

Развитие методов обработки больших данных.

Apache Spark, Hadoop, Apache Kafka –анализ данных о состоянии техники.

Безусловно, приведенный анализ программных средств показывает лишь наличие широких практических возможностей даже при разработке специфических функциональных возможностей системы, имеет ориентировочный, но целенаправленный характер и требует более глубокого изучения и отбора при непосредственной реализации системы.

Одним из используемых диагностических сигналов, характеризующих физические процессы тракторного двигателя (в *рамках формирования и насыщения формируемой инфраструктуры* системы), может стать такой информационно-ёмкий сигнал как ускорение коленчатого вала, применение которого возможно для оценки *эксплуатационных*

энергетических параметров тракторных двигателей. Методической основой может стать компьютерная модель динамики тракторного двигателя (ДВС), разработанная с учетом многолетнего опыта разработчиков [3] и имеющая практическое применение. Она учитывает нелинейность и нестационарность отдельных звеньев, влияние изменения множества важнейших параметров отдельных агрегатов и систем и проявление существенных нелинейностей и других отклонений на выходные процессы двигателя в функции времени, углового перемещения, скоростного и нагрузочного режимов. При этом рассчитываются временные, частотные и статистические характеристики процессов, их частные и интегральные показатели.

Угловое ускорение коленчатого вала в стационарном режиме за счет неравномерности вращения коленчатого вала и в режиме свободного разгона (при моменте нагрузки $M_{\text{наг}} = 0$) определяется зависимостью:

$$\varepsilon = \frac{1}{J_{\text{Д}}}\left(M_i - \omega^2 \frac{dJ_{\text{Д}}}{d\varphi} - M_{вп} - M_{наг} \right) = \frac{1}{J_{\text{Д}}}\left(M_i^{\text{к}} + M_i^{\text{г}} - M_{\text{ин}} - M_{\text{вп}} - M_{\text{наг}} \right),$$

где $J_{\text{Д}} = J_{\text{Д}}(\varphi)$ – приведённый момент инерции ДВС и нагрузочных масс (при моменте нагрузки $M_{\text{наг}} = 0$ – это собственный приведенный к коленчатому валу момент инерции ДВС); ω – угловая скорость коленчатого вала (частота вращения $n = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \omega d\varphi$); φ – угол поворота коленчатого вала (ПКВ); $M_i = M_i(\ ,\ ) = M_i^{\text{к}} + M_i^{\text{г}}$ – индикаторный момент двигателя (ψ – положение органа топливоподачи): $M_i^{\text{к}} = \sum_{k=1}^{i_{\text{ц}}} M_{i1(k)}^{\text{к}}$ и $M_i^{\text{г}} = \sum_{k=1}^{i_{\text{ц}}} M_{i1(k)}^{\text{г}}$ – компрессионная и газовая составляющие индикаторного момента; $M_{i1}^{\text{к}}$ и $M_{i1}^{\text{г}}$ – компрессионная и газовая составляющие одного цилиндра; $i_{\text{ц}}$ – число цилиндров: $M_{\cdot} = M_{\cdot}(\ ,\ ) = M_{\cdot}(\ ) + M_{\cdot} = \omega \frac{dJ}{d\varphi}$ – инерционная составляющая крутящего момента, содержащая регулярную составляющую, вызванную неуравновешенными инерционными силами (например, у двигателя компоновки 4-Р это вторая гармоника частоты вращения) и остаточную составляющую случайного характера, присущую всем двигателям; $M_{\text{вп}} = M_{\text{вп}}(\omega,\ \varphi)$ – момент внутренних потерь (преимущественно трения).

Если обеспечить разделение полного ускорения коленчатого вала ДВС на отдельные составляющие для каждого из цилиндров как в стационарном режиме полной нагрузки, так и в разгоне, то по ним можно оценить неравномерность работы цилиндров и внутрицикловую неравномерность работы ДВС.

На основе применения представленной динамической модели тракторных двигателей и моделирования процесса измерения диагностического сигнала в тестовом режиме создан алгоритм расчета мощности двигателя, обоснована структурная схема и разработано автономное устройство автоматизации энергетической оценки тракторного парка сельхозпредприятия МОТОР– ТЕСТЕР-2 СибФТИ (основные разработчики Ольшевский С.Н., Клименко Д.Н.), примененный в цифровой технологии оценки мощности тракторного парка сельхозпредприятия [4]. Для реализации его в предложенной инфраструктуре системы необходимо предусмотреть разумное разделение выполняемых функций между бортовой системой и облачной инфраструктурой.

Выводы и обсуждение. Показана целесообразность использования информационного моделирования с применением современных цифровых технологий для разработки

инфраструктуры системы автоматизации диагностирования и управления состоянием двигателей, определены основные информационные потоки и их взаимодействие.

Обосновано применение в разработке облачной инфраструктуры для расчета параметров по массивам данных текущего состояния тракторных двигателей, поступающих в «реальном времени» с бортовой системы диагностики и управления, что позволяет существенно упростить архитектуру технических и программных средств, исключить мощный парк серверов непосредственно в сельхозпредприятии.

Дальнейшие шаги по разработке системы включают углублённое исследование и тестирование бортовой системы диагностики и управления, интеграцию и оптимизацию удалённой облачной инфраструктуры, разработку и обучение математических моделей для более точной и оперативной оценки эксплуатационных параметров тракторных двигателей, а также созданию интуитивно понятного интерфейса пользователя.

Проводимые исследования имеют, на наш взгляд, перспективу развития в направлении создания и совершенствования программно-аппаратных средств для технического сервиса машинно-тракторного парка, что необходимо для повышения эффективности и конкурентоспособности растениеводческого сельхозпредприятия.

Список использованных источников:

1. Альт В.В., Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Ольшевский С.Н. Техническое обеспечение измерительных экспертных систем машин и механизмов в АПК: монография / Россельхозакадемия. Сибирское региональное отделение. ГНУ СибФТИ Россельхозакадемии. Новосибирск, 2013. – 523 с.

2. Альт В.В., Елкин О.В., Исакова С.П., Савченко О.Ф. Автоматизированный выбор агротехнологий и тракторного парка сельхозпредприятия: структура и алгоритмы web-приложения // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. т. 52. № 4. С. 107–119.

3. Альт В.В., Ольшевский С.Н., Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Борисов А.А., Орехов А.К. Разработка динамической модели ДВС // Труды ГОСНИТИ: т. 118/ Россельхозакадемия, ГОСНИТИ. М., 2015. С. 8–15.

4. Альт В. В., Савченко О. Ф., Елкин О. В. Цифровая технология оценки мощности тракторного парка сельхоз предприятия // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019. т.13. № 4. С. 25–31.

5. Бершицкий Ю.И., Сайфетдинов А.Р. Методические особенности и механизмы экономического обоснования оптимального состава машинно-тракторного парка сельскохозяйственных товаропроизводителей //Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 94. С. 55–62.

6. Галлатин К., Элбон К. Машинное обучение с использованием Python. – Алист. – Астана, 2024. 448 с.

7. Гребенников С.А., Басков В.Н., Киселёв Г.О., Рогожин А.В. Диагностирование фаз газораспределения двигателя в режиме прокрутки коленчатого вала стартером. Мир транспорта и технологических машин. 2024. № 3–2 (86). С. 49–56.

8. Гриценко А.В., Чокой С.А., Малькова Е.В., Караулов А.В. Диагностирование цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания тестовым методом. АПК России. 2024. Т. 31. № 1. С. 45–56.

9. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Ольшевский С. Н. Оптимизация обнаружения и измерения параметров ДВС измерительной экспертной системой // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2/2. – С. 275–279.

10. Жерон О. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn, Keras и TensorFlow: концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем. 2-е изд. – Диалектика-Вильямс. – Москва, 2020. 1040 с.

11. Иовлев Г.А., Голдина И.И., Зорков В.С. Технический сервис в сельском хозяйстве и процесс цифровизации // Аграрное образование и наука. 2019. № 2. С. 7.

12. Калачин С.В., Кухмазов К.З., Мурог И.А. Определение эффективного алгоритма машинного обучения для прогнозирования режимов работы дизельного двигателя. Нива Поволжья, 2023, 2 (66), с. 3001

13. Капитонов А.А., Клочкова К.В., Симонова Л.А. Построение интеллектуальной надстройки автоматизированной системы диагностики двигателя внутреннего сгорания. Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 12. С. 110–113

14. Катаев Ю. В., Загоруйко М. Г., Тишанинов И. А., Градов Е. А. Прогнозирование отказов в двигателях сельскохозяйственной техники с применением цифровых технологий // Аграрный научный журнал. 2022. № 2. С. 79–82.

15. Кирюшин В. И. Научно-инновационное обеспечение приоритетов развития сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК. 2019. т. 33. № 3. С. 5–10.

16. Курносов А.Ф., Гуськов Ю.А. Определение эффективной мощности по величине реакций опор двигателя при работе в режиме свободного разгона // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2024. № 2. С. 111–118.

17. Побединский В.В., Иовлев Г.А., Ляхов С.В., Голдина И.И. Нейро-нечеткая сеть для оценки остаточного ресурса тракторных двигателей // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 120–130.

18. Савченко О.Ф. Экспертиза технического состояния ДВС на основе интеллектуального анализа данных / Савченко О.Ф. // Труды ГОСНИТИ: т. 101 / Россельхозакадемия, ГОСНИТИ. – М., 2008. – С. 96-103.

19. Савченко О.Ф., Альт В.В., Исакова С.П., Солошенко А.А., Корякин Р.А., Елкин О.В. Цифровизация процесса поддержки принятия агротехнологических решений. Методические особенности организации информационного пространства// Агротехника и энергосбережение. 2023. № 4 . С. 143–157.

20. Савченко О.Ф., Ольшевский С.Н., Добролюбов И.П. Информационная технология определения технического состояния тракторных двигателей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010 . – № 11 . –С. 27–30.

21. Химченко А.В., Мищенко Н.И., Савчук О.В. Оценка возможности применения искусственных нейронных сетей для самодиагностики двигателя внутреннего сгорания с отключением цилиндров // Тракторы и сельхозмашины. 2022. Т. 89, № 3. С. 175–186.

22. Якушев В.В. Структуризация агротехнологических знаний для построения онтологий в растениеводстве // Земледелие. 2022. № 7. С. 3–7.

23. Якушев В.П., Якушев В.В., Блохина С.Ю., Блохин Ю.И., Матвеенко Д.А. Информационное обеспечение современных систем земледелия в России // Вестник Российской академии наук. 2021. Т. 91. № 8. С. 755–768.

Bibliography:

1. Alt V. V., Dobrolyubov I. P., Savchenko O. F., Olshevsky S. N. Technical support of measuring expert systems of machines and mechanisms in the agroindustrial complex: monograph / Russian Agricultural Academy. Siberian Regional Office. SSI SibFTI of the Russian Agricultural Academy. – Novosibirsk, 2013. – 523 p.

2. Alt V. V., Elkin O. V., Isakova S. P., Savchenko O. F. Automated selection of agricultural technologies and tractor fleet of agricultural enterprises: structure and algorithms of a web application / / Siberian Bulletin of Agricultural Science. 2022. vol. 52, No. 4, pp. 107–119.

3. Alt V. V., Olshevsky S. N., Dobrolyubov I. P., Savchenko O. F., Borisov A. A., Orekhov A. K. Razrabotka dinamicheskoi modeli DVS [Development of a dynamic internal combustion engine model]. Trudy GOSNITI: vol. 118 / Russian Agricultural Academy, GOSNITI. – Moscow, 2015. – pp. 8-15.

4. Alt V. V., Savchenko O. F., Elkin O. V. Digital technology for assessing the capacity of the tractor fleet of an agricultural enterprise // Agricultural machines and technologies. 2019. vol. 13. No. 4. pp. 25–31.

5. Bershitsky Yu. I., Sayfetdinov A. R. Methodological features and mechanisms of economic justification of the optimal composition of the machine and tractor fleet of agricultural producers //Proceedings of Kuban State Agrarian University. 2022. No. 94, pp. 55-62.

6. Gallatin K., Elbon K. Machine Learning with Python Cookbook: Practical Solutions from Preprocessing to Deep Learning. – O'Reily. – Boston, 2024. – 448 p.

7. Grebennikov S. A., Baskov V. N., Kiselev G. O., Rogozhin A.V. Diagnostics of engine gas distribution phases in the mode of cranking the crankshaft with a starter. Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin [World of Transport and Technological Machines], 2024, No. 3-2 (86). – pp. 49-56.

8. Gritsenko A.V., Chokoi S. A., Malkova E. V., Karaulov A.V. Diagnostics of the cylinder-piston group of an internal combustion engine by the test method. Agroindustrial complex of Russia. 2024. Vol. 31, No. 1, pp. 45–56.

9. Dobrolyubov I. P., Savchenko O. F., Olshevsky S. N. Optimization of detection and measurement of internal combustion engine parameters by measuring expertsystemПолзуновский. Polzunovsky Vestnik, 2011, no. 2/2, pp. 275-279.

10. Geron O. Applied machine learning using Scikit-Learn, Keras and TensorFlow: concepts, tools and techniques for creating intelligent systems. 2nd ed. – Dialektika-Williams – Moscow, 2020, 1040 p.

11. Iovlev G. A., Goldina I. I., Zorkov V. S. Tekhnicheskiy servis v sel'skom khozyaistve i protsess digitalizatsii [Technical service in agriculture and the process of digitalization]. 2019. No. 2. p. 7.

12. Kalachin S. V., Kukhmazov K. Z., Murog I. A. Determination of an effective machine learning algorithm for predicting diesel engine operation modes. Niva Povolzhya, 2023, 2 (66), p. 3001

13. Kapitonov A. A., Klochkova K. V., Simonova L. A. Construction of an intelligent superstructure of an automated diagnostic system for an internal combustion engine. Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. 2020. No. 12. pp. 110-113

14. Kataev Yu. V., Zagoruiko M. G., Tishaninov I. A., Gradov E. A. Predicting failures in agricultural machinery engines using digital technologies // Agrarian Scientific Journal, 2022, No. 2, pp. 79-82.

15. Kiryushin V. I. Scientific and innovative support of agricultural development priorities // Achievements of science and technology of the agroindustrial complex. 2019. vol. 33. No. 3. pp. 5-10.

16. Kurnosov A. F., Guskov Yu. A. Determination of the effective power by the magnitude of engine support reactions when operating in the free acceleration mode // Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2024. No. 2. pp. 111-118.

17. Pobedinsky V. V., Iovlev G. A., Lyakhov S. V., Goldina I. I. Neuro-fuzzy network for assessing the residual resource of tractor engines/Forest Bulletin, 2022, Vol. 26, No. 2, pp. 120-130.

18. Savchenko O. F. Ekspertiza tekhnicheskogo sostoyaniya DVS na osnove intellektual'nogo analiza dannykh [Examination of the technical condition of internal combustion engines based on intellectual data analysis]. Trudy GOSNITI: vol. 101 / Russian Agricultural Academy, GOSNITI, Moscow, 2008, pp. 96-103..

19. Savchenko O. F., Alt V. V., Isakova S. P., Soloshenko A. A., Koryakin R. A., Elkin O. V. Digitalization of the process of supporting the adoption of agrotechnological decisions. Methodological features of the organization of information spacesa// Agrotechnics andenergy saving. 2023. No. 4. pp. 143-157.

20. Savchenko O. F., Olshevsky S. N., Dobrolyubov I. P. Information technology for determining the technical condition of tractor engines // Mechanization and electrification of agriculture. – 2010. No. 11, pp. 27–30.

21. Khimchenko A.V., Mishchenko N. I., Savchuk O. V. Evaluation of the possibility of using artificial neural networks for self-diagnostics of the internal combustion engine with cylinder disconnection. 2022. Vol. 89, No. 3. pp. 175–186.

22. Yakushev V. V. Structurization of agrotechnological knowledge for building ontologies in crop production. 2022. No. 7. pp. 3–7.

23. Yakushev V. P., Yakushev V. V., Blokhina S. Yu., Blokhin Yu. I., Matveenko D. A. Informatsionnoe obespechenie sovremennykh sistem sel'khoz'eliya v Rossii [Information support of modern agricultural systems in Russia]. 2021. T. 91. No. 8. Pp. 755–768.

Олег Федорович Савченко, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник, sof-oleg46@yandex.ru;
Виктор Валентинович Альт, доктор техн. наук, поофессор, академик РАН;
Алексей Алексеевич Солошенко, лаборант-исследователь;
Олег Владимирович Елкин, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник,
Светлана Павловна Исакова, старший научный сотрудник;
Роман Александрович Карякин, кандидат физ.-мат. наук, вед. программист;
Сибирский физико-технический институт аграрных проблем
Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук,
630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, СФНЦА РАН

DIGITIZING THE ADOPTION SUPPORT PROCESS AGROTECHNOLOGICAL SOLUTIONS. SUBSTANTIATION OF THE INFRASTRUCTURE OF THE AUTOMATION SYSTEM FOR DIAGNOSTICS OF TRACTOR ENGINES

O.F. Savchenko, V.V. Alt, A.A. Soloshenko, O.V. Elkin, S.P. Isakova, R.A. Koryakin

Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences

Abstract. The feasibility of using information modeling with modern digital technologies for the development of an infrastructure for the automation system of diagnosing and managing the technical condition of tractor engines has been demonstrated, and the main information flows and their interactions have been identified. The application of advanced cloud infrastructure for calculating parameters based on data arrays of the current state of tractor engines, received in real-

time from the onboard diagnostic and management system, data and knowledge analysis, and the development of alternative solutions has been substantiated. This approach significantly simplifies the architecture of technical and software tools, eliminating the need for a powerful server fleet directly within the agricultural enterprise. For system implementation, a preliminary domain-oriented set of instrumental software tools and solutions for creating digital technology for determining engine power using the diagnostic signal of crankshaft acceleration in tractor engines has been proposed. Further steps in system development include in-depth research and testing of the onboard diagnostic and management system, integration and optimization of the remote cloud infrastructure, enrichment of the system with ready-made technical solutions for the development and training of mathematical models for the operational assessment of tractor engine operational parameters, as well as the creation of an intuitive user interface. In our opinion, the ongoing research has the potential for development in the direction of creating and improving software and hardware tools for the technical service of the machine and tractor fleet, which is necessary to increase the efficiency and competitiveness of the crop production agricultural enterprise.

Keywords: tractor engine, operational parameters, onboard diagnostic system, cloud technologies, information flows, software suite

Oleg Fedorovich Savchenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Scientist, sof-oleg46@yandex.ru;
Viktor Valentinovich Alt, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the RAS;
Aleksey Alekseevich Soloshenko, Junior Research Scientist;
Oleg Vladimirovich Yelkin, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Scientist;
Svetlana Pavlovna Isakova, Senior Research Scientist;
Roman Alexandrovich Koryakin, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Lead Programmer;
Siberian Institute of Physics and Technology for Agrarian Problems
Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, 630501, Novosibirsk region, Krasnoobsk, SFSCA RAS

УДК 347:621.31

СОВМЕЩЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ГАРАНТ БЕЗУБЫТОЧНОСТИ, МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОТРАСЛЕЙ АПК, САМООКУПАЕМОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ, УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА. ОБЩЕГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОДХОД

В.П. Шарупич[1], П.В. Шарупич[2], С.В. Шарупич[2], Т.С. Шарупич[2]

[1]ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ им. Н.В. Парахина»
[2]ООО «Патент»

Аннотация. *В работе приведены перспективы использования совмещенных технологий как гаранта безубыточности, максимальной энергоэффективности отраслей АПК, самоокупаемости жилых зданий, увеличения продолжительности жизни человека. Разработана нормативная база, проектные решения, подготовлено производство для обеспечения безубыточности отраслей, максимальной энергоэффективности, совмещения технологий АПК с технологиями промышленности, строительства, медицины, обороны, МЧС, пожарной безопасности, самоокупаемости жилых зданий, для увеличения продолжительности жизни человека. Подготовлена учебная и нормативно-правовая база государственного регулирования.*

Ключевые слова: *совмещенные технологии, энергоэффективность, самоокупаемость жилых зданий, продолжительность жизни, Россовтехнадзор.*

Введение. Современное военно-политическое и социально - экономическое положение России на мировой арене требует не только усиления консолидации общества, но и увеличения государственного регулирования при реализации разработок, которые могут дать необходимый сегодня эффект, но до настоящего времени не реализованы [1-8].

Одним из наиболее важных в этой связи является государственная реализация совмещенных технологий, построенная по принципу реализации мероприятий, контролируемых специальными надзорными органами.

Необходим специальный надзорный орган Россовтехнадзор, регулирующий реализацию совмещенных технологий.

На основании вышеизложенного **целью работы** является общегосударственное обязательное применение совмещенных технологий.

Поставленная цель достигается путем решения следующих задач:

1. Обеспечение безубыточности отраслей АПК;
2. Обеспечение максимальной энергоэффективности отраслей АПК;
3. Совмещение технологий АПК в отраслях промышленности, градостроительства, медицины, обороны, МЧС, пожарной безопасности;
4. Обеспечение самоокупаемости жилых зданий;
5. Обеспечение увеличения продолжительности жизни человека;
6. Обеспечение общегосударственного регулирования через Россовтехнадзор.

Основные положения. Исследования, разработки, проектирование, строительство и эксплуатация генераторов 104-фазного напряжения, теплиц-кровель, противопожарных саркофагов, тепличных саркофагов, гринн-брандмауэров, как главных (основных) элементов совмещенных технологий, проводимые компаниями «Патент», «ЦК», ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, НИПИ «Градоагроэкопром», «Воля» с 1980 года показали их высокую эффективность обеспечения

безубыточности и необходимость реализации в отраслях АПК, промышленности, градостроительства, медицины, обороны, МЧС, пожарной безопасности.

Обеспечение безубыточности отраслей АПК.В течение долгосрочного периода времени с 1950 года по настоящее время в отраслях АПК, связанных с селекцией, производством мясомолочной, тепличной продукции с определенной периодичностью случаются кризисы, требующие государственного вмешательства в форме дотации, которые с успехом могли бы использоваться в других более важных отраслях, обеспечивающих безопасность Российской Федерации – оборону, образование, медицину, космонавтику.

Убытки в отраслях АПК, связаны, например, в отрасли защищенного грунта с расходом на энергоресурсы до 70-80% от себестоимости продукции. В отраслях животноводства, рыбоводства, птицеводства с высокими затратами на корма, оборудование и поддержание нормируемых климатических условий, не расширяется производство что приводит к дефициту продукции, резким колебанием цен на рынке. В России наблюдаются периодически из-за нехватки собственного производства куриных яиц, мяса, сливочного масла.

Минимальная разница в ценах реализации и себестоимости продукции дотационные цены на производимую продукцию, не позволяют данным отраслям, а также в связанных с ними отраслях реализовывать инновации, строить новые предприятия и расширять производство, обеспечивать рабочие места, привлекать новые кадры в отрасль. Это ведет к сворачиванию производства, оттоку кадров, к кризисам и новым дотациям от государства. На вопрос «Есть ли выход из данного вечного кризиса? Есть положительный ответ. Это размещение предприятий с технологиями по принципу, продукты отхода одного становятся ресурсами для другого, что и является совмещением технологий.

Идеальным вариантом главных элементов безубыточности отраслей АПК во всех случаях для совмещенных технологий являются генераторы 104-фазного напряжения, теплицы-кровли, противопожарные и тепличные саркофаги, гринн-брандмауэры.

Одновременно генераторы104-фазного напряжения, теплицы-кровли, противопожарные и тепличные саркофаги, гринн-брандмауэры являются идеальными источниками энергообеспечения данных отраслей и увеличения продолжительности жизни человека.

Как это работает? Совмещение технологий осуществляется непосредственным подключением генераторов 104-фазного напряжения, теплиц-кровель, противопожарных и тепличных саркофагов, гринн-брандмауэров к зданиям и сооружениям отраслей АПК.

При этом генераторы104-фазного напряжения, теплицы-кровли, противопожарные и тепличные саркофаги, гринн-брандмауэры заменяют кровлю зданий.

Это приводит к совмещению генеральных планов и инфраструктуры предприятий отраслей АПК. Затраты на земельные участки и инфраструктуру снижаются в 2 раза.

Далее замена кровли уменьшает затраты на ее строительство в зависимости от ее размера, пролета 12-36 м до 30-60%. А перемещение генераторов104-фазного напряжения, теплиц-кровель, противопожарных и тепличных саркофагов, гринн-брандмауэров на место кровель исключает у них фундамент.

При этом стоимость фундамента в зависимости от климатического района строительства составляет 30-70%.

Особой статьей в данном случае является газо-водо-энергообеспечение, минеральное питание, кормовое обеспечение. Так из помещения с размещением животных, птиц через специальную разделяющую мембрану совмещенных технологий биогаз-1 в форме газа-воды-тепла, минеральных удобрений поступают в зону генераторов104-фазного напряжения, теплиц-кровель, противопожарных и тепличных саркофагов, гринн-брандмауэров, а кислород и дополнительные

корма поступают в зону животных, птиц, хранимой продукции, рыб.

В ценовом выражении экономия в расходах газа-воды-тепла, минеральных удобрений достигает 40-50%.

Уникальные характеристики генераторов104-фазного напряжения, теплиц-кровель, противопожарных и тепличных саркофагов, гринн-брандмауэров, такие как 9 скоростей продукционного процесса, обеспечивающие максимальную продуктивность, 1560 кг продукции с кв. метра в год, а при использовании сортов томата с индивидуальной продуктивностью 7-10 кг с одного растения до 2500 кг с кв. метра в год.

Результирующим показателем вышеперечисленных характеристик является рентабельность предприятия с совмещенной технологией. Например, белковая ТЭЦ, генераторно-коровья ТЭЦ, генераторно-свиноводческая ТЭЦ, генераторно-птицеводческая ТЭЦ, генераторно-хранилищная ТЭЦ, генераторно-рыбоводческая ТЭЦ. Рентабельность предприятий с совмещенной технологией составляет 40-60%.

Совмещенные технологии позволяют отраслям АПК, а также в связанных с ними отраслях реализовывать инновации, строить новые предприятия и расширять производство, создавать новые рабочие места, привлекать и обучать кадры в отрасль.

Таким образом, совмещенные технологии решают задачу обеспечения безубыточности отраслей АПК.

Безубыточность и инновационное развитие отраслей АПК успешно решается компаниями «Патент», «ЦК», ФГБУ ВО «Орловский Аграрный университет имени Н.В. Парахина», НИПИ «Градоагроэкопром», «Воля».

Обеспечение максимальной энергоэффективности отраслей АПК при совмещении технологий. Обеспечение максимальной энергоэффективности отраслей АПК Российской Федерации, достигается, например, в отраслях защищенного грунта, генераторов 104-фазного напряжения, теплиц-кровель, противопожарных и тепличных саркофагов, гринн-брандмауэров компенсацией расхода на энергоресурсы до 70-80% в себестоимости продукции путем совмещения с технологиями животноводства, рыбоводства, птицеводства, а также все предприятия работающие с технологиями с отбросным теплом, хлебозаводы, заводы по производству керамики и кирпича, ТЭЦ, АЭС, газокомпрессорные станции, металлургические предприятия.

В отраслях животноводства, рыбоводства, птицеводства с высокими затратами на корма, оборудование и поддержание нормируемых климатических условий, приводит к дефициту продукции, резким колебанием цен на рынке. В этой связи в России с периодической повторяемостью наблюдается дефицит собственной продукции из-за нехватки объемов собственного производства куриных яиц, мяса, сливочного масла.

Обеспечение максимальной энергоэффективности достигается совмещением технологий. Особой статьей в данном случае является газо-водо-энергообеспечение, минеральное питание, кормовое обеспечение.

Так из помещений для размещения животных, птиц через специальную разделяющую мембрану совмещенных технологий биогаз-1 в форме газа-воды-тепла, минеральных удобрений поступают в зону генераторов104-фазного напряжения, теплиц-кровель, противопожарных и тепличных саркофагов, гринн-брандмауэров, а кислород и дополнительные корма поступают в зону животных, птиц, рыб, хранимой продукции.

В числовом выражении это выглядит следующим образом. Тепло, выделяемое животными, птицами или процессом с избыточным теплом, позволяет скомпенсировать в генераторах104-фазного напряжения, теплицах- кровлях, противопожарных и тепличных саркофагах, гринн-брандмауэрах от 40 до 100% тепловой энергии.

Влага, выделяемая животными, птицами, рыбами, хранимой продукцией или процессом с избыточным влаговыделением, позволяет скомпенсировать в генераторах104-фазного напряжения, теплицах-кровлях, противопожарных и тепличных саркофагах, гринн-брандмауэрах от 30 до 100% влаги.

Углекислота, выделяемая животными, птицами, рыбами, хранимой продукцией или процессом с избыточным выделением углекислоты, позволяет скомпенсировать в генераторах104-фазного напряжения, теплицах-кровлях, противопожарных и тепличных саркофагах, гринн-брандмауэрах от до 80-100% углекислоты.

Аммиачные удобрения в форме газообразного аммиака – внекорневые подкормки, выделяемые животными, птицами, или процессом с избыточным выделением газообразного аммиака позволяет скомпенсировать в генераторах104-фазного напряжения, теплицах-кровлях, противопожарных и тепличных саркофагах, гринн-брандмауэрах от 50 до 100% аммиачных удобрений в газообразном состоянии.

Особой уникальностью в части обеспечения максимальной энергоэффективности отраслей градоагроэкопромышленного комплекса Российской Федерации при совмещении технологий, обладает технология совмещения подземных ТЭЦ и подземных атомных теплоэлектростанций ПАТЭС с зонами круглогодичного земледелия.

По данным Росстата, производство электроэнергии в России по итогам 2023 года составило 1,178 трлн кВт·ч., что составляет 40% от общих затрат энергоресурсов - ядерное топливо, природный газ, уголь, нефть.

При этом потери составляют 60% или 1.767 трлн кВт·ч.

Эта величина используется для энергообеспечения зон круглогодичного земледелия.

Расход электроэнергии на нужды сельского хозяйства от общего производства составляет 3,4%.

Годовое энергообеспечение одной зоны круглогодичного земледелия площадью 1600 га составляет 10 млрд кВт·ч. Таким образом, количество зон круглогодичного земледелия, обеспечиваемое величиной 1.767 трлн кВт·ч составляет 177 зон или 283 тыс. га земель защищенного земледелия. Данный подход обеспечивает увеличение энергообеспечения АПК по сравнению с 3,4% в 18 раз.

Обеспечение перехода технологии АПК в отрасли промышленности, градостроительства, медицины, обороны, МЧС, пожарной безопасности, обеспечение самоокупаемости жилых зданий, увеличения продолжительности жизни человека, обеспечение общегосударственного регулирования через Россовтехнадзор являются важнейшими задачами, решениям которых в настоящий момент интенсивно занимаются компании «Патент», «ЦК», ФГБУ ВО «Орловский Аграрный университет имени Н.В. Парахина», НИПИ «Градоагроэкопром», «Воля» совместно с другими заинтересованными предприятиями.

Выводы. Перспективы использования совмещенных технологий как гаранта безубыточности, максимальной энергоэффективности отраслей АПК, самоокупаемости жилых зданий, увеличения продолжительности жизни человека. Общегосударственный подход.

1. Разработана нормативная база, проектные решения, подготовлено производство для обеспечения безубыточности отраслей АПК;

2. Разработана нормативная база, проектные решения, подготовлено производство для обеспечения максимальной энергоэффективности отраслей градоагроэкопромышленного комплекса;

3. Разработана нормативная база, для обеспечения перехода технологии АПК в отрасли промышленности, градостроительства, медицины, обороны, МЧС, пожарной безопасности;

4. Подготовлена нормативная база проектные решения, производство для обеспечения самоокупаемости жилых зданий;

5. Подготовлена нормативная база проектные решения, производство для обеспечения увеличения продолжительности жизни человека;

6. Подготовлена учебная и нормативно-правовая база общегосударственного регулирования через Россовтехнадзор.

Список использованных источников:

1. В.П. Шарупич, С.В. Шарупич, П.В. Шарупич, Т.С. Шарупич, А.Ю. Антохин. Методология расчета социальной экологичности, надежности электроснабжения, увеличения продолжительности жизни человека и развития территорий в системе электроснабжения типа «Андреевский крест» // Успехи современной науки. - 2017.-Том 2.-№8,- С.35-40.

2. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*)

3. Шарупич В.П., Бессмертие. Том.1, Учебник для ВУЗов – Орел: Патент- Град-_РИЦ.- 2008, 892 с.

4. Шарупич В.П., Шарупич П.В., Шарупич С.В., Шарупич Т.С. Комплексное развитие сельских территорий на основе планетарно-прогностического блочно-модульного размещения объектов как механизм продовольственной безопасности // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2022. Том 12. № 6А. С. 114-123. DOI: 10.34670/AR.2022.59.37.014

5. Шарупич В.П. Бессмертие / Шарупич В.П. – «Патент. Град-Рид» 2020. – 892 с.

6.Архитектура бессмертия. Теоретические основы исследований, проектирования, изготовления, строительства и эксплуатации многоэтажных интеллектуальных живых самоокупаемых домов серии СИЖ142-Т-S-А-n.Т.5 /Шарупич П.В., Шарупич С.В., Шарупич В.П «Патент. Град-Рид» 2020. – 584 с.

7. Патент РФ «Жизнеобеспечивающая планировка зданий», 2599678, МПК Е04Н 1/02 / Шарупич П.В., Шарупич В.П., Королев С.Ю., Шарупич С.В., Шарупич Т.С. ; / заявитель и патентообладатель ООО «Патент»; опубл. – 10.10.2016, Бюл. № 28.

8. Шарупич В.П., Шарупич П.В., Шарупич С.В., Шарупич Т.С. Комплексное развитие сельских территорий на основе планетарно-прогностического блочно-модульного размещения объектов как механизм продовольственной безопасности // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2022. Том 12. № 6А. С. 114-123. DOI: 10.34670/AR.2022.59.37.014.

Bibliography:

1. V.P. Sharupich, S.V. Sharupich, P.V. Sharupich, T.S. Sharupich, A.Y. Antokhin. Methodology of calculation of social environmental friendliness, reliability of power supply, increase of human life expectancy and development of territories in the system of power supply of “St. Andrew's Cross” type // Uspekhi sovremennoi nauki. - 2017.-Volume 2.-#8,- P.35-40.

2. SP 14.13330.2018 Construction in seismic areas. Updated edition of SNiP II-7-81*)

3. Sharupich V.P., Immortality. Vol.1, Textbook for Higher Education Institutions - Orel: Patent-Grad-_RIC.- 2008, 892 p.

4. Sharupich, V.P.; Sharupich, P.V.; Sharupich, S.V.; Sharupich, T.S. Complex development of rural territories on the basis of planetary-prognostic block-modular placement of objects as a mechanism of food security // Economics: yesterday, today, tomorrow. 2022. Vol. 12. No. 6A. C. 114-123. DOI: 10.34670/AR.2022.59.37.014

5. Sharupich V.P. Immortality / Sharupich V.P. - “Patent. Grad-Ritz” 2020. - 892 c.

6.Architecture of immortality. Theoretical foundations of research, design, manufacturing, construction and operation of multi-storey intelligent living self-sufficient houses of series SIZh142-T-S-A-n.T.5 / Sharupich P.V., Sharupich S.V., Sharupich V.P. "Patent. Grad-Ritz". Grad-Ritz" 2020. - 584 c.

7. Patent of the Russian Federation "Life-supporting building layout", 2599678, IPC E04H 1/02 / Sharupich P.V., Sharupich V.P., Korolev S.Y., Sharupich S.V., Sharupich T.S. ; / applicant and patentee Patent LLC; published - 10.10.2016, Bulletin No. 28.

8. Sharupich V.P., Sharupich P.V., Sharupich S.V., Sharupich T.S. Integrated development of rural areas on the basis of planetary-prognostic block-modular placement of objects as a mechanism of food security // Economics: yesterday, today, tomorrow. 2022. Vol. 12. No. 6A. C. 114-123. DOI: 10.34670/AR.2022.59.37.014.

Шарупич В.П., д.т.н., доцент, профессор, ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ им. Н.В. Парахина»,
Директор института НИПИ «Градоагроэкопром»,
Шарупич П.В., д.пр.н., зам. ген. директора, ООО «Патент»,
Шарупич С.В., д.пр.н., зам. директора по информационным технологиям НИПИ «Градоагроэкопром» ООО «Патент»,
Шарупич Т.С., к.т.н., д.пр.н., зам. директора по научной работе НИПИ «Градоагроэкопром» ООО «Патент»

COMBINED TECHNOLOGIES - A GUARANTEE OF BREAK-EVEN, MAXIMUM ENERGY EFFICIENCY OF AGRICULTURAL INDUSTRY SECTORS, SELF-SUFFICIENCY OF RESIDENTIAL BUILDINGS, INCREASE IN HUMAN LIFE EXPECTANCY. A NATIONWIDE APPROACH

V.P. Sharupich[1], P.V. Sharupich[2], S.V. Sharupich[2], T.S. Sharupich[2]

[1]FGBOU VO "N.V. Parakhin Oryol State Agrarian University".
[2c]"Patent" Ltd.

Abstract. The paper presents the prospects for using combined technologies as a guarantee of profitability, maximum energy efficiency of agricultural sectors, self-sufficiency of residential buildings, and an increase in human life expectancy. A regulatory framework and design solutions have been developed, production has been prepared to ensure the breakeven point of industries, maximum energy efficiency, the combination of agro-industrial complex technologies with technologies of industry, construction, medicine, defense, the Ministry of Emergency Situations, fire safety, self-sufficiency of residential buildings, to increase human. The educational and regulatory framework for state regulation has been prepared.

Keywords: combined technologies, energy efficiency, self-sufficiency of residential buildings, life expectancy, Rossovtekhnadzor.

Sharupich V.P., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, FGBOU VO "Oryol State University named after N.V. Parakhin", Director of the Institute NIPI "Gradoagroecoprom",
Sharupich P.V., Doctor of Practical Sciences Deputy General Director, LLC "Patent",
Sharupich S.V., Doctor of Practical Sciences, Deputy. Information Technology Directors NIPI "Gradoagroekoprom" LLC "Patent",
Sharupich T.S., Candidate of Technical Sciences, Doctor of Practical Sciences Deputy. Scientific Director of NIPI "Gradoagroekoprom" LLC "Patent"

УДК 631.372: 62-97/-98: 629.3.018.2

МЕТОД И ТЕХНОЛОГИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ АВТОТРАКТОРНЫХ И КОМБАЙНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

С.З. Инсафуддинов, М.И. Веледов, Ф.Г. Абдразаков
ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ

Аннотация. *Современные тракторы, автомобили и мобильная сельскохозяйственная техника обычно оснащены навигационным и бортовым оборудованием, а также имеют доступ в интернет. Навигационное оборудование предоставляет информацию о местоположении, направлении и скорости движения автотракторных агрегатов, в то время как электронная бортовая система управляет такими компонентами, как двигатель, трансмиссия, рабочее оборудование, а также осуществляет самодиагностику и контролирует качество выполнения технологических операций и другие параметры. В данной работе предложена инновационная методика системного использования всех электронных устройств для осуществления непрерывного предиктивного мониторинга технического состояния сельскохозяйственной машины в целом, позволяющая сократить время простоя техники и снизить эксплуатационные расходы до 14%. Это достигается посредством применения усовершенствованного устройства и метода прогнозируемой диагностики технического состояния агрегатов двигателя и сельскохозяйственной машины в реальном времени.*

Ключевые слова: *двигатель, диагностика, телематика, прогноз, ремонт, обслуживание техническое.*

Введение. Современные и перспективные модели тракторов, автомобилей и мобильной сельскохозяйственной техники чаще всего оснащены навигационным и бортовым оборудованием с доступом в интернет [1]. Навигационное оборудование предоставляет информацию о местоположении, направлении и скорости передвижения автотракторных агрегатов, в то время как электронная бортовая система управляет различными компонентами машины– двигателем, трансмиссией, рабочим оборудованием, системой самодиагностики и следит за качеством выполнения технологических операций и другими параметрами [2].

В последних моделях тракторов, комбайнов и сельскохозяйственной техники таких компаний, как Caterpillar, John Deere, Case, New-Holland, Claas, Same-Deutz Fahr, Holmer, Belarus и других, уже внедрены системы позиционирования, которые позволяют контролировать качество выполнения технологических операций в режиме реального времени [11]. Очень часто, производители дополняют машины нештатными датчиками [4], например, компания Bosch применила датчики качества масла – QLT Sensor, которые оценивают состояние смазочного масла по диэлектрическим параметрам. Трактора, комбайны и некоторые сельскохозяйственные машины стали оснащаться системами контроля давления в шинах и износа тормозных накладок [5].

Все машины, изготовленные для продажи в США, с 1996 г. оснащаются системами «On-Board Diagnostics - OBD», основной целью которых является определение неполадок транспортного средства, ведущих к увеличению уровня загрязнения окружающей среды [2,9]. Модульные электронные системы для агрегатов компании Caterpillar предусматривают запись информации с бортовых датчиков двигателя в форме отчетов и их отправку по

каналам сотовой связи в специализированной среде Item Connect только на завод-изготовитель. Это является способом ограничения справочной информации со стороны производителей двигателей. Зачастую информация является коммерческой собственностью завода- изготовителя и не может обнародоваться или использоваться без разрешения собственника, как правило, иностранного контрагента [3]. При этом производитель оставляет за собой право гарантийного ремонта и обслуживания узлов и агрегатов. Ограниченная производителем информация зачастую оказывается недостаточной для мониторинга технического состояния конкретных агрегатов и узлов двигателя и контроля качества работы техники [5], а получение полной диагностической карты в сервисных центрах осложняется дополнительными затратами, в том числе связанными с отрывом техники от технологического процесса, сложностью транспортирования и др.

В то же время в процессе работы всегда возникают различные случайные факторы, которые могут вызвать как увеличение, так и уменьшение фактического остаточного ресурса по сравнению с установленным по результатам стационарного контроля. Отсутствие мониторинга не дает технической службе упреждающую информацию о техническом состоянии машин, а модели субъекта управления предсказывать вероятность появления поломок и корректировать задание водителю. В этой связи важной задачей обеспечения работоспособности сельскохозяйственной техники является разработка инновационных методик непрерывного мониторинга технического состояния и функционирования всей машины в целом на основе использования цифровых технологий и оборудования и технологий диагностирования технического состояния агрегатов в режиме реального времени, универсальных для всех видов техники и адаптированных к существующим условиям сервисных центров [10].

Целью данного исследования является улучшение эксплуатационной надежности автотракторной, комбайновой и другой сельскохозяйственной техники через осуществление непрерывного прогнозируемого мониторинга их технического состояния с использованием интернет-технологий, цифрового оборудования и предложенного программного обеспечения.

Задачей исследования является реализация методики в устройстве, позволяющем осуществлять непрерывный мониторинг технического состояния и функционирования как отдельных узлов и агрегатов, так и всей машины в целом, основанной на цифровых технологиях и комплексе датчиков. Применение данной методики позволит в реальном времени отслеживать изменения структурных и диагностических параметров, точно прогнозировать поведение агрегата или узла и, исходя из этого, проводить необходимые регламентные работы своевременно и более эффективно.

Условия, материалы и методы. Основное требование к предлагаемой методике- постоянный телемеханический мониторинг технического состояния узлов и агрегатов сельскохозяйственной техники в режиме реального времени, предсказание появления отклонений его технического состояния, поиск решений решения и передача дистанционно команд на упреждение отклонений, необходимости ремонта и др.

Эффективные показатели работы двигателей зависят в первую очередь от постоянного технического контроля их наиболее уязвимых агрегатов и узлов. К таковым относятся кривошипно- шатунный механизм, механизм газораспределения, системы питания, смазки и охлаждения двигателя [3]. Эффективность работы дизеля, его надежность и эксплуатационные показатели напрямую зависят от состояния топливной системы. Поэтому к топливным системам дизелей предъявляются строгие и высокие требования [6].

Основные параметры её работы, такие как цикловая подача топлива и их связь с частотой вращения, давлением и углом опережения впрыска, являются настраиваемыми как в процессе производства, так и в ходе эксплуатации. В качестве примера оперативного предиктивного мониторинга рассмотрена система управления работой двигателей (рисунок 1).



Рисунок 1- Схема логическая удаленного мониторинга параметров технического состояния двигателей

При этом осуществляется постоянный мониторинг работы агрегата с помощью электронного блока управления (ЭБУ) [5,6,7] и установленными на двигателе передатчиками GPRS, GPS-трекером, а также датчиками расхода воздуха, температуры охлаждающей жидкости, температуры внешней среды, воздуха в салоне трактора, за интеркулером, уровня масла в системе смазки, частоты вращения коленчатого вала, давления масла и топлива в линии низкого давления, а также состава отработавших газов.

Данные с бортовых датчиков и дополнительных диагностических устройств передаются напрямую из агрегата в центр технического сервиса, что исключает необходимость предварительного планирования и позволяет своевременно проводить техническое обслуживание и ремонт. На рисунке 2 представлена принципиальная схема взаимосвязей при предиктивном непрерывном контроле работоспособности и качества работы МТА.

Техническое обслуживание выполняет профилактическую функцию и включает в себя комплекс мероприятий, направленных на предотвращение отказов и неисправностей, а также на обеспечение полной работоспособности агрегата, узла или системы автомобиля. Оно осуществляется в плановом порядке на определенных пробегах или в определенные сроки эксплуатации автомобиля, чтобы избежать простоя техники. В отличие от штатной схемы, при которой автомобиль или трактор с неисправными агрегатами, узлами или системами, представляющими угрозу безопасности движения, не допускаются к работе и простаивают, субъект управления (в данном случае механизатор-тракторист) обеспечивает периодичность обслуживания, как правило, по наработанным мото-часам.

Исследование объекта проводилось в реальных условиях эксплуатации методами моделирования сложных технологических процессов, используя теорию массового

обслуживания и методы наблюдения и эксперимента. Экспериментальный агрегат - трактор МТЗ-82.1 «Belarus» с фронтальным погрузчиком «Универсал 800S» с двигателем Д-243S2 мощностью 60 кВт (рисунок 3). Полевые исследования проводились в течение 2020-23 года в ООО «Калинина» Дюртюлинского района республики Башкортостан.

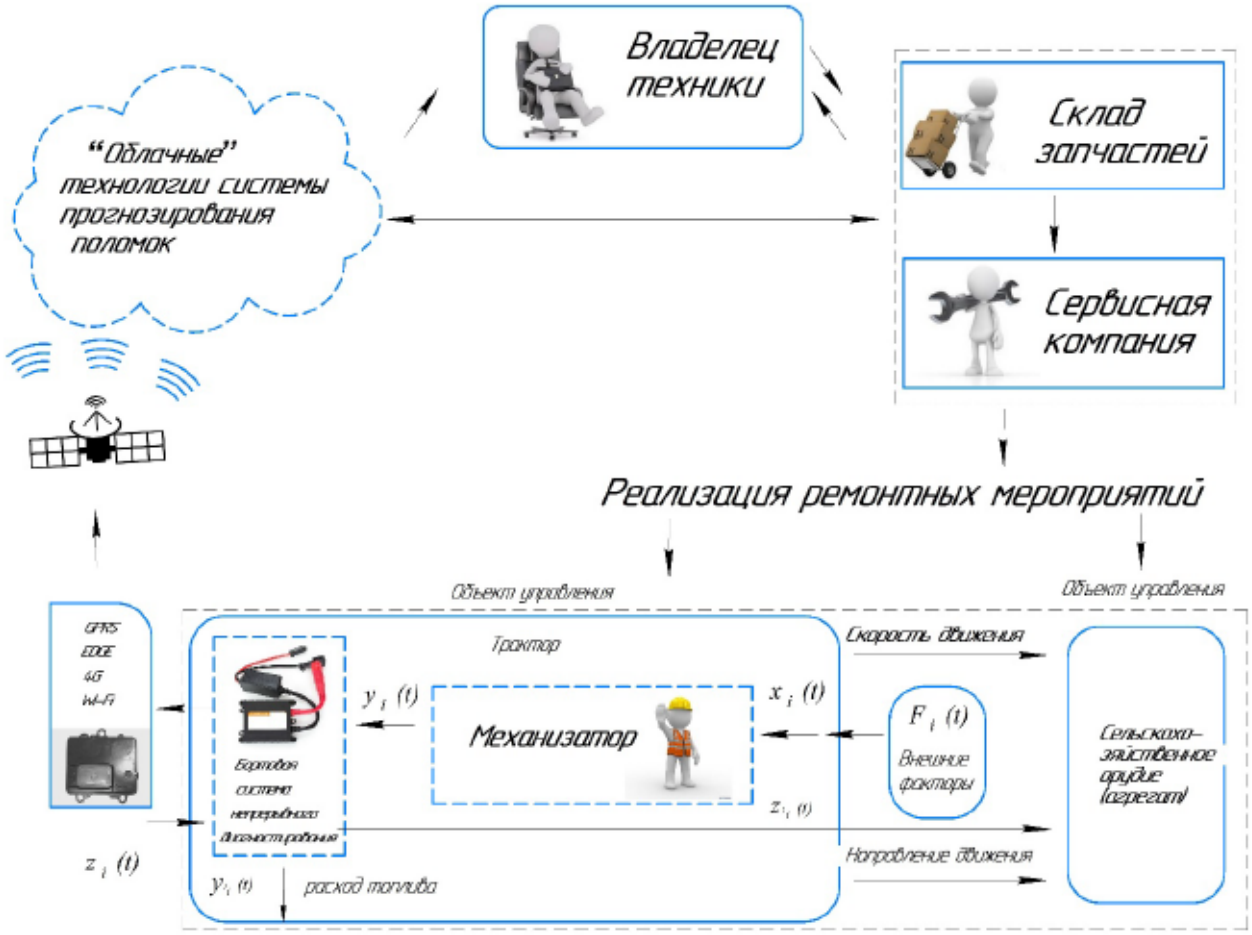


Рисунок 2- Принципиальная схема взаимосвязей при предиктивном непрерывном контроле работоспособности и качества работы МТА

Разработанный нами электронный блок а) устанавливался на период испытаний в салон трактора и запитывался с блока предохранителей напряжением 12 В. Датчик расхода топлива «DFM-220-A-P» (б) на рисунке 4), устанавливался в линию низкого давления между топливным насосом и фильтром тонкой очистки топлива, соединяясь перепускным клапаном с линией слива [9]. GSM передатчик крепился в верхней части кабины трактора. Датчик качества масла устанавливался взамен сливной пробки картера двигателя.



Рисунок 3- Объект управления- трактор МТЗ-82.1 «Belarus» с фронтальным погрузчиком «Универсал 800S» укомплектованный датчиками- маркерами: 1- температуры и давления воздуха в шинах «TRV5»; 2- давления топлива после фильтра тонкой очистки «МД-10»; 3- датчик индицирования «SDS3»; 4- радиочастотной идентификации (RFID) «PR-G07»; 5- мониторинга (наличия) субъекта управления «МТ-510»; 6 – изменения качества масла «QLT Sensor JM-4034»; 7- датчик давления масла «МД-12»; 8- расходомер топлива дифференциальный «DFM-220-A-P»; 9- акселерометр «REF TEK147»; 10- уровня засорённости воздушного фильтра «ДС4»; 11- датчик-частоты вращения двигателя с ключем «ПКЕ 12».

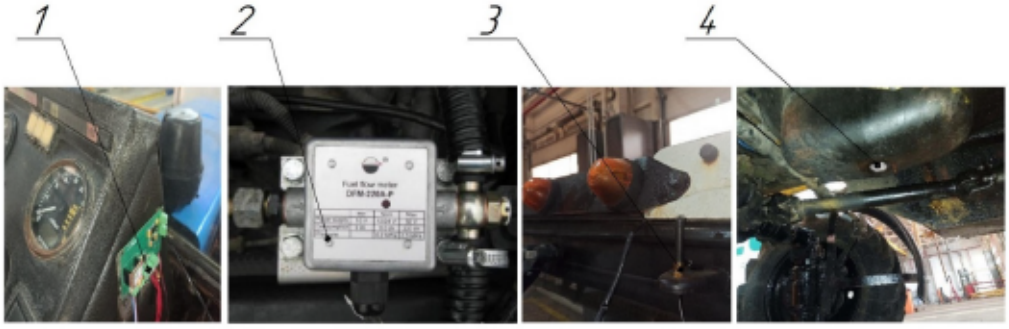


Рисунок 4- Места крепления датчиков на тракторе:1- разработанное электронное устройство сбора и передачи информации с цифровым интерфейсом; 2 – датчик расхода топлива «DFM-220-A-P»; 3- GSM- передатчик – трекер; 4- датчика изменения качества масла «QLT Sensor JM-4034»

В результате испытаний всех систем были получены и обработаны с использованием запатентованного программного обеспечения [7,9]:

1) массив диагностических параметров агрегатов и систем ОУ;

2) статистические данные испытаний и оценка степени влияния отклонений величин контролируемых параметров от нормальных значений на эксплуатационные производительность и расход топлива.

3) определены прогнозируемые период и дата выхода из строя и необходимости технического обслуживания отдельных узлов.

Таблица 2 – Рассчитанные прогнозируемые значения остаточного ресурса отдельных систем

№ п/п	Рассматриваемая система	Остаточный ресурс, моточасы	Количество дней до отказа при сохранении текущего ритма работы, дней
	Ходовая	5822	346
2	Топливная	2560	151
3	Шатунно- поршневая группа	2550	150
6	Смазки	**1219**	**71**

Данные, получаемые от конкретной машины, сопоставляются с обширной базой данных о работе машин данного класса, что позволяет использовать весь доступный опыт системы. Это дает возможность предсказать тенденцию отклонения того или иного параметра и вовремя предотвратить серьезные повреждения, до того, как возникнет аварийная ситуация или произойдет аварийная остановка оборудования.

В целом, предиктивное диагностирование позволяет экономить более 72 часов работы и снизить эксплуатационные расходы до 14%, уменьшая время простоя сельскохозяйственной техники.

Результаты и обсуждение.

В настоящее время информация о автотракторных двигателях может быть получена только на станции технического обслуживания. Это связано с необходимостью подключения к компьютеру, что требует дополнительных затрат времени и создает ряд неудобств (в том числе при использовании беспроводного канала «bluetooth»).

Электронное управление в последние годы внедряется не только в двигатели, но и в трансмиссию и ходовую часть тракторов и сельскохозяйственных машин. Предлагаемая методика предполагает в дальнейшем системную работу всего агрегата с сервисным центром.

В процессе работы системы блок управления воспринимает и обрабатывает значительные объемы данных, принимая во внимание скорость выполнения технологии, возможные отклонения и внешние факторы. На основе этой информации принимается решение о корректирующем воздействии, например, изменении направления движения, подаче топлива или переключении передач, а также решаются внеплановые задачи. В результате может изменяться скорость движения и возникать различные отклонения. Увеличение функций системы также может способствовать повышению утомления водителя.

Поэтому ключевым компонентом предложенной концепции является интегрированная диагностическая система, состоящая из электронных блоков управления и датчиков, подключённых к автомобильной сети данных трансмиссии, подвески и других критически важных узлов транспортного средства. Эта система обеспечивает автономный и непрерывный мониторинг технического состояния и работы управляющего субъекта, что значительно улучшает общую эффективность и безопасность управления.

Внедряя диагностику по косвенным признакам можно расширить количество диагностируемых параметров, в том числе по определению состояния механических

компонентов, цилиндров, коленчатого вала, систем топливоподачи и смазки и др.

Оповещение о необходимости ремонта происходит по схеме- от машины в модель субъекта управления по GPS трекеру передается информация, затем она сохраняется и обрабатывается.

При возникновении необходимости ремонта, модель субъекта управления принимает решение и информирует сервисную службу о примерной дате прибытия техники на ремонт и организации при необходимости её подмены.

Преимуществами предиктивной диагностики при использовании предлагаемой методики являются возможность получения актуальной информации о техническом состоянии транспортного средства в процессе его эксплуатации и предсказание остаточной работоспособности транспортного средства на заданный момент времени.

Выводы:

1) Мониторинг технического состояния автотракторных двигателей дает возможность технической службе получать информацию об остаточной работоспособности транспортных средств и своевременно осуществлять профилактическое обслуживание.

2) Предложенная методика непрерывной предиктивной диагностики технического состояния и функционирования отдельных узлов и агрегатов позволяет повысить надежность эксплуатации автотракторной, комбайновой и иной сельскохозяйственной техники.

3) Для владельца техники непрерывная диагностика является одной из технологий упреждения потерь времени на простой и, как следствие, экономии денежных средств.

Список использованных источников:

1. Габитов, И.И. Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных дизелей. / И.И. Габитов, Л.В. Грехов., А.В. Неговора.// М.: Легион-Автодата, 2008. 248 с.

2. Девянин, С.Н. Использование расхода топлива на режимах холостого хода в качестве диагностического параметра ДВС//В сборнике: Международная научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 100-летию И. С. Шатилова Материалы международной научной конференции молодых ученых и специалистов. 2017. С. 313-314.

3. Дидманидзе, О.Н. Основы дистанционной диагностики систем тягово-транспортных средств /О.Н. Дидманидзе // Учебник. Москва, - 2017.- С.5-13.

4. Дунаев, А.В. Технологические рекомендации по повышению ресурса агрегатов тракторов ремонтно-восстановительными добавками к смазочным маслам / А.В. Дунаев, В.П. Лялякин, Р.Ю. Соловьев // ФГБНУ «Росинформагротех», М.: 2013.- 96 с.

5. Инсафуддинов, С.З. Диагностика топливных систем дизелей при впрыске в среду с противодавлением / С.З. Инсафуддинов, Ф.Р. Сафин, Э.М. Гайсин, А.Ф. Давлетов, свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2014611323 от 10.12.2013.

6. Инсафуддинов, С.З. О разработке методики непрерывного диагностирования технического состояния автотракторной и сельскохозяйственной техники с использованием цифровых технологий. Вестник ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ: №3. 2018г. С. 43-49.

7. Инсафуддинов С.З., Сафин Ф.Р., Абдразаков Ф.Г., Фархутдинов Т.Т., Веледов М.И. Непрерывное диагностирование технического состояния и прогнозирование поломок тракторной и сельскохозяйственной техники. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021661661, 14.07.2021. Заявка № 2021660526 от 05.07.2021.

8. Сафин Ф.Р., Гафуров И.Д., Бакиев И.Т., Инсафуддинов С.З. Оценка эффективности

спутникового мониторинга работы уборочной техники. Известия Международной академии аграрного образования. 2024. № 71. С. 83-87.

9. Харисов Д.Д., Сахибгараев Б.А., Валишин Д.Е., Инсафуддинов С.З. Способ дистанционного диагностирования технического состояния двигателей внутреннего сгорания. Патент на изобретение RU 2809889 C1, 19.12.2023. Заявка от 09.02.2023.

10. Черноиванов, В.И. Цифровые технологии и электронные средства в системе технического обслуживания и ремонта автотракторной и комбайновой техники / В.И. Черноиванов, И.И. Габитов, А.В. Неговора // Материалы междунар. научно-техн. конф. «Интеллектуальные машинные технологии и техника в сельском хозяйстве». –М.: РАН, ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 2017.

11. Bosch Mobility Solutions. https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/mobility-services/predictive-diagnostics.

Bibliography:

1. Gabitov, I.I. Maintenance and diagnostics of fuel equipment of automobile and tractor diesel engines. / I.I. Gabitov, L.V. Grekhov, A.V. Negragov // M.: Legion-Autodata, 2008. 248 c.

2. Devyanin, S.N. The use of fuel consumption at idling modes as a diagnostic parameter of internal combustion engine// In Collection: International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists, dedicated to the 100th anniversary of I. S. Shatilov Matherialy International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists. 2017. C. 313-314.

3. Didmanidze, O.N. Fundamentals of remote diagnostics of traction-transport systems / O.N. Didmanidze // Textbook. Moscow, - 2017.- P.5-13.

4. Dunayev, A.V. Technological recommendations for improving the resource of tractor units by repair and restoration additives to lubricating oils / A.V. Dunayev, V.P. Lyalyakin, R.Y. Solovyev // FGBNU “Rosinformagroteh”, Moscow: 2013.- 96 p.

5. Insafuddinov, S.Z. Diagnostics of fuel systems of diesel engines at injection into the medium with back pressure / S.Z. Insafuddinov, F.R. Safin, E.M. Gaisin, A.F. Davletov, certificate of registration of computer program RUS 2014611323 from 10.12.2013.

6. Insafuddinov, S.Z. About development of methodology of continuous diagnostics of technical condition of automobile-tractor and agricultural machinery with the use of digital technologies. Vestnik FGBOU VO Bashkirskiy GAU: No. 3. 2018г. C. 43-49.

7. Insafuddinov S.Z., Safin F.R., Abdrazakov F.G., Farhutdinov T.T., Veledov M.I. Continuous diagnostics of technical condition and prediction of breakdowns of tractor and agricultural machinery. Certificate of registration of computer program RU 2021661661, 14.07.2021. Application № 2021660526 from 05.07.2021.

8. Safin F.R., Gafurov I.D., Bakiev I.T., Insafuddinov S.Z. Estimation of efficiency of satellite monitoring of work of harvesting equipment. Izvestiya International Academy of Agrarian Education. 2024. № 71. C. 83-87.

9. Kharisov D.D., Sakhibgarayev B.A., Valishin D.E., Insafuddinov S.Z. Method of remote diagnostics of technical condition of internal combustion engines. Patent for invention RU 2809889 C1, 19.12.2023. Application from 09.02.2023.

10. Chernoivanov, V.I. Digital technologies and electronic means in the system of maintenance and repair of tractor and combine machinery / V.I. Chernoivanov, I.I. Gaitov, A.V. Negovora // Proceedings of the international scientific and technical conference “Intellectual machine technologies and machinery in agriculture”. -M.: RAS, FGBNU Federal Scientific

Agroengineering Center VIM, 2017.

11. Bosch Mobility Solutions. https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-a nd-services/mobility-services/predictive-dia gnostics.

Инсафуддинов Самат Зайтунович – кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики и физики ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ. Адрес: г. Уфа, 50-лет Октября, 34, к. 266а/3, тел. (347) 228-52-00, e-mail: insamat@mail.ru

Веледов Магир Идриснаби старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности и технологического оборудования ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ. Адрес: г. Уфа, 50-лет Октября, 34, к.128, тел. (963) 236-37-39, veledov1976@gmail.com.

Абдразаков Фарит Гафиятович, соискатель ученой степени кандидата наук на кафедре теплоэнергетики и физики ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ. Адрес: г. Уфа, 50-лет Октября, 34, к. 266а/3, тел. (347) 228-52-00, e-mail: ensystems@mail.ru.

METHOD AND TECHNOLOGY OF CONTINUOUS PREDICTIVE DIAGNOSTICS OF AUTOMOTIVE TRACTOR AND COMBINE ENGINES

S.Z. Insafuddinov, M.I. Veledov, F.G. Abdrazakov
FGBOU VO Bashkir GAU

Abstract. Modern tractors, cars and mobile agricultural machinery are usually equipped with portable and on-board equipment, and also have Internet access. Navigation equipment provides information on the location, direction and speed of movement of autotractor units, while the electronic on-board system controls such components as the engine, transmission, working equipment, as well as a small amount of self-diagnostics and controls the quality of technological operations and other parameters. [3]. This paper proposes an innovative method of systematic use of all electronic devices for the implementation of continuous predictive technological state of the agricultural machine as a whole, which allows to reduce the downtime of equipment and reduce economic costs up to 14%. This is through the use of an improved device and method of predictive diagnostics of the technical condition of engine units and agricultural machinery in the first time.

Keywords: engine, diagnostics, telematics, forecast, repair, maintenance.

Insafuddinov Samat Zaytunovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering and Physics of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Bashkir State Agrarian University. Address: Ufa, 50-let Oktyabrya, 34, office 266a/3, tel. (347) 228-52-00, e-mail: insamat@mail.ru;

Veledov Magir Idrisnabi Senior Lecturer of the Department of Life Safety and Technologi-cal Equipment of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Bashkir State Agrarian University. Address: Ufa, 50-let Oktyabrya, 34, office 128, tel. (963) 236-37-39, veledov1976@gmail.com;

Abdrazakov Farit Gafiyatovich, candidate of science degree at the Department of Thermal Power Engineering and Physics of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Bashkir State Agrarian University. Address: Ufa, 50-let Oktyabrya, 34, office 266a/3, tel. (347) 228-52-00, e-mail: ensystems@mail.ru.

Реклама в нашем журнале

ВНИМАНИЕ!

Редакция **ЖУРНАЛА «АГРОТЕХНИКА И ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ»**
приглашает Вас к сотрудничеству.

Мы предлагаем разместить Вашу рекламу на страницах нашего журнала.
Наши читатели (Россия и зарубежье) — учебные и научные учреждения, предприятия следующих отраслей деятельности:

- сельскохозяйственные предприятия;
- предприятия тяжелой и легкой, перерабатывающей промышленности;
- энергокомпании;
- отраслевые НИИ;
- научно-производственные объединения;
- учебные заведения;
- библиотеки.

Каждый из номеров журнала распространяется более чем 500 адресатам.

Информацию о возможности размещения рекламной продукции и ценах Вы можете узнать в редакции журналов, а также у главного редактора.

Телефоны: 8202879024; 8(4862) 76-44-69.
Тел. (факс): 8(4862) 76-11-07

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – доктор технических наук, доцент
Александр Владимирович Виноградов
E-mail: winaleksandr@yandex.ru

Адрес: 302019, г. Орел, ул. Ген. Родина, 69, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, факультет агротехники и энергообеспечения, ауд. 2-211.

ПЕРЕДВИЖНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
ФГБОУ ВО «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.В. ПАРАХИНА»
при кафедре «Электроснабжение» Орловского ГАУ
г. Орёл, ул. Генерала Родина, д. 69, Орел ГАУ, ауд. 2-411

Передвижная электротехническая лаборатория ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина» **проводит измерения и испытания в электроустановках до 1000В:**

1. Измерение сопротивления изоляции электрооборудования, проводов и кабелей;
2. Измерение сопротивления заземляющих устройств;
3. Измерения сопротивления цепи между заземлителями и заземляемыми элементами;
4. Измерение сопротивления петли «фаза-нуль»;
5. Проверка срабатывания устройств защитного отключения (УЗО);
6. Проверка срабатывания автоматических выключателей до 1000В.

Электротехническая лаборатория ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина» зарегистрирована в Приокском управлении Ростехнодзора за №А10-14-888 от 20.10.2014г.

Также предлагаем услуги:

1. Проведение измерений качества электрической энергии.
2. Выполнение, редакция программ по энергосбережению, энергоаудит.
3. Монтаж электрооборудования.
4. Обслуживание электрохозяйства, подготовка документации по электрохозяйству.
5. Проведение курсов повышения квалификации по энергосбережению, электробезопасности, обучение по рабочей профессии «Электромонтер»
6. Выполнение проектов по электроснабжению.
7. Выполнение обследования состояния электропроводок.
8. Электротехнические расчеты.

Наши контакты:

Руководитель: Виноградов Александр Владимирович (к.т.н.)
тел: 89202879024, E-mail: winaleksandr@rambler.ru
инженер – метролог: Бородин Максим Владимирович (к.т.н.)
тел: 89208014190, E-mail: maksimka-borodin@yandex.ru
инженер – метролог: Семенов Александр Евгеньевич
тел: 89536130445, E-mail: semenow.ae@yandex.ru

ФГБОУ ВО «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.В. ПАРАХИНА»

Отдел сельскохозяйственного консультирования и развития сельских территорий ВНИИ социального развития села ФГБОУ ВО Орловский ГАУ принимает заявки на оказание консультационных услуг по следующим направлениям:

- в области агробизнеса и экологии;
- в области биотехнологий и ветеринарной медицины;
- в области экономики;
- в сфере социального и экономического развития сельских территорий;
- в области агротехники и энергообеспечения;
- в сфере строительства, эксплуатации и управления недвижимостью, ландшафтного дизайна;
- в сфере охраны труда и пожарной безопасности и др.

Более подробная информация об оказываемых услугах размещена на странице отдела по адресу:
http://www.orelsau.ru/science/institute-of-social-development-of-the-village/

Телефон: 8 (4862) 43-30-81
E-mail: vniisrs.orelsau@mail.ru

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ совместно с ФГБОУ ВО Орловским ГАУ
организуют проведение
постоянного научно-практического семинара «Энергообеспечение АПК»

Формат проведения: видеосвязь.
Периодичность: по мере поступления заявок на проведение, не реже 1 раза в 2 месяца.
Темы:
-всё, что связано с вопросами энергообеспечения АПК, электротехнологиями и электрооборудованием в АПК;

-вопросы цифровизации и роботизации в АПК и системах его энергообеспечения;

-современное сельскохозяйственное производство, проблемы и пути их решения, новые технологии;

-предварительное обсуждение кандидатских и докторских диссертаций;

-обсуждение совместных проектов, грантов;

- другие тематики.

Для участия, предложения тематики обсуждения:
написать письмо на электронную почту (в названии указать «семинар Энергообеспечение АПК»)
Почта: winaleksandr@gmail.com
Телефон: 89202879024 – Виноградов Александр Владимирович
При поступлении заявки на участие, адрес обратившегося вносится в рассылку и он уведомляется о теме и сроках проведения семинара.

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

ТАЙМЕР-ЭЛЕКТРОСЧЕТЧИК МОБИЛЬНЫЙ ПОРТАТИВНЫЙ С БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ (ТЭМП-3-W)

TIMER-ELECTRIC METER MOBILE PORTABLE WITH WIRELESS DATA TRANSMISSION (TEMMP-3-W)

Устройство решает следующие задачи:



- осуществление удалённых измерений (передача результатов на сайт. Хранение результатов на карте памяти);
- определение потерь на участках электрической сети;
- сведение энергобалансов по участкам сети;
- оптимизация уставок ПБВ силовых трансформаторов;
- обследование ЛЭП с выявлением причин завышенных потерь, показателей качества электроэнергии;
- энергоаудит сетей и оборудования сельхозпредприятий;
- построение графиков нагрузки, оценка времени наработки оборудования;
- проверка средств релейной защиты и автоматики;
- использование в качестве штатного измерительного прибора;
- оценка потерь электроэнергии в силовых трансформаторах без отключения их от сети и с ранжированием на потери короткого замыкания, нагрузочные потери и потери холостого хода;
- выявление хищений электроэнергии при обходах потребителей, за счет возможности установки устройства до электросчетчика абонента без разрывания электрической цепи и без нарушения её изоляции.

Технические характеристики:

Погрешность измерений: 0 – 1,5%	Диапазон измерения тока: 0 – 400 А (в зависимости от комплектации)
Дальность передачи данных: до 1,5 км	Диапазон измерения напряжения: 0 – 450 В
Время автономных измерений: до 24 ч	Тип аккумуляторной батареи: литий-ионная
Стоимость: 20-30 тыс. руб. (в зависимости от комплектации)	Степень защиты оболочки: IP55

Контактная информация

+79202879024 (Александр Виноградов) schkolamolen@gmail.com

+79536281466 (Алексей Букреев) alexziend@gmail.com

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

ТАЙМЕР-ЭЛЕКТРОСЧЕТЧИК МОБИЛЬНЫЙ ПОРТАТИВНЫЙ ТРЁХФАЗНЫЙ (ТЭМП-3)

TIMER-ELECTRIC METER MOBILE PORTABLE THREE-PHASE (TEMMP-3)

ТЭМП-3 осуществляет:



- учет электроэнергии;
- измерение и архивирование значений времени включенного/отключенного состояния потребителя с фиксацией моментов включения и отключения;
- измерение и архивирование значений потребляемого тока;
- измерение напряжения и архивирование значений напряжения;
- измерение и архивирование максимальных значений потребляемого тока;
- измерение и архивирование максимальных значений потребляемой мощности;
- измерение и архивирование значений потребляемой мощности без измерения значений напряжения;
- измерение и архивирование значений потребляемой мощности с измерением значений напряжения.

ТЭМП-3 может использоваться для:

- сведения энергобалансов по участкам сети;
- энергоаудита сетей и оборудования сельхозпредприятий;
- построения графиков нагрузки, оценки времени наработки оборудования;
- проверки средств релейной защиты и автоматики;
- использования в качестве штатного измерительного прибора;
- выявления хищений электроэнергии при обходах потребителей, за счет возможности установки устройства до электросчетчика абонента без разрывания электрической цепи и без нарушения её изоляции.

Технические характеристики:

Погрешность измерений: 0 – 1,5%	Диапазон измерения тока: 0 – 400 А (в зависимости от комплектации)
Время автономных измерений: 24 ч	Диапазон измерения напряжения: 0 – 450 В
Тип аккумуляторной батареи: литий-ионная	Степень защиты оболочки: IP55

Стоимость: 15-30 тыс. руб.
(в зависимости от комплектации)

Контактная информация

+79202879024 (Александр Виноградов) schkolamolen@gmail.com

+79536281466 (Алексей Букреев) alexziend@gmail.com

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
при участии ФГБОУ ВО Орловский ГАУ им. Н.В. Парахина

ПРИБОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,4 кВ (КОПиРР)

INSTRUMENT COMPLEX FOR ESTIMATING ELECTRICITY LOSSES AND STUDYING THE OPERATING MODES OF ELECTRICAL NETWORKS 0.4 kW (CELaOM)

Комплекс решает следующие задачи:



- измерение и архивирование потребляемого тока в точках установки датчиков комплекса;
- измерение и архивирование потребляемой мощности в точках установки датчиков комплекса;
- измерение и архивирование потребляемой электроэнергии в точках установки датчиков комплекса;
- измерение и архивирование потребляемой электроэнергии в точках установки датчиков комплекса;
- измерение и архивирование значений напряжений трехфазной сети в точках установки датчиков комплекса;
- фиксация моментов включения и отключения нагрузки на участке сети в точках установки датчиков комплекса;
- дистанционное получение данных о параметрах режимов работы сети с датчиков комплекса через радио-канал;
- синхронизацию по времени измерения между датчиками, входящими в комплекс и привязка к астрономическому времени.

Технические характеристики:

Погрешность измерений: 0 – 1,5%	Диапазон измерения тока: 0 – 400 А (в зависимости от комплектации)
Дальность передачи данных: до 1,5 км	Диапазон измерения напряжения: 0 – 450 В
Время автономных измерений: до 24 ч	Тип аккумуляторной батареи: литий-ионная
Количество точек измерения (кол-во измерительных блоков): до 6	Наличие проколов для изолированных проводов (СИП и тд.)
Стоимость: 80-100 тыс. руб. (в зависимости от комплектации)	Степень защиты оболочки: IP65

Контактная информация

+79202879024 (Александр Виноградов) schkolamolen@gmail.com

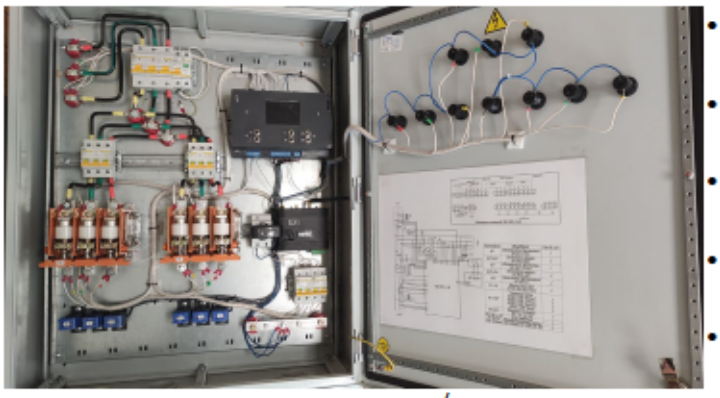
+79536281466 (Алексей Букреев) alexziend@gmail.com

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
при участии
ФГБОУ ВО Орловский ГАУ
им. Н.В. Парахина

МУЛЬТИКОНТАКТНАЯ КОММУТАЦИОННАЯ СИСТЕМА С ДВУМЯ КОНТАКТНЫМИ ГРУППАМИ И ТРЕМЯ ВЫВОДАМИ (МКС-2-3В)

MULTI-CONTACT SWITCHING SYSTEM WITH TWO CONTACT GROUPS AND THREE TERMINALS (MSS-2-3T)

В МКС-2-3В реализованы следующие функции:



- измерение значений токов в магистрали и отпайке ЛЭП;
- измерение значений напряжений на выводах;
- управление двумя независимыми коммутационными аппаратами;
- выполнение функции автоматического повторного включения (АПВ);
- обмен данными по интерфейсу RS-485;
- автоматическое включение/отключение коммутационных аппаратов при появлении/исчезновении напряжения на вводе;
- автоматическое отключение коммутационных аппаратов при превышении заданных токовых уставок;
- передача данных по протоколу Modbus RTU;
- осуществление сигнализации диспетчеру;
- отображение символьных данных на дисплее контроллера МКС-2-3В;
- запись основных измеренных параметров на внешний накопитель;
- передача данных по протоколу Modbus RTU;
- ручное включение/отключение коммутационных аппаратов с помощью клавиатуры контроллера;
- диспетчерское включение/отключение коммутационных аппаратов;
- ручная и диспетчерская настройка параметров контроллера;
- сохранение значений конфигурационных параметров в энергонезависимой памяти.

Технические характеристики:

Погрешность измерений: 0 – 1,5%	Диапазон измерения тока: 0 – 400 А (в зависимости от комплектации)
Количество контактных групп: 2	Диапазон измерения напряжения: 0 – 270 В
Протокол передачи данных: Modbus RTU	Тип аккумуляторной батареи: литий-ионная
Стоимость: 60-100 тыс. руб. (в зависимости от комплектации)	Время автономной работы контролера:10 ч.

Контактная информация

+79202879024 (Александр Виноградов) schkolamolen@gmail.com

+79536281466 (Алексей Букреев) alexziend@gmail.com