

**В. Г. Андруш¹, Г. И. Белохвостов¹, В. В. Русских¹,
Н. Н. Жаркова¹, В. И. Володкевич²**

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: v.g.andrush.uot@bsatu.by

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: info@belagromech.by

БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ РАБОТЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПОД ЛИНИЯМИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Аннотация. Для предотвращения поражения электрическим током оператора во время работы габаритной сельскохозяйственной техники под линиями электропередач (ЛЭП) предложено устройство, сигнализирующее о приближении техники к ЛЭП на недопустимое расстояние.

Ключевые слова: охрана труда, габаритная сельскохозяйственная техника, безопасность оборудования, электрический ток, сигнализация.

V. G. Andrush¹, G. I. Belokhvostov¹, V. V. Russkih¹, N. N. Zharkova¹, V. I. Volodkevich²

¹EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: v.g.andrush.uot@bsatu.by

²RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultura Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: info@belagromech.by

SAFETY WHEN OPERATING AGRICULTURAL MACHINERY UNDER POWER LINES

Abstract. To prevent electric shock to the operator during the operation of large-scale agricultural machinery under power lines (power lines), a device has been proposed that signals the approach of equipment to power lines at an unacceptable distance.

Keywords: labor protection, overall agricultural machinery, equipment safety, electric current, signaling.

Исторически сложилось, что над сельскохозяйственными полями проходят многочисленные линии электропередач (ЛЭП), и в ближайшей перспективе заменить их на кабельные не представляется возможным. Уборка урожая, погрузка и разгрузка тюков соломы, работа самосвалов, кранов, экскаваторов часто выполняются вблизи этих линий, что является одной из причин травмирования работников электрическим током.

Согласно данным, за период с 2017 по 2020 г. произошло девять несчастных случаев, связанных с поражением электрическим током от ЛЭП, в том числе пять – со смертельным исходом [1, 2].

Для обучения работников безопасному ведению работ на комбайнах и других высокогабаритных машинах и механизмах вблизи ЛЭП подготовлен перечень основных требований безопасности, необходимых к соблюдению [3, 4].

Существуют установленные минимальные расстояния от наивысшей точки машины или груза на транспортных средствах до проводов ЛЭП при ее приближении или пересечении [5]. Однако оператору мобильной техники сложно, а порой и практически невозможно визуально определить расстояние до проводов высоковольтной линии (ВЛ) в силу различных причин (провисание, обрывы проводов, отсутствие у оператора мобильной техники средств контроля и измерения, незнание нормативов, отсутствие информации о напряжении ВЛ, плохая видимость, неблагоприятные метеорологические условия и т. п.).

Поэтому, кроме выполнения основных требований безопасности, в рассмотренных выше опасных ситуациях оператору рекомендуется применять специальные технические устройства (сигнализирующие, визуализирующие, регистрирующие и др.).

Расстояние до проводов ЛЭП при приближении техники можно определить по величине электромагнитного поля. В основу методики расчета напряженности электрического поля положена теорема Гаусса, которая применима в случае протяженных проводников линии и однородности ее конфигурации с расстоянием: поле убывает обратно пропорционально кубу расстояния до точки наблюдения [6].

Экспериментальная проверка картины распространения электромагнитного поля ЛЭП в окружающей среде выполнена с использованием сертифицированного в Республике Беларусь измерителя напряженности электрических и магнитных полей ПЗ-80 [7]. Измерения проведены между двумя параллельно проходящими ЛЭП «Минск-Северная» – «Минск-Восточная» с напряжением 110 кВ, одна из которых на металлических, а вторая на железобетонных опорах. Полученные в ходе эксперимента данные имеют нелинейную зависимость, анализ которой показывает, что с увеличением расстояния от проводов ЛЭП величина электромагнитного поля уменьшается по экспоненциальному закону. При измерениях магнитного поля наблюдается значительный разброс показаний прибора, на работу которого оказывают влияние условия измерения в техногенной среде, что необходимо учитывать при разработке устройства обнаружения и сигнализации при приближении к линии электропередач.

Для безопасной работы крупногабаритной техники под ЛЭП необходимо выдерживать минимальные расстояния от наивысшей точки машины до проводов ЛЭП, которые зависят от напряжения в линии. Данные о величине напряжения линии можно получить в местных отделениях электросетей или через глобальную навигационную спутниковую систему (ГНСС), принцип работы которой представлен на рис. 1. Возможность слежения за мобильной техникой обеспечивает специальное оборудование – ГЛОНАСС/GPS-терминал, который с заданной частотой принимает сигналы от ГНСС [8].

Терминал устанавливается на транспортном средстве, географическое местонахождение которого определяется по координатам точки приема сигнала. Пройденный путь и скорость регистрируются по изменению местоположения объекта за время приема и отправки сигнала [9].

Изображение, которое пользователь видит на экране или в видеискателе, улавливается специальным светочувствительным сенсором. Сигнал передается от матрицы (сенсора) в процессор, который преобразует его в изображение и выводит на экран, а также сразу записывает на носитель [10].



Рис. 1. Принцип работы ГНСС

Недостатками известных устройств сигнализации [11] являются низкая надежность, т. е. вероятность ложного срабатывания ввиду недостаточной помехоустойчивости, и информативность, что не позволяет точно определять расстояние до ЛЭП с учетом значения номинального напряжения или при отключении ЛЭП антенна перестанет улавливать ее сигнал.

В работах [12, 13] предлагается на более высоком уровне использовать существующие технические решения в сфере безопасности проведения сельскохозяйственных работ под ЛЭП, дополняя действующие устройства и разрабатывая новые.

Существует методика измерения расстояний и размеров объектов, основанная на принципах фотограмметрии и корреляционной обработке цифровых изображений стереопары, которая в последующем выводится как расстояние до ЛЭП на дисплей оператора. Она включает в себя специально разработанное приложение, которое обрабатывает полученное с камеры изображение и позволяет выводить на дисплей значения расстояний до всех ближайших объектов с высокой точностью [14]. Предлагается использовать данную систему для определения расстояний от движущегося объекта до ближайшей ЛЭП и интегрировать ее в систему управления крупногабаритной техникой.

По результатам проведенных нами исследований разработано «Устройство для обнаружения и сигнализации при приближении к линии электропередач» (рис. 2).

Данное устройство работает следующим образом [15]. В антенне 1 электрическое поле ЛЭП наводит переменное напряжение частотой 50 Гц. Наведенное переменное напряжение и широкополосные импульсные помехи усиливаются широкополосным усилителем 4, напряжение на выходе которого ограничивается ограничителем амплитуды сигнала 5. Широкополосная импульсная помеха в ограничителе амплитуды сигнала 5 ограничивается по амплитуде, а сигнал от ЛЭП остается неизменным.

При уменьшении амплитуды широкополосной импульсной помехи пропорционально уменьшаются амплитуды всех ее спектральных составляющих, в том числе и попадающих в полосу пропускания блока узкополосной фильтрации и усиления 2.

Изображение с фотокамеры 6 передается на блок дальномера 7, который за счет последовательного формирования сигналов изображений и их последующей совместной обработки определяет линейные размеры объектов и расстояние до них. Полученный сигнал через первый выход блока дальномера 7 включает блок спутникового позиционирования 8 и передает данные к блоку задания минимального расстояния в зависимости от напряжения ЛЭП 9. Одновременно данные со второго выхода блока дальномера 7 и с выхода блока задания минимального расстояния в зависимости от напряжения ЛЭП 9 поступают в блок сравнения 10, в котором происходит сравнение с сигналом блока дальномера 7 и передача на устройство цифровой обработки и сигнализации 3. Если значение расстояния до ЛЭП, определенное блоком дальномера 7 станет меньше расстояния, определенного блоком задания минимального расстояния в зависимости от напряжения ЛЭП 9, то на выходе блока сравнения 10 появится сигнал, вызывающий срабатывание устройства цифровой обработки и сигнализации 3, предупреждающий оператора об опасности. Данное устройство также срабатывает и при поступлении сигнала с выхода блока узкополосной

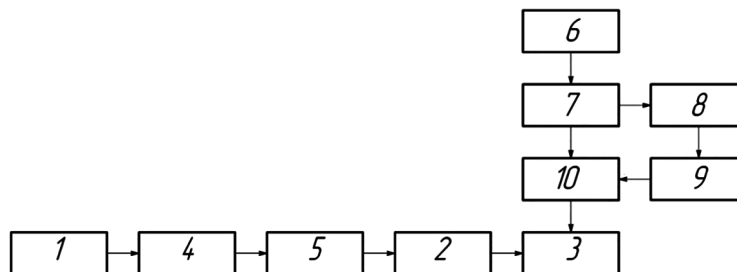


Рис. 2. Схема устройства для обнаружения и сигнализации при приближении к линии электропередач:
 1 – антенна; 2 – блок узкополосной фильтрации и усиления; 3 – устройство цифровой обработки и сигнализации; 4 – широкополосный усилитель; 5 – ограничитель амплитуды сигнала; 6 – фотокамера; 7 – блок дальномера; 8 – блок спутникового позиционирования; 9 – блок задания минимального расстояния в зависимости от напряжения ЛЭП; 10 – блок сравнения

фильтрации и усиления 2. Сигнал возникает при обнаружении магнитного поля ЛЭП антенной 1, что повышает надежность обнаружения и сигнализации при приближении на недопустимое расстояние.

Выводы

1. Проанализировано состояние производственной безопасности при проведении работ с использованием габаритной сельскохозяйственной техники вблизи ЛЭП. Проведены необходимые теоретические и экспериментальные исследования.

2. Результаты эксперимента подтверждают, что с увеличением расстояния от проводов ЛЭП величина электромагнитного поля убывает обратно пропорционально кубу расстояния до точки наблюдения. При измерениях магнитного поля наблюдается значительный разброс показаний прибора, на работу которого оказывают влияние условия измерения в техногенной среде, что необходимо учитывать при разработке устройства обнаружения и сигнализации при приближении к ЛЭП.

3. По итогам проведенных исследований разработано «Устройство для обнаружения и сигнализации при приближении к линии электропередач», работающее по двум независимым каналам. Установка предлагаемого устройства позволит своевременно предупредить оператора крупногабаритной техники о приближении к ЛЭП на недопустимое расстояние и тем самым обеспечит его защиту от поражения электрическим током.

Список используемых источников

1. Интернет-портал Госэнергонадзора [Электронный ресурс] / Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022. – Режим доступа: <https://gosenergogaznadzor.by/novosti/informatsiya-po-neschastnym-sluchayam-/neschastnye-sluchai-ot-pogazheniya-elektricheskim-tokom-naselenie/>. – Дата доступа: 02.03.2022.

2. Интернет-портал Белэнерго Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022. – Режим доступа: <https://belenergo.by/content/infocenter/news/?tag=происшествия>. – Дата доступа: 02.03.2022.

3. Соблюдение требований безопасности при проведении сельскохозяйственных работ вблизи ЛЭП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mshp.gov.by/ohranatruda/b0d6f75a37269b70.html>. – Дата доступа: 02.03.2022.

4. Электробезопасность : пособие / сост.: А. И. Федорчук, В. Г. Андруш, О. В. Абметко. – Минск : БГАТУ, 2012. – 188 с.

5. Правила по охране труда при производстве и послеуборочной обработке продукции растениеводства : Постановление Мин-ва сельск. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, 15 апр. 2008 г., № 36 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2008. – № 8/18787.

6. Электрическое и магнитное поля высоковольтной воздушной линии на удалении от нее / Б. К. Сивяков [и др.] // Вестн. Саратовск. гос. техн. ун-та им. Ю. А. Гагарина. Физ.-матем. науки. Энергетика. – 2015. – № 3. – С. 200–206.

7. Электромагнитное поле. Измерение электромагнитного поля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.eurolab.ru/elektromagnitnoe_pole. – Дата доступа: 02.03.2022.

8. Глобальные навигационные спутниковые системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2018/13.pdf. – Дата доступа: 02.03.2022.

9. Спутниковый мониторинг транспорта глонасс/gps [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://skrt.biz/monitoring-transporta>. – Дата доступа: 02.03.2022.

10. Определение расстояния до объекта в зоне движения автомобиля, используя анализ видеоданных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1511/1511.07963.pdf>. – Дата доступа: 02.03.2022.

11. Автоматические сигнализаторы опасного напряжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/700176>. – Дата доступа: 02.03.2022.

12. Андруш, В. Г. Комплекс технических решений, повышающих безопасность работы зерноуборочного комбайна под линиями электропередач / В. Г. Андруш, Г. И. Белохвостов, В. В. Русских // Актуальные проблемы устойчивого развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск 3–4 июня 2021 г. / редкол.: Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2021. – С. 343–346.

13. Русских, В. В. Решения, повышающие безопасность работы габаритной сельскохозяйственной техники под линиями электропередач / В. В. Русских, В. Г. Андруш, Г. И. Белохвостов // Забезпечення цивільної безпеки в сучасних умовах : матеріали I Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., Мелітополь, Україна, 26–30 квіт. 2021 р. / відп. ред. О. В. Яцук. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. – С. 83–87.

14. Измеритель дальности и размерных параметров объектов на основе цифровой фотокамеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/5009/1/09%D0%9A%D0%BE%D0%B7%D0%BB%D0%BE%D0%B2.pdf>. – Дата доступа: 02.03.2022.

15. Устройство для обнаружения и сигнализации при приближении к линии электропередач : положительный результат предварительной экспертизы по заявке на выдачу патента на изобретение : МПК G 01R 31/34 / В. Г. Андруш, Г. И. Белохвостов, В. В. Русских, А. А. Пинчук. – № а 20210180. – Заявлен приоритет по дате: 21.06.2021.