ваться в качестве полноценного членов общества, с другой – создаст личностно-творческие ориентиры на дальнейшее развитие.

Все это на третьем этапе обеспечит возможность получать квалификацию специалиста среднего звена по заочной форме. Для эмоционального воздействия на обучающихся будет реализовано небольшое количество часов контактной работы, а основной образовательный процесс будет проходить в виде самостоятельной работы с использованием возможностей цифровых технологий. Практическая подготовка предполагает наряду с работой по профессии рабочего постепенное вовлечение в выполнение обязанностей техника, бригадира, руководителя малого коллектива.

Предложенная модель ускоренной подготовки кадров для АПК позволит не только насытить рынок труда, но и обеспечит основу для дальнейшего профессионального роста молодежи по приоритетным для государства направлениям.

Список использованной литературы

1. Синельников, В.М. Направления развития и повышения эффективности молоко– и мясоперерабатывающей промышленности / В.М. Синельников, В.В. Цвирков, А.И. Попов, С.В. Бондарь. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2024. – 160 с.

2. Синельников, В.М. Развитие плодоовощного подкомплекса АПК в современных условиях / В.М. Синельников, В.В. Цвирков, А.И. Попов. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 132 с.

3. Тетеринец, Т.А. Теоретические основы управления человеческим капиталом в условиях инновационных преобразований агропромышленного комплекса / Т.А. Тетеринец, А.И. Попов. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – 216 с.

УДК 620.192.63

О.В. Бондарчук, *канд. техн. наук,* **О.А. Щербо,**
Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖАЮЩИХ ОБЪЕКТЫ АПК

Ключевые слова: кабель, надежность электроснабжения, высоковольтные испытания, электрофизические измерения, агропромышленный комплекс.

Key words: cable, reliability of power supply, high-voltage tests, electrophysical measurements, agro-industrial complex.

Аннотация. Представлены методика и результаты испытаний кабельных линий повышенным напряжением. Из чего видно, что кабельные линии старше 30 лет, эксплуатируемые объектами АПК, проложенные в один тот же год в различных условиях окружающей среды, имеют неодинаковые электрические характеристики и, следовательно, разный срок службы. Данные исследования позволяют, используя представленные методики диагностирования кабельных линий, своевременно предупредить аварии, тем самым обеспечить надежность электроснабжения объектов АПК.

Abstract. The methodology and results of testing of cable lines with increased voltage are presented. From what it is seen that cable lines older than 30 years, operated by AIC objects, laid in the same year in different environmental conditions, have different electrical characteristics and, therefore, different service life. These studies allow, using the presented methods of diagnostics of cable lines, to prevent accidents in time, thereby ensuring the reliability of power supply of AIC facilities.

Ранее существовало мнение, что сельскохозяйственное производство нечувствительно к последствиям перебоев в электроснабжении и вызванные этим потери очень малы. В настоящее время требования сельскохозяйственных потребителей к надежности электроснабжения существенно возросли. Предприятия АПК приближены к современному промышленному производству, и внезапные отключения электроэнергии могут привести к его остановке и значительным материальным потерям. Также необходимо учитывать и неудобства, которые испытывают жители села во время отключения электроэнергии.

Основу сельскохозяйственных, промышленных и других систем электроснабжения составляют электрические сети. Протяженность силовых кабельных линий (КЛ) в электросетевом балансе имеет тенденцию к увеличению в связи с тем, что они являются основным видом распределительных электрических сетей, а воздушные линии из-за использования больших земельных площадей АПК постепенно замещаются КЛ.

Среднее количество повреждений КЛ 6-10 кВ на 100 км составляет 10-25 единиц/год , что 1,5-2 раза меньше, чем в сетях ВЛ. Силовые КЛ 6-10 кВ в основном повреждаются из-за: дефектов прокладки – 10%; естественного старения – 36%; механических повреждений – 15%; заводских дефектов – 10%; электрической коррозии – 19%; а так же прочих дефектов связанных с ошибками при текущем ремонте или эксплуатации – 10% [1].

Распространенным дефектом кабельных линий является обрыв жил при перемещениях и осадке грунта на трассе линии, а также при температурной деформации. Длительность интервалов времени от момента возникновения дефекта до устойчивого повреждения КЛ находится в широком диапазоне от долей секунды до многих месяцев.

В условиях эксплуатации происходит старение электрической изоляции кабелей. Нарушением электрической прочности изоляции составляет 37% всех отказов силовых кабелей. Кабельные линии 6-10 кВ имея срок эксплуатации 25-35 лет эксплуатируют до 60 лет и более [2]. Поэтому периодическое диагностирование позволит обнаружить отклонение электрических характеристик кабельной линии, своевременно произвести ремонт либо реконструкцию, тем самым снизить риски аварийных отключений электроэнергии на объектах АПК, уменьшить простои производства и обеспечить всоевременный отпуск продукции.

В статье исследованы электрические характеристики кабельных линий при испытаниях в передвижной лаборатории высоковольтных испытаний (далее–ЛВИ) HVT–3AG смонтированной на автомобильном шасси.

Методика заключается в следующем. Перед началом высоковольтных испытаний проводят диагностирование кабельной линии импульсным методом с помощью рефлектометра TDR-109, который позволяет получить рефлектограмму кабельной линии, определить места переходного сопротивления (соединительные муфты или места ослабленной изоляции), а также конец линии с установлением ее истинной длины.

Затем измеряют сопротивление изоляции при помощи мегаомметра. Удовлетворительной считают изоляцию сопротивление которой составляет 1 МОм на каждый киловольт рабочего напряжения. Испытательное напряжение принимается для кабелей с пластмассовой изоляцией на напряжение 0,66 кВ при вводе в эксплуатацию – 3,5 кВ, на напряжение 1 кВ – 5,0 кВ, на 6 кВ – 36 кВ, на 10 кВ – 60 кВ [3].

Ранее с мегаомметрами механического типа ЭС0-210/2-Г было доступно только непосредственное измерения сопротивления изоляции и коэффициента диэлектрической абсорбции (*DAR*), а с применением электронных мегаомметров типа Е6-32 стало доступно и измерение показателя поляризации (*PI*). Для оценки состояния изоляции достаточно провести измерение через 30 и 60 секунд. Коэффициент *DAR*:

$$DAR = \frac{R_{60}}{R_{30}} \qquad (1)$$

Результаты состояния изоляции интерпретируется следующим образом: *DAR*<1,25 – неудовлетворительное; *DAR*<1,6 – нормальное; *DAR*>1,6 – отличное [4].

При исследовании показателя поляризации два показания снимаются через 1 и 10 минут соответственно.

$$PI = \frac{R_{10}}{R_1} \qquad (2)$$

В общем случае значение $PI>4$, является признаком хорошей изоляции, а $PI<2$ указывает на проблему.

При удовлетворительных значениях показателя поляризации и диэлектрической абсорбции приступают к непосредственным высоковольтным испытаниям кабельных линий.

Для кабелей на напряжения до 35 кВ с бумажной и пластмассовой изоляцией длительность приложенного испытательного напряжения при приемо-сдаточных испытаниях – 10 минут, а в процессе эксплуатации – 5.

Для кабелей с резиновой изоляцией на напряжение от 3 до 10 кВ длительность приложенного полного испытательного напряжения – 5 мин. Кабели с резиновой изоляцией до 1000 В испытаниям не подвергаются.

В статье были исследованы электрические характеристики двух участков кабельной линии проложенной в различных условиях окружающей среды. Кабельная линия напряжением 6 кВ построена во время электрификации участка дороги «Минск-Осиповичи» в 1970 году. Линия выполнена кабелем марки ЦАСБл 3х25. Были исследованы два участка данной линии: первый от ТП-2054 до ТП-20б№6 и второй – от ТП-20б№2 до ТП-20б№1.

Первый участок трассы уложен в местный грунт без песчаной подушки и подсыпки, сверху укрыт кирпичом. Проектная глубина залегания составляла 90 см. Однако, за время эксплуатации глубина заложения изменилась. Так как произошло расширение дороги с подсыпкой, выравнивание обочин и озеленение. Следовательно, глубина приобрела неравномерный характер от 1,2 м до 2,2 м.

При исследовании линии с помощью рефлектометра просматривались невыраженные начало и конец линии, что свидетельствовало о низком волновом сопротивлении изоляции, коэффициенте поляризации и пониженном сопротивлении, которое составило: $R_а$-10 МОм; $R_в$-20 МОм; $R_с$-10 МОм. Сопротивление изоляции кабеля на 6 кВ можно считать удовлетворительным, если оно превышает 6 МОм измеренных мегаомметром на 2,5 кВ. Как можно судить по измерениям, сопротивление изоляции стремится к нижнему пределу. Асимметрия сопротивлений по фазам также указывает на проблему.

При проведении высоковольтных испытаний кабельная линия не выдержала и произошел пробой двух различных фаз на землю в разных местах. После испытаний выдан протокол о несоответствии кабеля нормативным параметрам и невозможности его дальнейшей эксплуатации.

Близкое нахождение электрифицированных железнодорожных путей оказало пагубное воздействие на кабельную линию, связанное с электро-эрозией кабеля. Также движение поездов и автомобилей создавало вибрационные динамические нагрузки.

С 2020 года на данной кабельной линии участились повреждения, заключающиеся в однофазных замыканиях на землю. Ремонт старого кабеля был экономически не целесообразен в виду электро-эрозии его оболочки, достижения нижнего предела сопротивления изоляции, а также нарушений, допущенных при укладке кабеля. В результате данный участок кабельной линии выведен из эксплуатации и произведен его капитальный ремонт с укладкой нового кабеля.

Второй участок трассы ТП-20б№2 – ТП-20б№1 пролегает в охранной полосе отвода железной дороги и уложен в местный грунт с песчаной подушкой и подсыпкой. Сверху укрыт кирпичом, проектная и физическая глубина залегания составляет 90 см.

Исследование линии с помощью рефлектометра показало явно выраженные начало и конец линии, а также наличие переходных сопротивлений, что указывает на присутствие ремонтных либо соединительных муфт и на высокое волновое сопротивление изоляции.

Далее при замере сопротивления были получены значения: R_a-50 Мом; $R_в$-50 Мом; R_c-45 Мом. Данные показатели соответствуют нормам. Асимметрия сопротивлений практически отсутствует.

Успешно прошли и высоковольтные испытания линии. Изоляция выдержала, пробой отсутствовал. Однако, было обращено внимание на различный ток утечки по фазам. В связи с чем время испытания было увеличено, что привело к скачкообразным возрастаниям тока. Осмотр показал коронацию, а дальнейшее ощупывание выявило нагрев концевой разделки кабеля в ТП20б№1, которая находится на пригорке. Было принято решение о необходимости предупредительного ремонта с заменой кабеля на подъёме в ТП, а также монтаже концевой и соединительной муфты.

Так как показатели данного участка кабеля указывали на хорошее состояние линии (высокое сопротивления изоляции, малые токи утечки, а также соблюдение требований при укладке кабеля), это позволило судить об экономической целесообразности предупредительного ремонта. Замена кабелей на подъемах была необходима ввиду истлевания наружных защитных слоев, атмосферной коррозии и оттока пропиточных масел под действием силы гравитации (высыхание изоляции кабеля).

После проведенного ремонта был выдан протокол о соответствии кабеля нормативным параметрам и возможности его дальнейшей эксплуатации. Протоколы необходимы не только для подтверждения соответствия

характеристик кабелей нормативным величинам, но и для анализа состояния кабельных линий во время дальнейшей эксплуатации.

Своевременное выявление и ремонт кабельных линий, позволяет как понизить аварийность, повысить отказоустойчивость потребителей АПК I категории надежности, так и продлить срок службы самой линии. Поэтому для сетей старше 30 лет интервал испытания устанавливается годовым графиком ППР [3]. Что в свою очередь дает возможность спрогнозировать экономические затраты на ремонт. Следовательно, кабели, проложенные в среде отличающейся от проектной и эксплуатируемые более нормативного срока службы необходимо своевременно диагностировать при помощи ЛВИ, во избежание аварийных отключений КЛ, тем самым обеспечивая необходимую категорию надежности электроснабжения объектов АПК, ведь ухудшение общего состояния линии не происходит мгновенно.

Список использованной литературы

1. Говердовский, Р. Г. Техническое состояние кабельных линий 6-10 кВ АПК / Р. Г. Говердовский // Инновационная наука. – 2017. – № 2-1. – С. 34-38.

2. Дубяго М.Н. Разработка модели старения и определение остаточного ресурса изоляции силовых кабелей // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. №4 (153). С. 107–114.

3. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний : ТКП 339-2022. – Введ. 01.03.2022. – Минск : Минэнерго, 2022. – 602 с.

4. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: ТКП 181-2022. – Введ. 01.07.2022. – Минск: Минэнерго, 2022. – 338 с.