

**КГЭУ**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Научно-исследовательская работа по теме:  
«Трассировка кабельных линий и факторы, влияющие на их обнаружение»

Работу подготовил:

Филимонов С.С.

Научный руководитель:

К.т.н, доцент кафедры ТОЭ КГЭУ Аскаров Р.Р.

Казань, 2022

## Оглавление

Введение.....	3
Основная часть.....	4
Заключение.....	10
Список использованных источников.....	15

## Введение

Научная работа посвящена исследованию особенностей индукционного метода в задачах контроля параметров залегания кабельных линий. Целью работы является поиск возможностей для совершенствования индукционного метода при решении вопросов оптимизации затрат на раскопки кабельной линии. Для этого выбран трассопоисковый комплект и объекты обследования на базе университетского учебно-исследовательского полигона электроэнергетической сети при лаборатории испытаний и диагностики кабельных линий среднего напряжения. В ходе исследований определены такие параметры прокладки кабельной линии в грунте как местоположение и глубина, которые позволили провести сравнение с проектной документацией и выявить незначительные отклонения от плановых параметров. Исследованы сигналы трассопоискового прибора в местах прокладки кабельной линии в трубах и выявлена возможность нахождения их границ. На основании этих результатов разработана методика, которая дополняет существующий индукционный метод в задачах обнаружения трубных границ и позволяет определить места для последующих раскопок. Полученные результаты рекомендуется использовать в работе ремонтного персонала по замене и восстановлению работоспособности кабельных линий, проложенных в трубах в грунте, а также в учебном процессе при развитии профессиональных компетенций кадрового состава электроэнергетических направлений подготовки специалистов.

## Основная часть

### ВСТУПЛЕНИЕ

Повышенная активность электрификации в последнее десятилетие обусловлена наиболее быстрыми и эффективными способами прокладки кабельных линий (КЛ), такими как: воздушная и подземная. Подземные способы прокладки коммуникаций чаще используются в селитебных зонах и выполняются либо в траншее, либо бестраншейными способами: метод прокола, плужный метод, горизонтальное направленное бурение, продавливание грунта и др. В связи с обширным использованием бестраншейных методов в городской среде становится всё сложнее выявлять трассу с проложенными силовыми кабелями [1] – [2]. Актуальность работы заключается в необходимости совершенствования методов определения мест повреждений в КЛ и разработки соответствующих методик, учитывающих особенности развития подземных электрических сетей в России.

Важно отметить, что каждый из способов прокладки может оказывать влияние на срок эксплуатации кабеля. Наиболее удобный и экономически выгодный способ: горизонтально-наклонное бурение и продавливание не требует много пространства для проведения работ, обладает меньшим эффектом влияния на существующую инфраструктуру, а также предусматривает прокладку специальной трубы. Труба выполняет защитную роль и облегчает протяжку кабеля без повреждений его оболочки. Однако повреждения кабеля встречаются внутри труб вследствие накопления влаги и воды в ее нижней точке. Ликвидация повреждений внутри труб является актуальной задачей, с которой сталкиваются ремонтные бригады [3] – [4].

При вводе линии в эксплуатацию производятся проверки сопротивления изоляции с помощью мегомметра. Поврежденная КЛ имеет сопротивление со значениями ниже допустимых по соответствующей нормативной документации. В таких случаях КЛ считается непригодной для эксплуатации и осуществляется поиск места утечки тока через изоляцию в области сниженного сопротивления. Метод оценки сопротивления изоляции не позволяет определить местоположение этого повреждения – для этих целей используется индукционный метод, который требует предварительного снижения переходного сопротивления. Это достигается прожиганием изоляции кабеля в месте повреждения. На повреждённые фазы подается напряжение, достаточное для пробоя изоляции в месте повреждения. После некоторого времени повторения пробоев переходное сопротивление в месте повреждения уменьшается, разрядное напряжение снижается, а ток разряда увеличивается. Изоляция прожигается этим током, переходное сопротивление в месте повреждения уменьшается и появляется возможность для поиска места повреждения специальными методами [5] – [6]. В рамках данного исследования выбран индукционный

метод, основанный на принципе улавливания электромагнитного поля на поверхности земли при протекании переменного тока звукового диапазона частот от места подключения генератора до низкоомного повреждения КЛ и обратно к генератору. Исследователь проходит с датчиком-антенной, в котором наводится электромагнитный сигнал, преобразуемый в звук в наушниках в составе трассопоискового комплекта. По интенсивности звука определяется место пролегания исследуемой КЛ до повреждения. После повреждения ток и соответственно звуковой сигнал отсутствуют. Мощность звукового сигнала в наушниках трассопоискового комплекта зависит от грунта, глубины, способа прокладки кабельной линии и таких параметров трубы как материал, толщина и длина. Часто прокладывание КЛ в металлических трубах усложняет поиск сигнала из-за экранирующего эффекта, а само наличие трубы усложняет аварийно-восстановительные работы, если не известны ее границы [7] – [8]. Поэтому совершенствование индукционного метода на предмет определения границ труб является важной технической задачей. Научной целью настоящей работы является проведение исследований индукционного метода для обнаружения границ стальных и поливинилхлоридных труб, как наиболее часто встречающихся в кабельной прокладке.

Научная значимость статьи состоит в разработке новой методики, позволяющей определять местоположение трубы, внутри которой находится исследуемая КЛ. На основе предложенной методики проведена апробация на полигоне КЛ, в результате экспериментов найдены границы труб. Таким образом, проведенные исследования могут послужить примером, позволяющим внести вклад в развитие практических особенностей определения мест повреждений в современных городских электроэнергетических системах.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Выбор метода контроля параметров прокладки трассы в задачах обнаружения места повреждения кабеля зависит от характера повреждения, места прокладки и переходного сопротивления в месте неисправности. Акустический, петлевой, ёмкостный, импульсный методы, а также метод колебательного разряда не подразумевают трассировки, так как используются для поиска пробоя линии. Поэтому в работе применялся индукционный метод, реализованный на базе электрогенератора и прибора поиска электромагнитных гармонических сигналов. Трассопоисковые комплекты для реализации индукционного метода основаны на генерации в КЛ электрического тока 15—20 А с частотой 800—1100 Гц. Внешний вид выбранного генератора ГЗЧ-2500 с синусоидальным током частотой 1024 Гц в момент его работы с силой тока 11.8 А представлен ниже (Рис.1)



Рис .1. Показания генератора звуковых частот

Прибором для поиска КЛ выбран приёмник АП-027 с электромагнитным датчиком ЭМД-247, улавливающим наведенный сигнал генератора и отображающим его уровень в условных единицах на ЖК-экране (Рис.2). На генераторе звуковых частот определена оптимальная сила тока в диапазоне от 11 до 13 А для выбранных кабельных линий. При таком токе не возникает перегрева генератора звуковых частот и наблюдается необходимый уровень сигнала в приемнике вдоль всех исследуемых КЛ.



Рис .2. Приёмник трассопоискового комплекта

Расположение датчика в пространстве влияет на наводимый сигнал. На схематичном пояснении изображено горизонтальное расположение датчика, используемое в “методе максимума” (Рис.3).

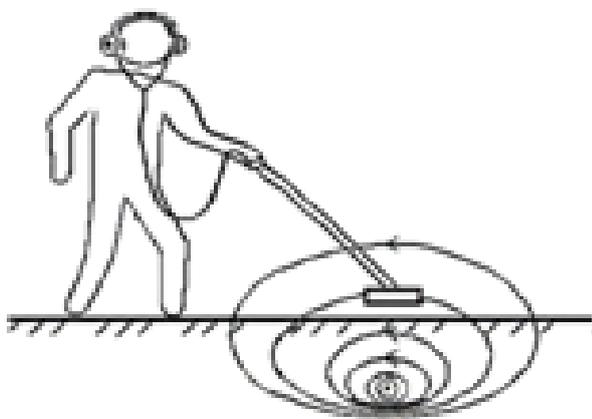


Рис .3. Наводимые сигналы в индукционном методе.

После определения местоположения КЛ необходимо оценить глубину залегания кабеля. Для этого над пролегающей КЛ устанавливают отметку местоположения. Определение глубины производится по методу «45 градусов», в котором электромагнитный датчик располагается под углом 45 градусов относительно КЛ и определяется место, в котором сигнал станет минимальным. В соответствии с правилом равнобедренного треугольника расстояние  $h$  на грунте равно глубине залегания КЛ. На рисунках ниже имеется теоретическое пояснение этого метода, а также иллюстрация замеров индукционным методом с использованием 45-градусного наклона датчика на полигоне электроэнергетической сети (Рис.4-5.).

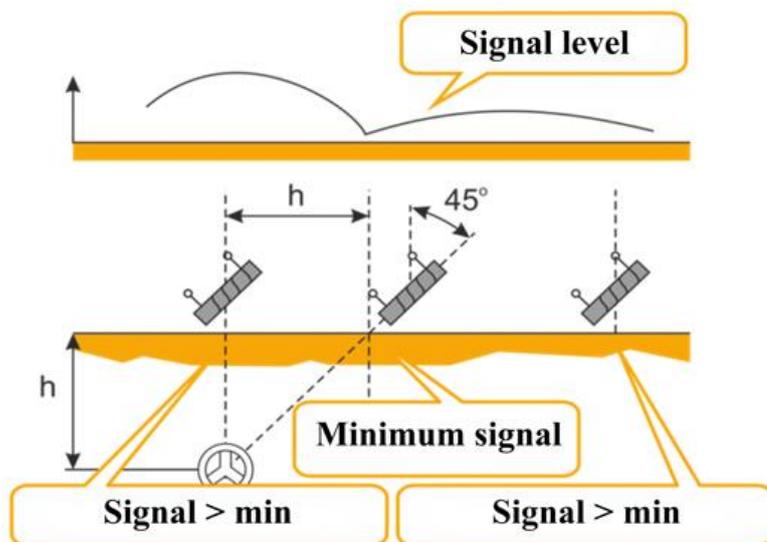


Рис .4. Теоретическое пояснение метода «45 градусов»



Рис .5. Практическое применение метода «45 градусов»

В качестве электроэнергетической сети выбран учебно-исследовательской полигон электроэнергетической сети при лаборатории по испытаниям и диагностике кабельных линий Казанского государственного энергетического университета, схема которого представлена на Рис.6.

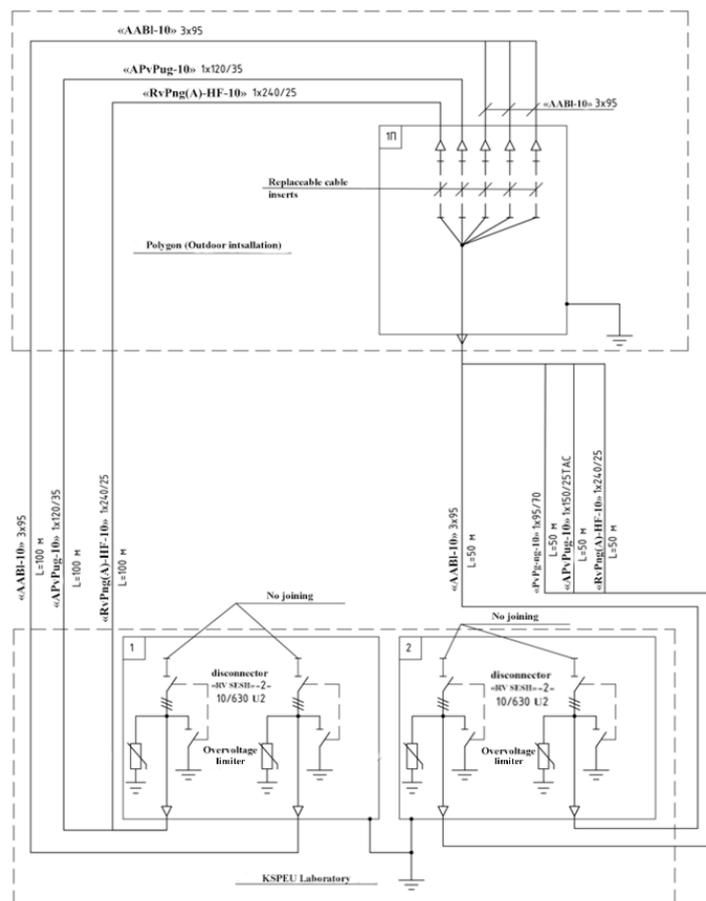


Рис .6. Схема полигона кабельных линий 10 кВ

Проверке подлежали три вида кабелей 10 кВ на наличие дефектов: АПвПуг-10 1х120/35 (кабель силовой высоковольтный с алюминиевой жилой сечением 120 квадратных миллиметров в изоляции из сшитого полиэтилена с экраном из медных проволок сечением 35 мм<sup>2</sup>, в оболочке из полиэтилена), ААБл-10 3х95 (кабель силовой с 3 алюминиевыми жилами, сечением 95 квадратных миллиметров, в бумажной пропитанной изоляции, оболочке из алюминия и броне из стальных лент), РвПнг(А)-НФ-10 1х240/25 (кабель силовой с многопроволочной медной токопроводящей жилой с изоляцией из высокопрочной этиленпропиленовой резины). Каждый из кабелей был поочередно заземлён на концах переносным заземлением ПЗРУ-1Э. В камере сборной одностороннего обслуживания (КСО) подключение выглядело следующим образом (Рис.7.)

На исследуемом участке полигона подлежали исследованию кабельные линии длиной 125 метров без дефектов - они изображены в левой части схемы. При использовании индукционного метода 45 градусов установлены следующие зависимости для принимаемого сигнала:

- 1) состав поверхности грунта влияет на уровень сигнала,
- 2) трубы частично экранируют сигнал,
- 3) контур заземления подстанции, находящейся вблизи исследований, вносит искажения в распределение сигналов.



Рис .7. Подключение генератора звуковых частот к кабелю ААБл-10 3х95

## Заклучение

### РЕЗУЛЬТАТЫ

На рисунках 8-10 представлены проекты пилотного бурения на участке 27 метров исследуемых КЛ. Материалы взяты из проектной документации.

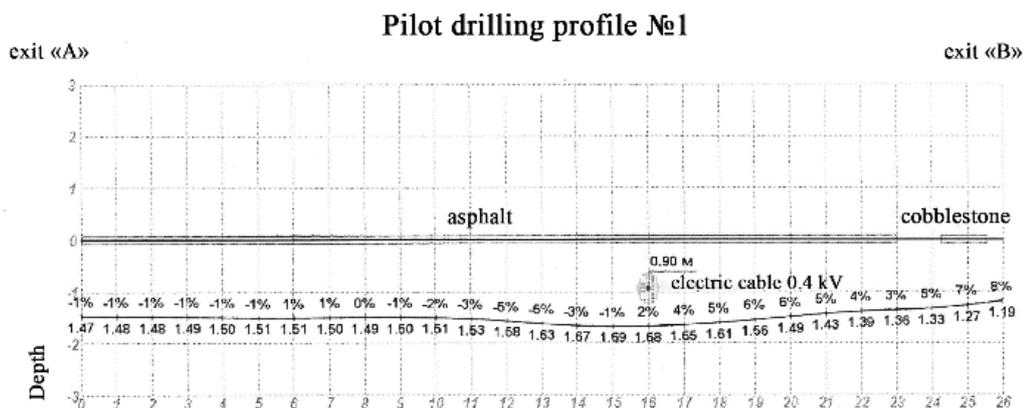


Рис .8. Профиль пилотного бурения кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена

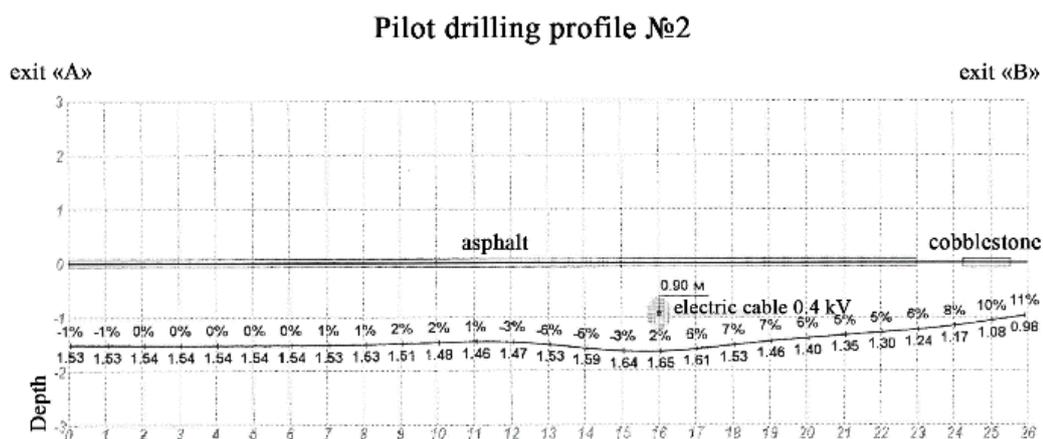


Рис .9. Профиль пилотного бурения кабеля с бумажно-пропитанной изоляцией

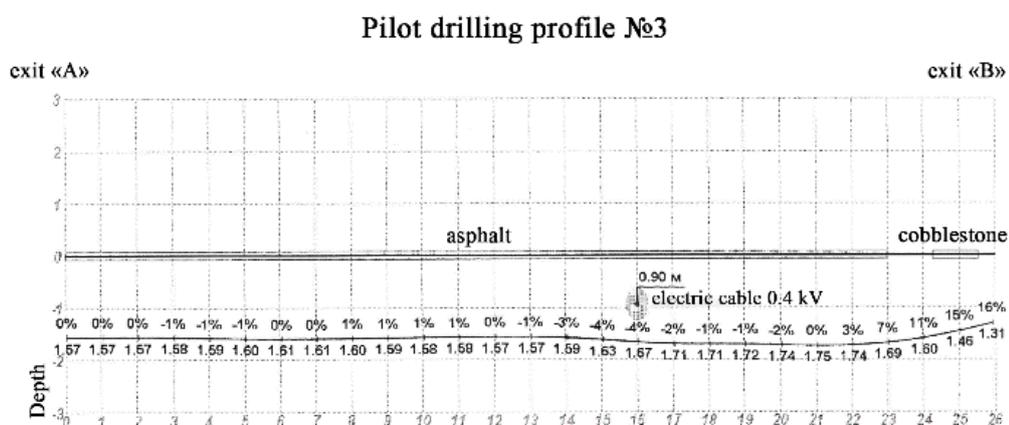


Рис .10. Профиль пилотного бурения кабеля с этиленпропиленовой изоляцией

В результате эксперимента обнаружено несоответствие профилей пилотного бурения с фактическими данными измерений индукционным методом. На рисунках 11-13

представлены графики фактической глубины залегания исследуемых КЛ на трех частях участка длиной 27 метров.

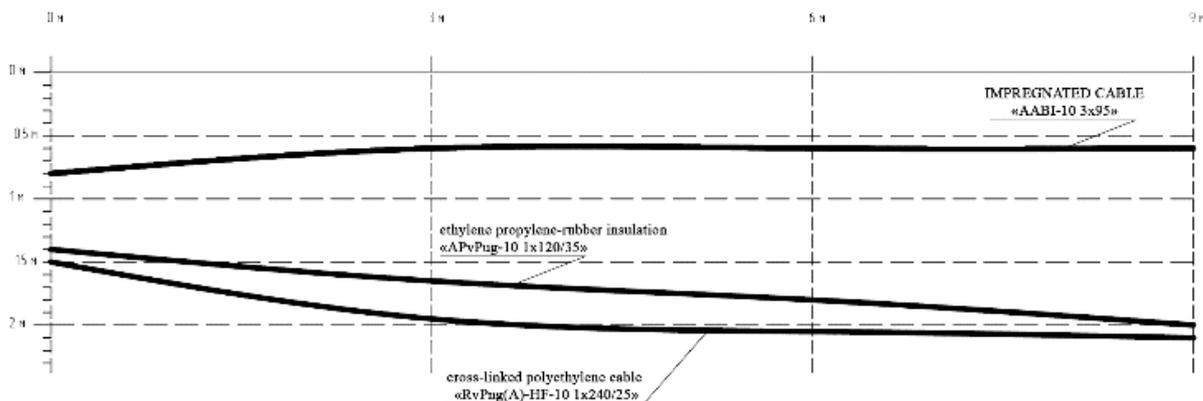


Рис .11. Глубина залегания КЛ по длине в первой части на участке от 0 до 9 метров

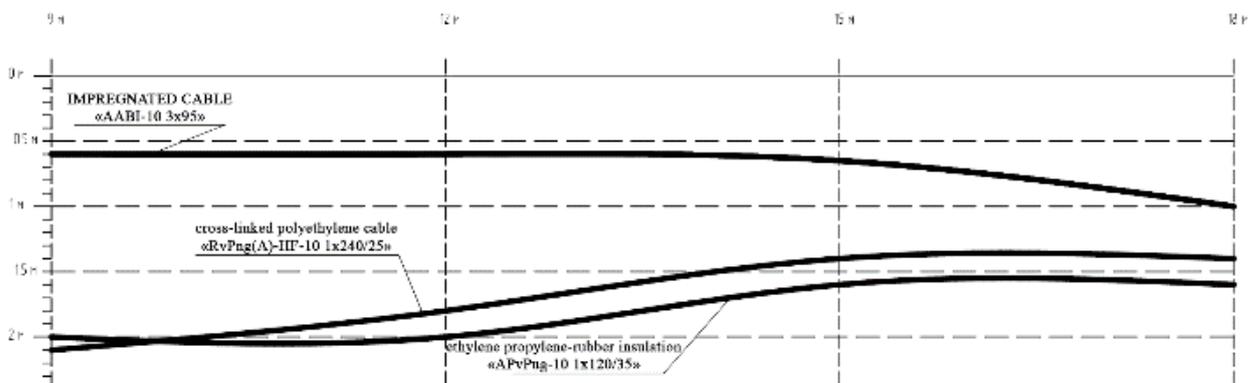


Рис .12. Глубина залегания КЛ по длине во второй части на участке от 9 до 18 метров

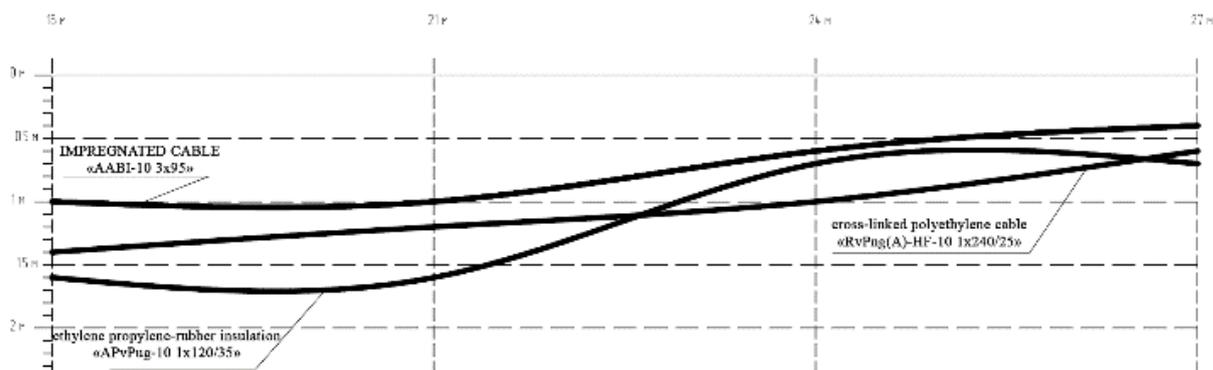


Рис .13. Глубина залегания КЛ по длине в третьей части на участке от 18 до 27 метров

При возникновении повреждения внутри трубы, проложенной по причине сложных подземных коммуникаций, не рационально проводить раскоп в месте повреждения, так как есть вероятность повредить окружающие коммуникации, а также возникает необходимость разрушения трубы или нарушения однородности её материала. Гораздо выгоднее проводить раскоп в одном из концов трубы, так как перечень работ при выполнении

ремонта кабельной линии заметно сокращается, для его выполнения нужно меньше специалистов. В качестве объекта исследования повреждения выбран кабель ПвПг-нг-10 1×95/70 (кабель силовой с круглой многопроволочной алюминиевой уплотнённой жилой, с экструдированным сшитым полиэтиленом, слоем электропроводящей бумаги и медной ленты) длиной 125 м, на исследуемом участке трассы кабель согласно проекту проложен в трубе из поливинилхлорида, но точное расположение концов трубы не задано.

Необходимо сохранять стабильность выходного тока генератора для выявления основных влияющих факторов на изменение сигнала приемника. При выполнении этого условия на сигнал приёмника основное влияние оказывают факторы, указанные в таблице (Таблица 1).

Таблица 1. ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ СИГНАЛА ПРИЕМНИКА

<b>Влияющий фактор</b>	<b>Характер влияния на принимаемый сигнал</b>
1. Отклонение датчика от трассы КЛ	При расположении датчика не строго над кабелем, а с некоторым отклонением по горизонтали уровень сигнала меньше максимально возможного
2. Глубина залегания КЛ	С увеличением глубины залегания КЛ уровень сигнала уменьшается
3. Способ прокладки КЛ	Проницаемость сигнала через трубу ниже, чем через грунт. Если КЛ проложена в трубе, то уровень сигнала над ней меньше

Для того, чтобы сделать вывод о влиянии фактора 3 на изменения измеряемого сигнала необходимо оценить влияние 1 и 2 факторов. С этой целью разработана методика в которой принимаются действия для устранения влияния 1 и 2 факторов, затем проводятся исследования сигналов по фактору 3 и устанавливается местоположение границ труб. Для снижения влияния фактора 1 проводится измерением «методом минимума», в котором датчик располагают вертикально и находят минимальное значение над КЛ. Таким образом повышается точность определения траектории пролегания кабеля в горизонтальной плоскости. В дальнейшем оценивается влияние фактора 2: выполняется измерение «методом 45 градусов» на том же участке и определяется вертикальная координата расположения кабеля в измеряемых точках трассы КЛ. Используя полученные результаты, проводится заключительное измерение по «методу максимума», в котором датчик располагают горизонтально. Сравнивая значения измеренных сигналов в разных точках по длине исследуемого участка определяется область с выраженным градиентом, что свидетельствует об обнаружении границы трубы. Описанный метод позволяет найти в однородном по длине грунте начало и конец участка трассы, где кабель проложен в трубе.

В ходе трассировки исследуемого участка произведена апробация предложенной методики и найдены экранирующие элементы: труба из поливинилхлорида, которой свойственно незначительное глушение сигнала, а также стальная 5-метровая труба, существенно экранирующая сигнал. Раскопка места пролегания не производилась.

По итогам проведённой работы, авторами были получены следующие результаты:

Научные: на основе трех разновидностей индукционного метода разработана методика определения границ труб, использованных для прокладки кабельных линий в грунте.

Практические: проведена трассировка на учебно-исследовательском полигоне КЛ 10 кВ ФГБОУ ВО «КГЭУ» и установлены несоответствия с требованиями проектной документации; произведен контроль параметров залегания труб КЛ на полигоне. Во время проведения замеров установлено, что имеются зависимости уровня сигнала от: состава поверхности грунта (асфальт, щебень, земля), глубины прокладки, наличия или отсутствия трубы.

Предложенная методика рекомендуется к использованию в учебном процессе в составе образовательной программы по направлению: 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника». В частности, со студенческой группой в ФГБОУ ВО «КГЭУ» проведены практические занятия по представленной методике. Собран материал, необходимый для проведения лабораторных работ по обучению индукционному методу определения места пролегания КЛ, выбрана приборная база и подобраны наилучшие настройки аппаратуры для определения траектории и глубины залегания КЛ.

Разработанная методика позволит производить поиск мест, в которых осуществляется раскопка для ремонта и аварийно-восстановительных работ при повреждении КЛ внутри трубы со снижением рисков повреждения смежной инфраструктуры. Предложенная методика минимизирует повреждения дорожного покрытия (асфальт, брусчатка и др.) над местом повреждения, восстановление которого несёт существенные убытки и требует введения организационных мер по ограждению места ремонта.

Принимая во внимание полученные результаты можно сказать, что индукционный метод, при исследовании трассы КЛ, позволяет провести контроль параметров, таких как: смена способа прокладки (непосредственно в грунте или в трубе), траектория и глубина залегания КЛ. После изучения использованных источников можно констатировать, что индукционный метод имеет потенциал для исследования и совершенствования, работы в этой области помогут использовать трассопоисковые приборы наиболее эффективно.

## Выводы

В рамках настоящего исследования рассмотрено влияние труб, оказывающих экранирующий эффект, на мощность сигнала, улавливаемого приёмником

трассопоискового комплекта. Опираясь на работы других авторов в рамках исследования учтены: методы прокладки КЛ, методы обнаружения мест повреждений в подземных КЛ, план-схемы учебно-исследовательского полигона КЛ с соответствующей проектной документацией, параметры и настройки используемых приборов трассопоискового комплекта.

Авторами предложена методика индукционного метода в задачах определения мест прокладки кабельной линии с трубами в грунте. С этой информацией проведение ремонтных работ по устранению повреждений, возникающих на описанных участках, осуществляется с меньшими финансово-временными ресурсами: оптимизируются ремонтные работы, поскольку не нарушается существующая инфраструктура и снижаются риски разрушения проложенных рядом коммуникаций. По результатам обследований кабельных линий полигона электроэнергетической сети структурирована существующая проектная документация, собраны методические материалы для новых лабораторных работ с целью их внедрения в учебный процесс подготовки кадрового состава электроэнергетической отрасли.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ljubivoje M. Popović, Inductive influence of HV cable lines in urban and suburban areas, *Electric Power Systems Research*, Volume 176, 2019, 105944, ISSN 0378-7796
2. Sanja Duvnjak Žarković, Ebrahim Shayesteh, Patrik Hilber, Integrated reliability centered distribution system planning — Cable routing and switch placement, *Energy Reports*, Volume 7, 2021, Pages 3099-3115, ISSN 2352-4847
3. Claus Leth Bak, F. Faria da Silva, High Voltage AC underground cable systems for power transmission – A review of the Danish experience: Part 2, *Electric Power Systems Research*, Volume 140, 2016, Pages 995-1004, ISSN 0378-7796
4. M.M. Dawoud, I.O. Habiballah, A.S. Farag, A. Firoz, Magnetic field management techniques in transmission underground cables, *Electric Power Systems Research*, Volume 48, Issue 3, 1999, Pages 177-192, ISSN 0378-7796
5. E. Kuffel, W.S. Zaengl, Chapter 7 - OVERVOLTAGES AND INSULATION COORDINATION, Editor(s): E. Kuffel, W.S. Zaengl, *High Voltage Engineering*, Pergamon, 1984, Pages 463-488, ISBN 9780080242125
6. N. K. Poluyanovich, M. N. Dubyago, N. V. Azarov [etal.] Multifactor Model for Forecasting Thermal Processes in the Insulating Materials of Cable Lines // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, Vladivostok, 06–09 October 2020 – Vladivostok, 2020. – P. 9271367. – DOI 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271367.
7. Yun Chen, Baojun Hui, Yanting Cheng, Yanwen Chen, Yanpeng Hao, Mingli Fu, Lin Yang, Licheng Li, Effects of connection conditions between insulation screen and Al sheath on the buffer layer failures of high-voltage XLPE cables, *Engineering Failure Analysis*, Volume 122, 2021, 105263, ISSN 1350-6307
8. Yujie Yu, Mengke Man, Fengtao Zhao, Siwen Lin, Fengqi Guo, Corrosive degradation evaluation of semi-parallel wire cables with high-density polyethylene sheath breaks, *Engineering Failure Analysis*, Volume 116, 2020, 104714, ISSN 1350-6307

## Заявки

[СБРОСИТЬ](#)Фильтры 

Номер заявки	Автор	Конкурс	Форма заявки	Состояние	Дата создания	Дата подачи
2022-NIR-7964-8301	Филимонов С. С.	VII Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов	Анкета для студентов и аспирантов	Не прошла в финал	29.04.2022	04.05.2022