

УДК 621.317

**ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПЕРЕХОДНЫЕ
ПРОЦЕССЫ В СЕТЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 6-10 КВ****Тихомиров Александр Андреевич**Кандидат физико-математических наук, доцент,
Петрозаводский государственный университет
Кафедра электроники и электроэнергетики
tihomirov@petrsu.ru**Скорняков Сергей Михайлович**студент
Петрозаводский государственный университет
Кафедра электроники и электроэнергетики
skornyakovs.sergei@yandex.ru**Аннотация**

Применение систем определения места повреждения в электрических сетях позволяет улучшить показатели надежности электроснабжения. В статье проведено исследование переходных процессов в линии электропередачи с изолированной нейтралью на при изменении климатических факторов, таких как гололедообразование и температура окружающей среды. Полученные результаты моделирования показывают важность учета температуры окружающей среды при разработке методик определения места повреждения на основе переходных процессов.

Ключевые слова: Линия электропередачи, короткое замыкание, определение места повреждения.

**INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON TRANSIENTS PROCESS IN 6-10
KV POWER TRANSMISSION LINES****Tikhomirov Aleksandr Andreevich**Candidate of Physical and Mathematical Sciences, docent
Petrozavodsk state university
Department of electronics and power engineering**Skornyakov Seregi Mikhailovich**student
Petrozavodsk state university
Department of electronics and power engineering

ABSTRACT

The use of fault location detection systems in power lines makes it possible to improve the reliability of power supply. The article investigates transients in power transmission lines with an isolated neutral at changing climatic factors, such as ice formation and ambient temperature. The obtained simulation results show the importance of taking into account the ambient temperature when developing methods for determining the location of damage based on transients.

Keywords: Power line, fault, faults location. isolated neutral

В электроэнергетике применение цифровых технологий открывает возможности поэтапного перехода к новым подходам в автоматике и релейной защите, системах сбора данных и управления, которые технически сложно было осуществить на традиционной электромеханической базе [1].

На территории России линии напряжением 6–10 кВ являются самыми протяженными среди всех классов напряжений. Они используются в питающих и распределительных сетях городских и сельских потребителей, а также в электроснабжении промышленных предприятий небольшой мощности [2]. Согласно [3] повреждение линий электропередачи составляет значительную долю от всех возможных повреждений электрооборудования, поэтому диагностика и своевременное выявление их неисправностей является актуальной задачей для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей.

В [4] приводятся результаты анализа повреждений в сетях класса 6-10 кВ. Согласно этой статье, в среднем, ежегодно происходит 344 аварийных отключения с суммарным недопуском электроэнергии 98495,835 кВт*ч. Исходя из этого можно сделать вывод о том, что контроль и диагностика повреждения линий 6-10 кВ является актуальной на сегодняшний день задачей.

Ряд исследований [5-7] проведенных по выявлению факторов влияющих на точность определения места повреждения в электрической сети показали, что удельное сопротивление грунта не всегда является постоянной величиной и его изменение может вносить существенные погрешности в точность определения места повреждения в электрической сети. Отдельным климатическим фактором является температура внешней среды, ее изменение особенно в условиях Крайнего Севера может изменять расчетное активное сопротивление линии электропередачи до 30 процентов [8]. Гололедообразование на линейных проводниках приводит к изменению стрелы провеса и как следствие ведет к изменению емкостного сопротивления линии электропередачи относительно земли и может приводить к обрывам [9]. В [10] приведена статистика по влиянию грозových перенапряжений и других факторов на аварийность электрических сетей.

Опыт эксплуатации распределительных сетей 6-35 кВ показывает, что замыкание одной фазы на землю является одним из самых распространенных повреждений на линиях электропередачи [5]. В связи с тем, что особенностью работы сетей 6-10 кВ является отсутствие заземления нейтрали, возрастание тока однофазного замыкания на землю, определяется изменением емкостных токов, образующихся между линейными электрическими проводниками и поверхностью земли. В свою очередь емкостные токи линий электропередачи 6-10 кВ в том числе определяются высотой подвеса линейных проводников над поверхностью земли.

Определение места поврежденного участка линии электропередачи позволяет существенно сократить время необходимое для его поиска. Уменьшение погрешности определения места повреждения в распределительных сетях связано, в том, числе необходимостью учета вариативности факторов, влияющих на параметры замещения линии электропередачи,

Целью работы являлось расчет влияния температуры окружающей среды и гололедообразования на линейных проводниках на параметры переходных процессов в распределительной линии 6 кВ при однофазном замыкании на землю.

Для расчета частичных емкостей линии электропередачи использовался программный продукт ELCUT. Типовая опора П10-1 линии электропередачи 6-10 кВ была выбрана для задания геометрии расположения линейных проводников. Параметры опоры П10-1 представлены на рис. 1. Расстояния между изоляторами на опоре: $r_{12}=1300$ мм, $r_{23}=1300$ мм, $r_{13}=1320$ мм. Высоты изоляторов над землей: $h_1=7750$ мм, $h_2=8850$ мм, $h_3=7750$ мм.

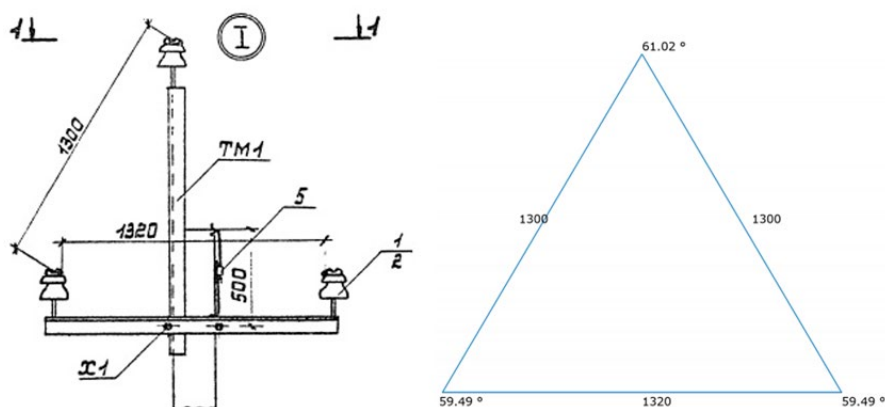


Рис.1. Опора П10-1 и ее параметры

Формат сетки и граничных областей представлен на рис. 2.

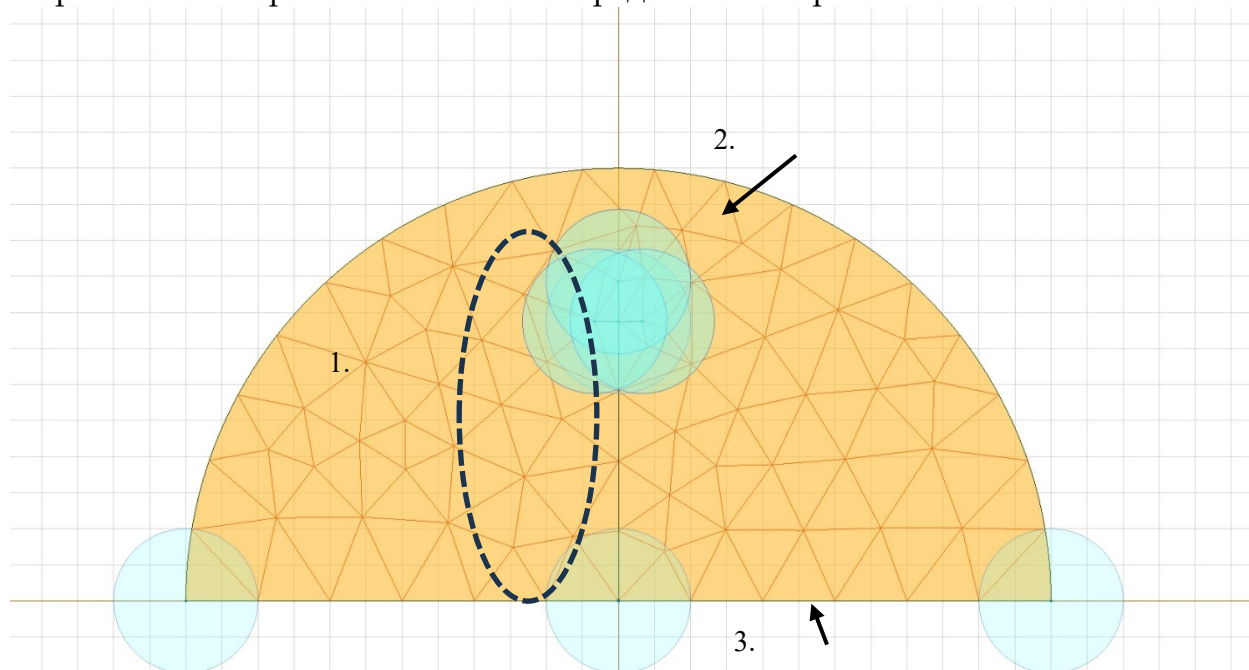


Рис. 2 – Формат сетки и граничных областей для расчета частичных емкостей трехфазной линии электропередачи

1) опора П10-1; 2) границы расчета; 3) граница нулевого потенциала земли.

Возможности программы ELCUT позволили визуализировать распределение поля вокруг модели линии электропередачи. Результаты моделирования силовых линий электрического поля представлены на рис. 3.

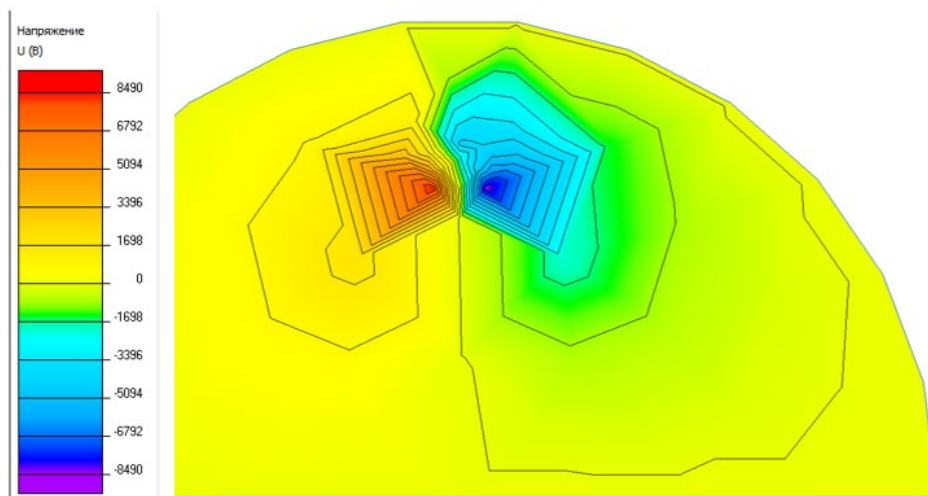


Рис.3 - Распределения поля линий электропередач на опоре П10-1, протяженностью 500м

Образование гололеда должно приводить к увеличению веса линейных проводников и уменьшению габаритного пролета линии электропередачи. Результаты моделирования в программе ELCUT влияния высоты подвеса линейных проводников опоры П10-1 на емкость линейного проводника с учетом влияния земли показаны на рис. 4.

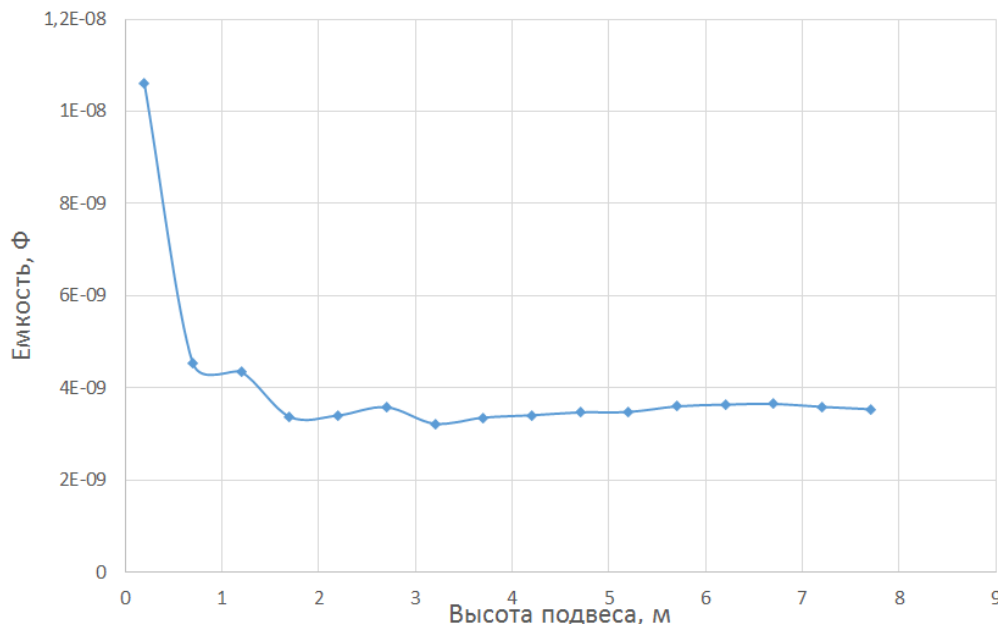


Рис.4 - Влияние высоты подвеса линейных проводников на собственную проводимость с учетом влияния земли.

Для оценки влияния гололедообразования на габаритный пролет выберем типовые проводники марки АС используемые в электрических сетях 6-10 кВ, параметры которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 - параметры проводников марки АС.

Марка проводника	Проводимость, См/м	Механическое напряжение при наибольшей нагрузке, даН/мм ²	Площадь сечения, мм ²	Масса провода, кг/км	r_0 , Ом/км при 20°С
АС 70/11	2300	12	79,3	27	0,428
АС 95/16	3000	12	111,	384	0,306
АС 120/19	4200	13,5	136,	470	0,249

Стрела провеса согласно [11] при различных толщинах образования гололеда может быть оценена согласно выражению

$$f = \frac{\gamma l^2}{8\sigma},$$

, где γ – удельная нагрузка на проводник $\frac{\text{даН}}{\text{м}\cdot\text{мм}^2}$, l – расстояние между опорами, σ – напряжение в проводнике $\frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$. Примем расстояние между опорами типовым равным 70 метров, напряжение в проводнике выберем равным $10 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$, удельная нагрузка для такого пролета составит $3,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{даН}}{\text{м}\cdot\text{мм}^2}$. Тогда при отсутствии гололеда стрела провеса f для проводника АС 70/11 составит 0,2 м, при образовании гололеда толщиной 1 см удельная нагрузка для такого пролета составит уже $0,01 \frac{\text{даН}}{\text{м}\cdot\text{мм}^2}$ стрела провеса составит 0,51 м. Для проводников АС 95/16 и АС 120/19 увеличение стрелы провеса с толщиной обледенения уменьшается, так для проводника АС 120/19 стрела провеса f составит 0,29 м. Следовательно, изменение стрелы провеса связанное с обледенением практически не влияет на собственные емкости линии электропередачи 6-10 кВ.

Рассмотрим влияние температурного режима окружающей среды на сопротивление линейных проводников. Согласно [12] активное сопротивление проводника с учетом влияния температуры окружающей среды без учета нагрева электрическим током, может быть записано как

$$r_{\text{пр}} = r_0 [1 + 0,04(t_{\text{пр}} - 20^{\circ})]$$

, где r_0 – удельное сопротивление проводника при температуре +20 С°

В таблице 2 приведены значения удельных активных сопротивлений проводников в температурном диапазоне от -40 до +40 С°.

Таблица 2 – значение активного сопротивления проводников марки АС при различных температурах.

Таблица – 2. Значения активных сопротивлений проводников марки АС.

Марка проводника	r_0 , Ом/км при -40 С°	r_0 , Ом/км при +40 С°
АС 70/11	0,325	0,496
АС 95/16	0,23	0,35
АС 120/19	0,19	0,28

Из таблицы 2 следует, что влияние температуры на активное сопротивление проводников носит существенный характер и должно быть учтено при моделировании переходных процессов.

На рис. 5 представлена схема замещения трехфазной линии электропередачи 10 кВ с изолированной нейтралью для АС 70/11 длиной 1 км выпаленная в программе FastMean.

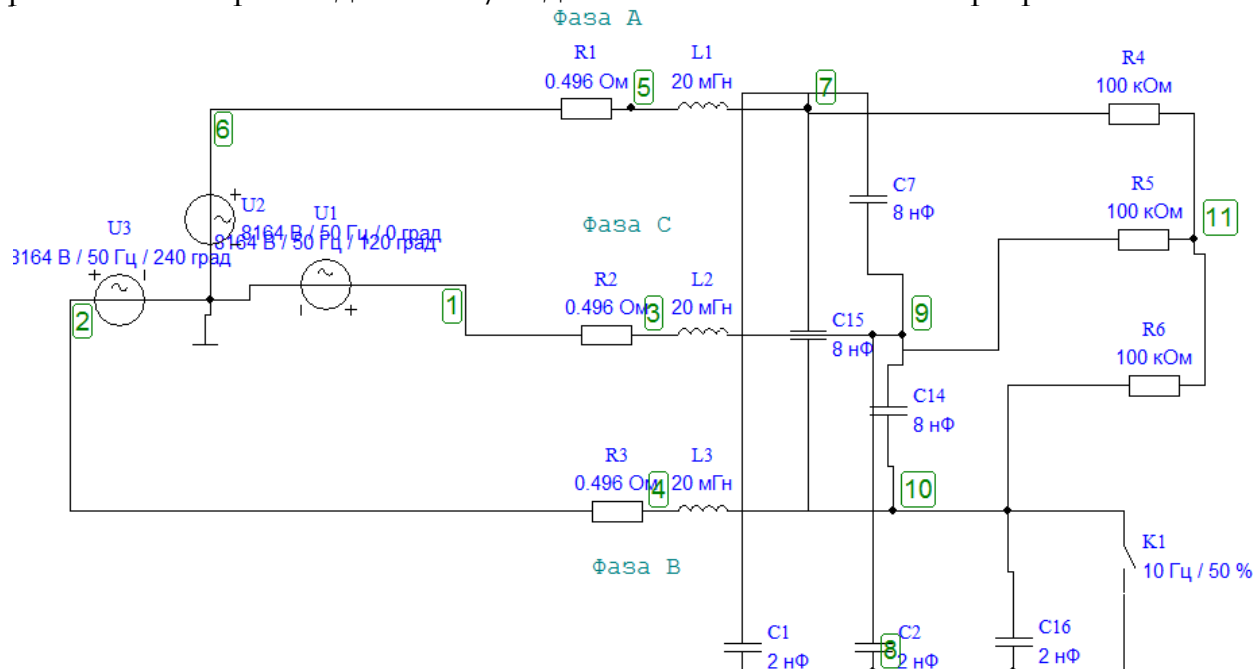


Рис. 5 – Схема замещения трехфазной линии электропередачи 10 кВ.

Ключом К1 эмулировался режим замыкания на землю. Полученные осциллограммы переходных процессов линейных токов и напряжений для проводника АС 70/11 при однофазном замыкании для температуры окружающей среды -40 C^0 и $+40\text{ C}^0$ соответственно представлены на рис. 6 и 7.

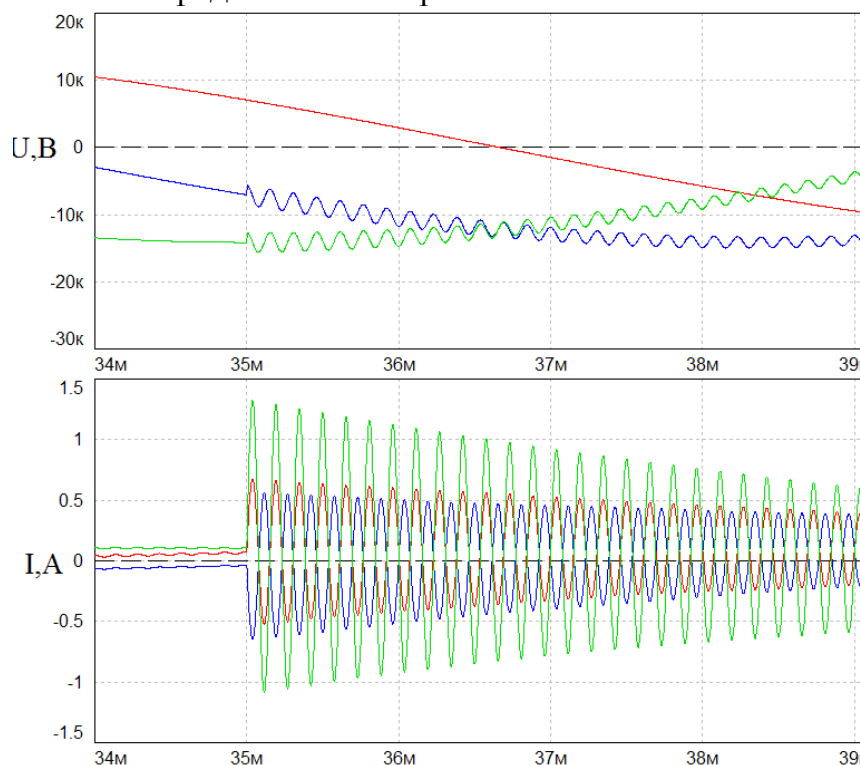


Рис. 6 – Зависимость линейных напряжений и токов от времени при однофазном замыкании на землю -40 C^0

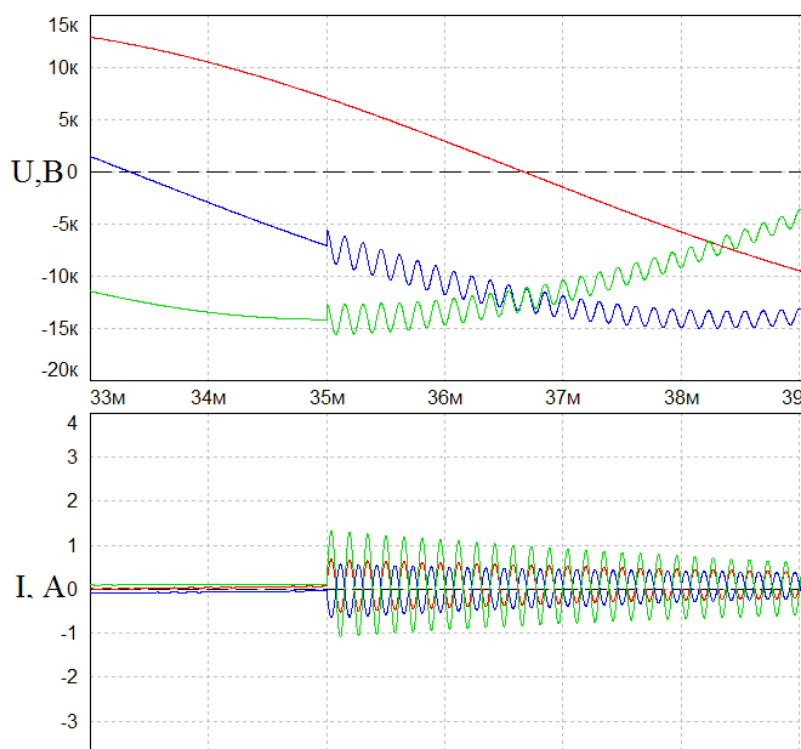


Рис. 7 – Зависимость линейных напряжений и токов от времени при однофазном замыкании на землю $+40\text{ C}^0$

И приведенных зависимостей переходных процессов при однофазных замыканиях на землю при различных температурах окружающей среды видно, что при уменьшении температуры увеличивается амплитудное значение тока, так время затухания. Влияние температуры на переходные процессы в электрической сети для проводников АС 95/16 и АС 120/19 носят схожий характер.

Полученные данные показывают важность учета влияния температуры на переходные процессы в электрической сети, в то же время гололедообразование сказывается на изменения параметров схемы замещения слабо. Так изменение температуры от -40 C^0 до $+40\text{ C}^0$ вносит изменение в амплитудное значение тока замыкания на землю до 30 процентов, что может существенно сказываться на точности определения места повреждения в электрической сети и требует учета при разработке устройств определения места повреждения.

Исследования, описанные в данной работе, были проведены в рамках реализации Программы поддержки НИОКР студентов, аспирантов и лиц, имеющих ученую степень, финансируемой Правительством Республики Карелия.

Список литературы:

1. Кустов А. Н. Анализ надежности и повышение эффективности в электросетевом комплексе за счет внедрения концепции “цифровой сети” // А. Н. Кустов, В. И. Зацепина // Технологии физики, автоматизации и информатики. Тенденции развития современной науки. Материалы IVсероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Липецк, 2020. – С.92-96.
2. Мавлянов, А. А. Использование устройств релейной защиты и автоматики в защите сетей 6-10 кВ / А. А. Мавлянов // Молодой ученый. – 2020. – № 18(308). – С. 35-38.

3. В. В. Сушков Оценка остаточного ресурса изоляции погружного электродвигателя установок электрических центробежных насосов добычи нефти при воздействиях импульсных перенапряжений / В.В. Сушков, В.В. Тимошкин, И.С. Сухачев, С.В. Сидоров // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 10. – С. 74–80..
4. Глыбина, Ю. Н. Анализ видов и количества повреждений в электрических сетях класса напряжения 6-10КВ / Ю. Н. Глыбина, Р. П. Беликов, И. Н. Фомин // Агротехника и энергообеспечение. – 2017. – № 3(16). – С. 43-49.
5. Козлов В.К., Киржацких Е.Р., Гиниатуллин Р.А. Исследование влияния переходного сопротивления на определение места однофазного замыкания на землю в распределительных сетях с изолированной нейтралью // Вестник Чувашского университета. – 2019. – № 1. – С. 39–46.
6. Иванов И.Е. Оценка влияния различных факторов на значения сопротивлений и проводимостей высоковольтной воздушной линии электропередачи // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2017. – № 3. – С. 30–39.
7. Минуллин Р.Г., Фардиев И.Ш. Физические основы диагностики повреждения воздушных линий распределительных электрических сетей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2004. – № 5–6. – С. 43–47.
8. Сидоров С. В. Разработка методики определения места однофазного замыкания на землю воздушной линии электропередачи напряжением 6(10) кВ с учетом климатических факторов / С. В. Сидоров, В. В. Сушков, И. С. Сухачев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 2. – С. 115-123
9. Сазыкин В.Г., Кудряков А.Г., Багметов А.А. Влияние гололедно-ветровых нагрузок на надежность линий электропередачи Кубани // Инновационная наука. 2016. №6-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-gololedno-vetrovyh-nagruzok-na-nadezhnost-liniy>
10. Хабрат А. Р., Никишин А. Ю. Анализ аварийности в распределительных сетях среднего напряжения филиала АО «Янтарьэнерго» Западные электрические сети // Вестник молодежной науки. 2019. №2 (19). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-avariynosti-v-raspredelitelnyh-setyah-srednego-napryazheniya-filiala-ao-yantarenergo-zapadnye-elektricheskie-seti>
11. Крюков К. П., Новгородцев Б. П. Конструкция и механический расчет линий электропередачи : учебное пособие М.: Энергия 1979. 311 с.
12. Железко, Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: руководство для практических расчетов [Текст] / Ю. С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с

References:

1. Kustov A. N. Reliability analysis and efficiency improvement in the electric grid complex due to the introduction of the concept of “digital network” // A. N. Kustov, V. I. Zatsepina

- // Technologies of physics, automation and informatics. Trends in the development of modern science. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists. Lipetsk, 2020. – pp. 92-96
2. Mavlyanov, A. A. The use of relay protection and automation devices in the protection of 6-10 kV networks / A. A. Mavlyanov // Young scientist. – 2020. – № 18(308). – pp. 35-38.
 3. Sushkov V. V. Evaluation of the residual insulation life of the submersible electric motor of electric centrifugal pumps of oil production under the effects of pulsed overvoltages / V.V. Sushkov, V.V. Timoshkin, I.S. Sukhachev, S.V. Sidorov // Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. – 2017. – Vol. 328. – No. 10. – pp. 74-80.
 4. Glybina, Yu. N. Analysis of the types and amount of damage in electrical networks of voltage class 6-10KV / Yu. N. Glybina, R. P. Belikov, I. N. Fomin // Agrotechnika and power supply. – 2017. – № 3(16). – pp. 43-49.
 5. Kozlov V.K., Kirzhatskikh E.R., Giniatullin R.A. Investigation of the effect of transient resistance on determining the location of a single-phase earth fault in distribution networks with an isolated neutral // Bulletin of the Chuvash University. – 2019. – No. 1. – pp. 39-46.
 6. Ivanov I.E. Assessment of the influence of various factors on the values of resistances and conductivities of a high-voltage overhead power transmission line // Bulletin of the Ivanovo State Power Engineering University. – 2017. – No. 3. – pp. 30-39.
 7. Minullin R.G., Fardiev I.Sh. Physical bases of diagnostics of damage to overhead lines of distribution electrical networks // News of higher educational institutions. Energy problems. – 2004. – № 5-6. – pp. 43-47.
 8. Sidorov S. V. Development of a methodology for determining the location of a single-phase earth fault of an overhead power transmission line with a voltage of 6(10) kV taking into account climatic factors / S. V. Sidorov, V. V. Sushkov, I. S. Sukhachev // Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. – 2020. – Vol. 331. – No. 2. – pp. 115-123
 9. Сазыкин В.Г., Кудряков А.Г., Багметов А.А. Влияние гололедно-ветровых нагрузок на надежность линий электропередачи Кубани // Инновационная наука. 2016. №6-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-gololedno-vetrovyh-nagruzok-na-nadezhnost-linij>
 10. Habrat A. R., Nikishin A. Yu. Accident analysis in medium voltage distribution networks of the branch of JSC "Yantarenergo" Western electric networks // Bulletin of Youth Science. 2019. №2 (19). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-avariynosti-v-raspredelitelnyh-setyah-srednego-napryazheniya-filiala-ao-yantarenergo-zapadnye-elektricheskie-seti>
 11. Kryukov K. P., Novgorodtsev B. P. Design and mechanical calculation of power transmission lines : textbook M.: Energiya 1979. 311 p.
 12. Zhelezko, Yu. S. Electricity losses. Reactive power. The quality of electricity: a guide for practical calculations [Text] / Yu. S. Zhelezko. – M.: ENAS, 2009. – 456 p.