

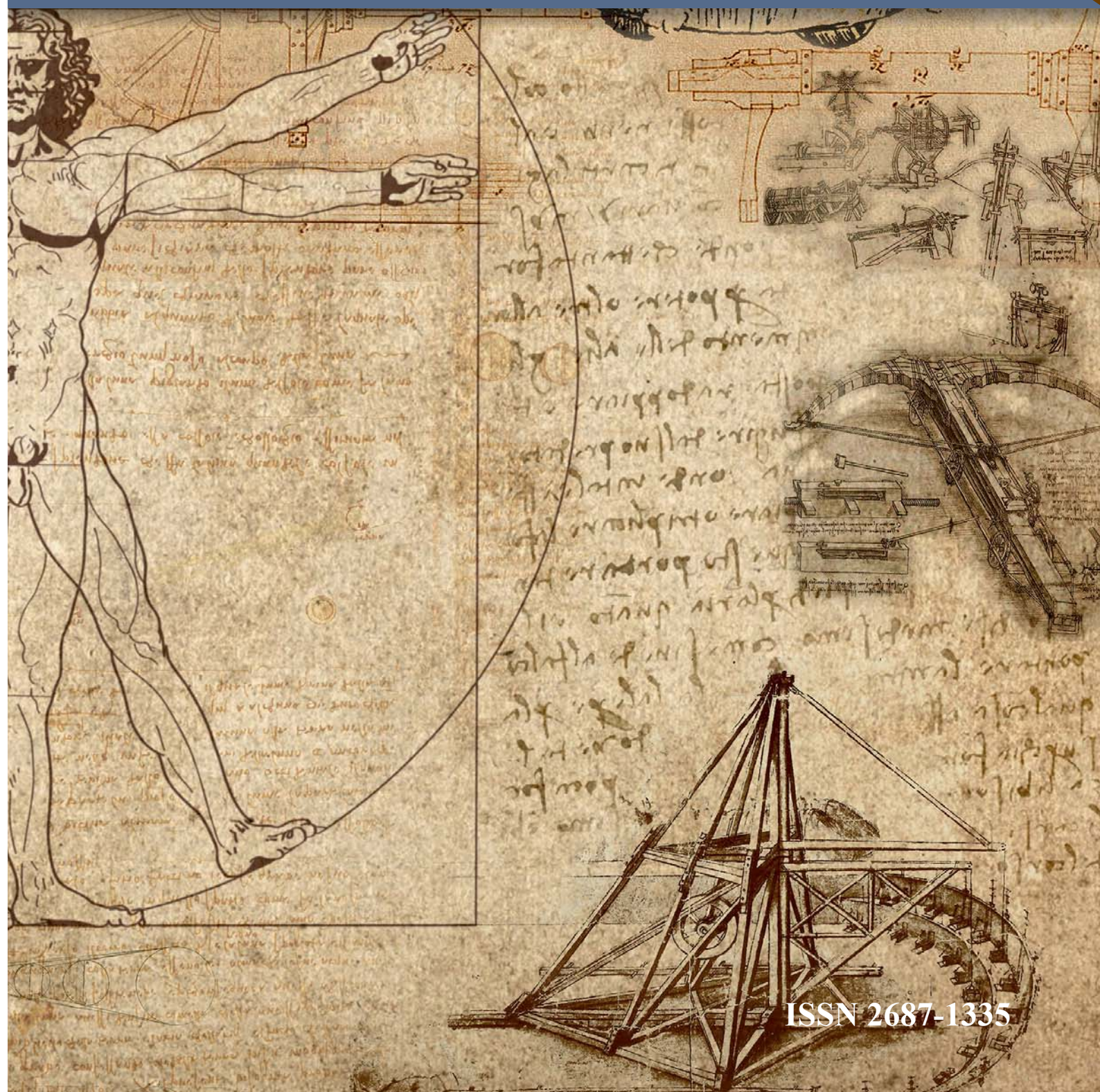
Вести

№3. 2020

НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ



ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



ISSN 2687-1335

Вести научных достижений.
Естественные и технические науки

News of scientific achievements.
Natural and technical sciences

№ 3
2020

№ 3
2020

Учредитель:
Общество с ограниченной
ответственностью «Офорт»

Publisher:
Limited liability company
«Ofort»

Главный редактор - Г.А.Нафикова,
кандидат юридических наук

Chief editor: G.A.Nafikova
PhD in law

Редакционный совет:
Вилданов Р.Р.; Гарифуллин Ф.А.;
Мирсаяпов И.Т.; Ибрагимов Р.А.;
Аюпов Д.А.; Сафин А.Р.;
Мухамеджанов Р.Н.

Editorial board:
Vildanov R.R.; Garifullin F.A.;
Mirsayapov I.T.; Ibragimov R.A.;
Ayupov D.A.; Safin A.R.;
Mukhamedzhanov R.N.

Корректор – Мухутдинова К.С.

Proofreader – Muhutdinova K.S.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информа-
ционных технологий и массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации средства массовой информации:
Эл № ФС77-71649 от 13.11.2017

Почтовый адрес редакции:

420097, Республика Татарстан, г.Казань, ул.Академическая д.2, оф.009

e-mail: vesti.nd@yandex.ru

www.vestind.ru

тел./факс: +7 (843) 537-91-63, +7 (843) 537-91-23

За достоверность и точность данных, других материалов, приведенных
в статье, ответственность несут авторы статей и других материалов.

Точка зрения редакции не всегда совпадает с выраженным мнением авторов.

При копировании текста статей ссылка на журнал обязательна.

СЛОВО РЕДАКТОРА

Дорогие читатели!

В условиях современного научно-технического развития естественные и технические науки играют важную роль. С учетом определенной специфики, технические науки часто отождествляют с прикладным естествознанием. Однако, при том, что между ними тесная взаимосвязь, есть определенные позиции, которые отличают первое от второго.

Неоспоримо возникновение технических наук в качестве прикладных областей исследования естественных наук, значительно видоизменяя их теоретические схемы, развивая их знания. Важная роль в этом процессе была отведена также математике.

Так или иначе, любые исследования должны апробироваться и получать практическую реализацию. С этой целью, на страницах нашего журнала авторы проводят научные исследования, с которыми могут ознакомиться читатели.

*Главный редактор,
кандидат юридических наук, доцент*
Гульнара Айдаровна Нафикова

СОДЕРЖАНИЕ

СЛОВО РЕДАКТОРА.....	107
----------------------	-----

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Яхья Мохаммед Яхья Мохаммед. ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ АРХИТЕКТУРЫ.....	110
Сергеев А. Е., Салихов Р. М. МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО СИЛОВОГО КАБЕЛЯ В МЕСТЕ РАЗДЕЛКИ ЭКРАНА	115
Сергеев Д. Е. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ ДЛЯ УЧЕТА НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА.....	120
Тимофеев Г. В., Потапчук Н. К. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ НА ПРОВОДАХ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ.....	125
Сергеев Д. Е. СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ УЧЕТА НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ	129

CONTENTS

EDITOR'S WORD	107
---------------------	-----

TECHNICAL SCIENCES

Yahya Mohammed Yahya Mohammed. THE PROBLEMS OF MODERN ARCHITECTURE	110
Sergeev A. E., Salikhov R. M. MODELING THE FIELD STRENGTH OF A HIGH-VOLTAGE POWER CABLE AT THE SCREEN CUTTING PLACE	115
Sergeev D. E. CONSTRUCTION OF A DIFFERENTIAL PROTECTION MODEL BASED ON GRAPH THEORY TO ACCOUNT FOR CURRENT TRANSFORMER FAILURES.....	120
Timofeev G. V., Potapchuk N. K. MODERN METHODS OF MONITORING ICE FORMATION ON THE WIRE OVERHEAD POWER LINE	125
Sergeev D.E. COMPARISON OF WAYS TO ACCOUNT FOR CURRENT TRANSFORMER FAILURES IN THE IMPLEMENTATION OF DIFFERENTIAL PROTECTIONS	129

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 72

Дата направления в редакцию: 15-11-2020

Дата рецензирования: 10-12-2020

Дата публикации: 20-12-2020

Яхья Мохаммед Яхья Мохаммед

кандидат технических наук,

*Преподаватель кафедры архитектура БГТУ имени
В.Г. Шухова*

Yahya Mohammed Yahya Mohammed

candidate of technical sciences,

*Lecturer at the Department of Architecture, BSTU named
after V.G. Shukhova*

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ АРХИТЕКТУРЫ THE PROBLEMS OF MODERN ARCHITECTURE

Аннотация (на рус). Понимание современных проблем современной архитектуры. Обозначается влияние на архитектуру возрастающего уровня информативности, окружающей среды, снижающейся способности человека на восприятие этой информации вследствие его отчужденности от истоков. Обозначен наиболее актуальный подход в архитектуре - семиотический.

Задача данной статьи - изучить и упорядочить информацию о современных проблемах архитектуры.

Архитектура - объемно-пространственное искусство, которое создает материальную и духовную среду обитания человека, воплощающую в себе комфорт и отвечающую требованиям современной жизни. Архитектура - мощный поток воздействия на психологию, идеологию, а также эстетику. На сегодняшний день актуальными проблемами архитектуры стали проблемы «смысла», «информативности», «лаконичного», «интересного», «целостного», «игры», семантические и коммуникативные проблемы, которые в свое время сменили и продолжили проблемы формообразования, свойственные XX веку. Обозначенные проблемы стали актуальными в связи с изменением цели общей культуры на пост классические методологии, опорой которых является как общая теория систем и законы термодинамики, так и новейшие достижения психоанализа, методы феноменологии, герменевтики и др.

Abstract (in Eng). Understanding of the modern problems of modern architecture. the impact on the architecture of increasing the level of environmental awareness, reducing the ability of a person to perceive this information due to its detachment from the origins is considered. A large role is given to the semiotic approach in architecture, which is the most relevant

Discover, study and organize information about contemporary architecture issues.

Ключевые слова: современные проблемы архитектуры, окружающая среда, российская архитектура.

Keywords: modern problems of architecture, environment, Russian architecture.

Есть мнение, которое разделяют профессиональные архитекторы по поводу того, что в современной российской архитектуре имеет место два направления дальнейшего развития. Одно является традиционным («эkleктика»), пользующимся историческими стилями и фактами в качестве источника образования новых форм. Другое направление представляет собой современную архитектуру, отказывающуюся от традиций, находит источники формообразования только в современных технологиях и стройматериалах. Каждое направление противостоит друг другу, конкурирует,

имеет как сторонников, так и противников.

Ранее, фасады домов, их интерьеры были подобны открытой книге, заглянув в которую можно было познакомиться с людьми прошлых эпох. Стилистика была выражена четко и ярко в каждом доме. Язык архитектуры формировался за счет архитектурных стилей, создавалась система узнаваемых образов. Увы! Но сейчас значение и глубокая суть этих образов забыты, став непонятным языком, не находящем собеседника.

Архитектура современности отстранилась от исторической детали, несёт мало полезной

информации и «литературности». Главными стали абстрактные идеи и символы, оперирование пространством на уровне, который не всем людям дано понять и оценить. Архитектура забыла язык прошлых веков, который опирался на универсальную лексику, понятную каждому человеку, независимо от его уровня и статуса (духовного, материального).

Мнения противоречивы, а что, если посмотреть на них с точки зрения внутренних закономерностей? Только взгляните на процесс формирования архитектурного облика здания, его черты, контуры, фасад. Наблюдается интересная картина. Традиционный (он же исторический) путь характерен для архитектуры Нового времени, от самого начала эпохи Возрождения до архитектуры современности! Вопреки изменению стилей, систематического отказа от архитектурной детали (обусловлено приходом современной архитектуры), принцип формирования архитектурного языка на своём пути не столкнулся с существенными изменениями. Изменения происходили в материалах и применяемых технологиях, конструкциях и типологиях, но здания стояли, примеряя на себя новые архитектурные одежды, в зависимости от моды, эстетических или философских убеждений.

Архитектура – единый процесс, имеющий начало и стремящийся к своему логическому завершению, что мы сейчас и наблюдаем. Среди критиков можно услышать мнение о том, что современная архитектура дошла до кризиса, наступило состояние неопределённости, «ступора». В чём это проявляется?

Во-первых, сейчас наблюдается резкий разрыв проектного и самого строительного процессов. Строитель подчиняет своей воле и желаниям архитектора, платит деньги за выполнение указаний и поручений. В свою очередь производитель стройматериалов и конструкций диктует свои условия и строителю, и архитектору, ставит их в зависимое положение. Это является основной проблемой организационного процесса.

Во-вторых, профессиональная дифференциация, когда архитектор не является единственным творцом. Имеет место разделение между архитектором и конструктором, архитектором и дизайнером и так далее. Мастер не имеет возможности самостоятельно реализо-

вать свои планы в полной мере.

В-третьих, проблема, связанная с конструктивностью. Не сочетаются конструкция здания и выбираемый «наряд» под его архитектуру.

Наконец, самое главное, отношение. Ранее, здание было творением «рук человеческих», воплощением задумки мастера в жизнь. Сейчас, это просто объект строительства, именуемый как объект технического дизайна или ландшафта.

Истинная суть архитектурного объекта забыта. По маленьким крупинкам она терялась, переходя из года в год. Появилась эстетика деконструкции, утрачено понятие архитектурного объекта. Что будет дальше? Может быть, пора вспомнить о корнях архитектуры и перестать работать, применяя штампы и стандартные образы?

В современной философии архитектуры основополагающим является отказ от «готовых» логических конструкций. Более простые системы становятся равноценными более сложным и многокомпонентным. Появляется задача их взаимовыгодного совместного сосуществования.

Смысловая нагрузка архитектуры помогает увидеть тенденции, которые почти скрыты и от современников, и от историков-традиционалистов. Архитектура выражает идеологически-философские принципы социума и эпохи, передающие новые идеи и веяния тенденций. Она создает жизнь и пространство вокруг самого человека, наполняет смыслом, коммуникациями и возможностями данной среды.

Бессмысленной архитектуры не существует, поскольку в истинной архитектуре всегда заложена идея, главная константа существования здания. Однако сегодня над смыслом все больше стала доминировать форма в силу неподготовленности к новой информации, незнания архитектурного языка, истоки которого уходят в мифологию. Зачастую смысловые конструкции для человека просто нечитабельны.

Фундамент здания может прослужить тысячу лет, в то время как конструкция крыши должна быть изменена через тысячу месяцев. Гигиенические расширения могут длиться тысячу недель, наружная краска - тысячу дней,

а лампочка - тысячу часов. Здания должны быть поняты по различным временным масштабам, в течение которых они изменяются [1].

Архитектура всегда была эффективным инструментом в формировании фактов на местах, а также в помощи различным политическим и идеологическим платформам выйти за пределы пространства теоретических и абстрактных идей, став, таким образом, осязаемой реальностью, которая окружает людей и вмешивается в их непосредственную жизнь и видение будущего. И наоборот, когда эти идеологии и программы терпят неудачу, эта архитектура становится физическим и осязаемым воплощением этой неудачи через здания, которые сродни зданиям устаревших идей или модели того, чего следует избегать, в лучшем случае.

С конца 1970-х годов продукт архитектуры и роль архитектора уже не могут быть поняты в отрыве от глобальной капиталистической системы и ее динамики. Ценность зданий стала в первую очередь связана с соображениями местоположения, пространства и потенциальной финансовой отдачи от их продажи. Сегодня достаточно, чтобы здание не страдало от серьезного технического дефекта до тех пор, пока качество архитектурного проекта (стереоскопическое, эстетическое, функциональное) не станет вторичным в определении его стоимости, за пределами его способности приносить прибыль. Таким образом, городские проекты и массовое строительство стали одним из самых фундаментальных двигателей экономического колеса в уравнении, в котором здания становятся товаром, и где взаимная стоимость не зависит от потребительской стоимости, и процесс строительства происходит не как реакция на глобальный рост населения, а как результат спроса и предложения. Несмотря на то, что широкое распространение строительства не связано исключительно с глобальным капитализмом, как это можно проследить в более ранние периоды, от промышленной революции до двух мировых войн, и в рамках различных политических программ, которые стремились обеспечить быстрое строительство и недорогое жилье, в последние десятилетия потребность глобального капитализма в создании новых рынков через территориальную экспансию и

одержимость непрерывным обновлением стала фундаментальным регулятором динамики строительства и сноса, что всегда поощряется в контексте прогресса и процветания.

Зеленая архитектура.

Концепция зеленой архитектуры в последнее время получает все большее внимание в архитектурном образовании и практике. Существует ряд экспериментов, которые смогли разработать интегрированные программы, не ограничиваясь архитектурными приемами и элементами, а скорее альтернативным видением и образом жизни для своих пользователей. Зеленая архитектура все еще является одной из областей, постоянно склонных к повторному вовлечению в ту же систему, которой она сопротивляется, где есть термины: «энергосбережение», «повторное использование», «органические и местные материалы» и т. д.

Многие современные зеленые здания с зелеными крышами и серыми системами очистки воды ведут все тот же потребительский образ жизни, а закрепленная за ними современная печать «экологически чистого здания» дает законность строительству целых городов и дает им иммунитет от любой ответственности за потребности их общин.

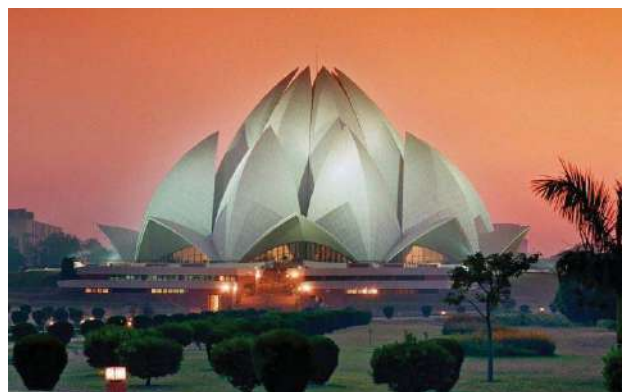


Рисунок 1. Архитектура современности.

Современная одержимость экологическим сознанием, по словам словенского мыслителя Славоя Жижека, основана на нашей полной готовности чувствовать себя виноватым и ответственным за судьбу планеты. Наше чувство вины хоть и тревожит, но ободряет, оно дает нам иллюзию, что мы контролируем ситуацию и можем ограничить нанесенный ущерб, изменив свое поведение. Действительно, многие капиталистические компании

поспешили ввести так называемое «сознательное потребление», предоставив экологически чистым товарам возможность платить небольшую надбавку за покупку благодущия и сиюминутного избавления от чувства вины при сохранении прежних моделей потребления. [14]



Рисунок 2. Архитектура современности.

Наоми Кляйн также предлагает другое объяснение гипотезе о том, что деградация окружающей среды, вызванная неправильным использованием и уничтожением природных ресурсов, вызвана равнодушной и эгоистичной человеческой природой, которая была оставлена действовать, не осознавая последс-

твий, ведущих к коллективному провалу: «мы застряли, потому что действия, которые избавили бы нас от неизбежной катастрофы, угрожают интересам элитарного меньшинства» [15] или, другими словами, Кляйн описывает экологический кризис как конфликт между капиталом и планетой, как выбросы углерода в 21 веке, например. Большинство из них происходит из Китайской республики, но истинной причиной этих выбросов является не рост населения Китая или безответственное истощение природных ресурсов китайцами, а скорее концентрация иностранного капитала и эксплуатация им дешевой домашней рабочей силы. Таким образом, обвинение человечества в качестве причины нынешнего экологического ущерба способствует отвлечению внимания от его истинной причины (капитала и неолиберальной экономики) и ослабляет возможность нахождения эффективных и действенных решений причины проблемы, а не ее симптомов, или, как говорит Андреа Мальм в своей статье «Миф антропоцена»: «обвинять всех это еще одна форма невинности». [16]

Поэтому рассмотрение экологических катастроф как результата доминирующей экономической системы неизбежно требует от экологической архитектуры пересмотра истинных причин экологического ущерба и поиска радикальных решений для их преодоления.

Библиография

1. Перс Т 16, вып. 24, с. 6 (2009).
2. <http://www.freedoniagroup.com/Nanotechnology-In-Construction.html>
3. J.Lee et al., ACS Nano 4, 3580 (2010).
4. P.T Anastas et al., Environ. Sci. Technol. 37, 94A (2003).
5. Малылиг, А. А. Химия поверхности и нанотехнология: взаимосвязь и перспективы [Текст] / А. А. Малыгин // Соровский образовательный журнал. Т.8 — № 2. — С.32–37.
6. Фолимагина О. В., Гарькин И. Н. Нанотехнологии в производстве строительных материалов // Региональная архитектура и строительство- Пенза: ПГУАС. № 1(6).2009- С.111–112.
7. Фадеева Г. Д. Рентабельное использование нанотехнологий в строительных материалах / Г. Д. Фадеева, К. С. Паршина, И. В. Маркелова // Молодой ученый. — 2013. — №12. — С. 187-18
8. Бегунова Ю.Г., Саньков П.Н. Современные проблемы архитектуры в наше время // IX Международная студенческая научная конференция «Студенческий научный форум» - 2017. [Режим доступа: <https://www.scienceforum.ru/2017/2403/27990>]
9. Groák, Steven, The Idea of a Building: Thought and Action in the Design and Production of Buildings. London: E. & F. N. Spon, 1992, p. 105.
10. “Architecture is now a tool of capital, complicit in a purpose antithetical to its social mission”, The Architectural Review, accessed July 6, 2015.
11. Carins, Stephen and Jane M. Jacobs, Buildings Must Die: A Perverse View Of Architecture. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2014.

12. Picon, Antoine, Karen Bates trans. "Anxious Landscapes: From the Ruins to Rust". Grey Room 01 (Fall 2000): 64–83.
13. Koolhaas, Rem "Junkspace". October, Vol. 100, Obsolescence. (Spring, 2002), pp. 175-190.
14. Schumacher, E. F., Small Is Beautiful: A Study of Economics As If People Mattered. London: Vintage Books, 1973. p. 99.
15. The Canadian Centre for Architecture (CCA), "Fonds 144: Cedric Price fonds." Accessed March 20, 2015.
16. Guignon, Christopher Tohr, "Design for Decline" (Thesis document, MIT, 2010)

References (transliterated)

1. Pers T 16, vyp. 24, s. 6 (2009).
2. <http://www.freedoniagroup.com/Nanotechnology-In-Construction.html>
3. J.Lee et al., ACS Nano 4, 3580 (2010).
4. P.T Anastas et al., Environ. Sci. Technol. 37, 94A (2003).
5. Malygig, A. A. Himiya poverhnosti i nanotekhnologiya: vzaimosvyaz' i perspektivy [Tekst] / A. A. Malygin // Sorovskij obrazovatel'nyj zhurnal. T.8 — № 2. — S.32–37.
6. Folimagina O. V., Gar'kin I. N. Nanotekhnologii v proizvodstve stroitel'nykh materialov // Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo- Penza: PGUAS. № 1(6).2009- S.111–112.
7. Fadeeva G. D. Rentabel'noe ispol'zovanie nanotekhnologij v stroitel'nykh materialah / G. D. Fadeeva, K. S. Parshina, I. V. Markelova // Molodoj uchenyj. — 2013. — №12. — S. 187-18
8. Begunova Yu.G., San'kov P.N. Sovremennye problemy arhitektury v nashe vremya // IX Mezhdunarodnaya studencheskaya nauchnaya konferenciya «Studencheskij nauchnyj forum» - 2017. [Rezhim dostupa: <https://www.scienceforum.ru/2017/2403/27990>]
9. Groák, Steven, The Idea of a Building: Thought and Action in the Design and Production of Buildings. London: E. & F. N. Spon, 1992, p. 105.
10. "Architecture is now a tool of capital, complicit in a purpose antithetical to its social mission", The Architectural Review, accessed July 6, 2015.
11. Carins, Stephen and Jane M. Jacobs, Buildings Must Die: A Perverse View Of Architecture. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2014.
12. Picon, Antoine, Karen Bates trans. "Anxious Landscapes: From the Ruins to Rust". Grey Room 01 (Fall 2000): 64–83.
13. Koolhaas, Rem "Junkspace". October, Vol. 100, Obsolescence. (Spring, 2002), pp. 175-190.
14. Schumacher, E. F., Small Is Beautiful: A Study of Economics As If People Mattered. London: Vintage Books, 1973. p. 99.
15. The Canadian Centre for Architecture (CCA), "Fonds 144: Cedric Price fonds." Accessed March 20, 2015.
16. Guignon, Christopher Tohr, "Design for Decline" (Thesis document, MIT, 2010)

© Яхья Мохаммед Яхья Мохаммед, 2020



Ссылка на статью: Яхья Мохаммед Яхья Мохаммед - Проблемы современной архитектуры // Вести научных достижений. Естественные и технические науки – 2020. - №3. – С. 110-114 DOI: 10.36616/2687-1335-2020-3-110-114 URL: <https://www.vestind.ru/journals/architecture/releases/2020-3/articles?View&page=6>

УДК 621.315.2.016.2

Дата направления в редакцию: 25-11-2020

Дата рецензирования: 06-12-2020

Дата публикации: 20-12-2020

Сергеев Алексей Евгеньевич

Студент кафедры электромеханики
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
авиационный технический университет»

E-mail: sergeev-a5@yandex.ru

Салихов Ренат Мунирович

Кандидат технических наук,
доцент кафедры электромеханики
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
авиационный технический университет»

E-mail: texprom@yandex.ru

Sergeev Alexey Evgenievich

Student of the Department of Electromechanics
FSBEI HE "Ufa State
Aviation Technical University"

E-mail: sergeev-a5@yandex.ru

Salikhov Renat Munirovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Electromechanics
FSBEI HE "Ufa State
Aviation Technical University"

E-mail: texprom@yandex.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО СИЛОВОГО КАБЕЛЯ В МЕСТЕ РАЗДЕЛКИ ЭКРАНА

MODELING THE FIELD STRENGTH OF A HIGH-VOLTAGE POWER CABLE AT THE SCREEN CUTTING PLACE

Аннотация (на рус). При разделке экрана силового кабеля напряжением выше 1 кВ происходит резкое увеличение напряженности электрического поля в месте среза экрана. Для устранения этого эффекта на место среза накладываются специальные муфты или выравнивающие трубки. Для того, чтобы выбрать правильные способы ограничения напряженности в месте разделки кабеля, требуется рассчитать возможное значение этой напряженности. В данной статье произведено компьютерное моделирование и расчет напряженности поля силового высоковольтного кабеля 330 кВ с использованием ПО ELCUT.

Abstract (in Eng). When cutting the screen of a power cable with a voltage above 1 kV, there is a sharp increase in the electric field strength at the point of the screen cut. To eliminate this effect, special couplings or alignment tubes are applied to the cut site. In order to choose the correct methods of limiting the tension at the place where the cable is cut, it is required to calculate the possible value of this tension. In this article, computer modeling and calculation of the field strength of a 330 kV high-voltage power cable using the ELCUT software have been performed.

Ключевые слова: силовой кабель, напряженность электрического поля, срез экрана кабеля, ПО ELCUT.

Keywords: power cable, electric field strength, cable screen cut, ELCUT software.

На практике в процессе монтажа или в ходе проведения послеаварийных работ приходится производить срез экранов силовых кабелей. Это требуется для того, чтоб поставить муфту или удлинить кабельную линию. При этом целостность кабеля как единой конструкции нарушается. Изменяются и электрические процессы в месте разделки экрана кабеля, изменяется напряженность электрического поля.

Рассмотрим распределение напряженности электрического поля по длине кабеля сверхвысокого напряжения 330 кВ.

В качестве примера будем рассматривать кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 330 кВ ПвПу2гж 1x1600/350

ОВВМ (2x4) – 190/330 кВ, который представлен на рисунке 1 [1].

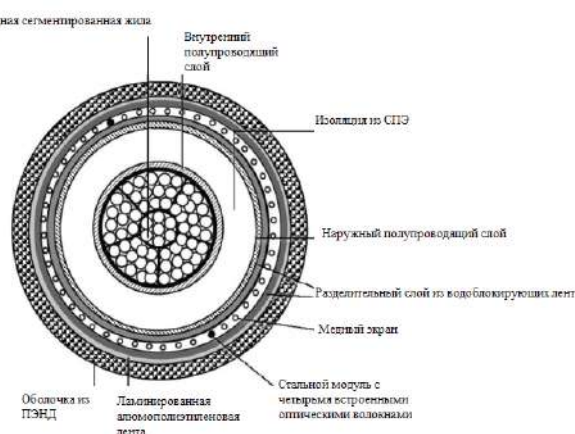


Рисунок 1. Силовой кабель ПвПу2гж 1x1600/350 ОВВМ (2x4) – 190/330 кВ

Пренебрегая наружным и внутренними полупроводящими слоями, разделительным слоем и стальным модулем, для простоты дальнейшего моделирования сечение кабеля с действительными размерами в общем виде можно представить следующим образом:

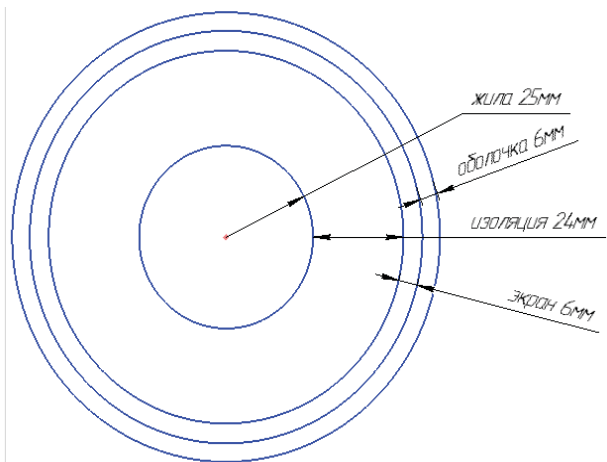


Рисунок 2. Представляемое для дальнейшего моделирования сечение кабеля 330 кВ

Моделирование силового кабеля произведем в ПО ELCUT, которое является эффективным инструментом для моделирования тепловых, магнитных и электрических полей [4].

В ПК ELCUT задаем свойства задачи: нестационарное электрическое поле, класс модели – осесимметричная (рисунок 3), так как представленная модель будет симметрична относительно оси абсцисс и при вращении вокруг этой оси будет получаться продольная модель кабеля с действительным сечением (рисунок 4).

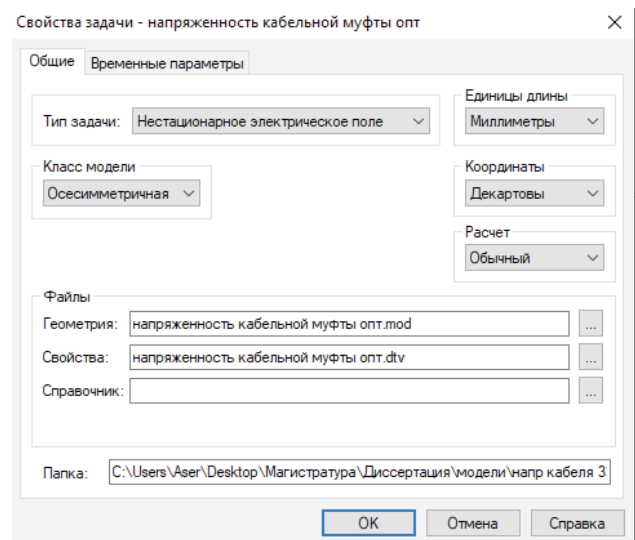


Рисунок 3. Свойства задачи в ПК ELCUT

Смоделируем представление напряженности электрического поля в кабельной линии 330 кВ тогда, когда требуется подключить какую-либо нагрузку, произвести подключение кабеля к чему-либо и т.д. Другими словами, когда требуется снять некоторый слой изоляции кабеля, например, чтоб была возможность подсоединить кабельную разделку (муфту). Такой кабель показан на рисунке 5.

Задаем свойства объектов – элементов высоковольтного кабеля – жилы, изоляции, оболочки и экрана, а также среды, в которой кабель находится. Свойства элементов представлены на рисунке 6.

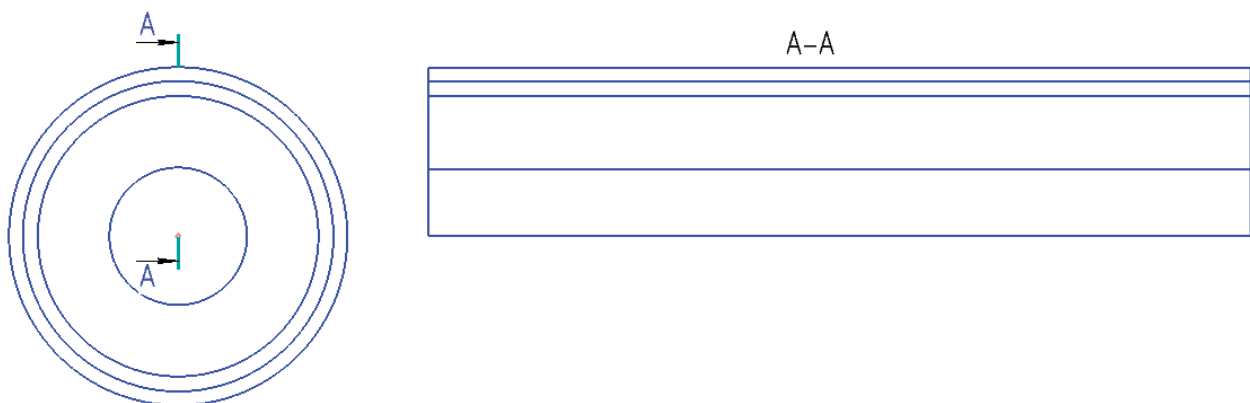


Рисунок 4. Представление кабеля для моделирования распределения электростатического поля по его длине

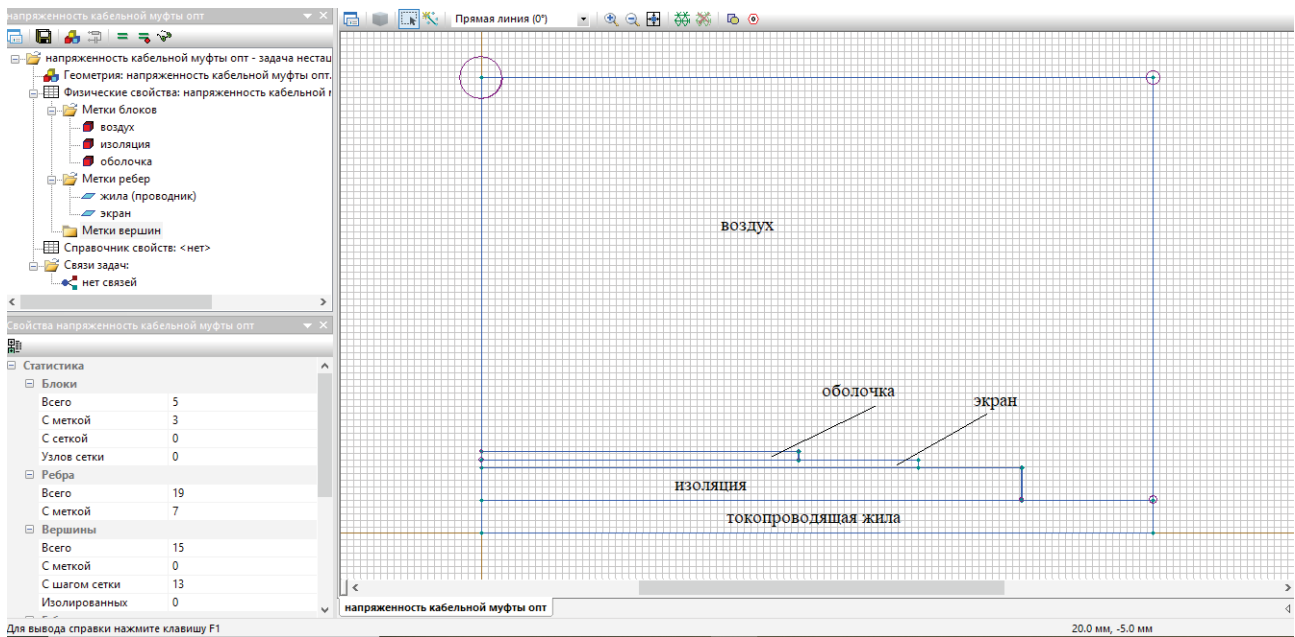


Рисунок 5. Модель кабеля в ПК ELCUT

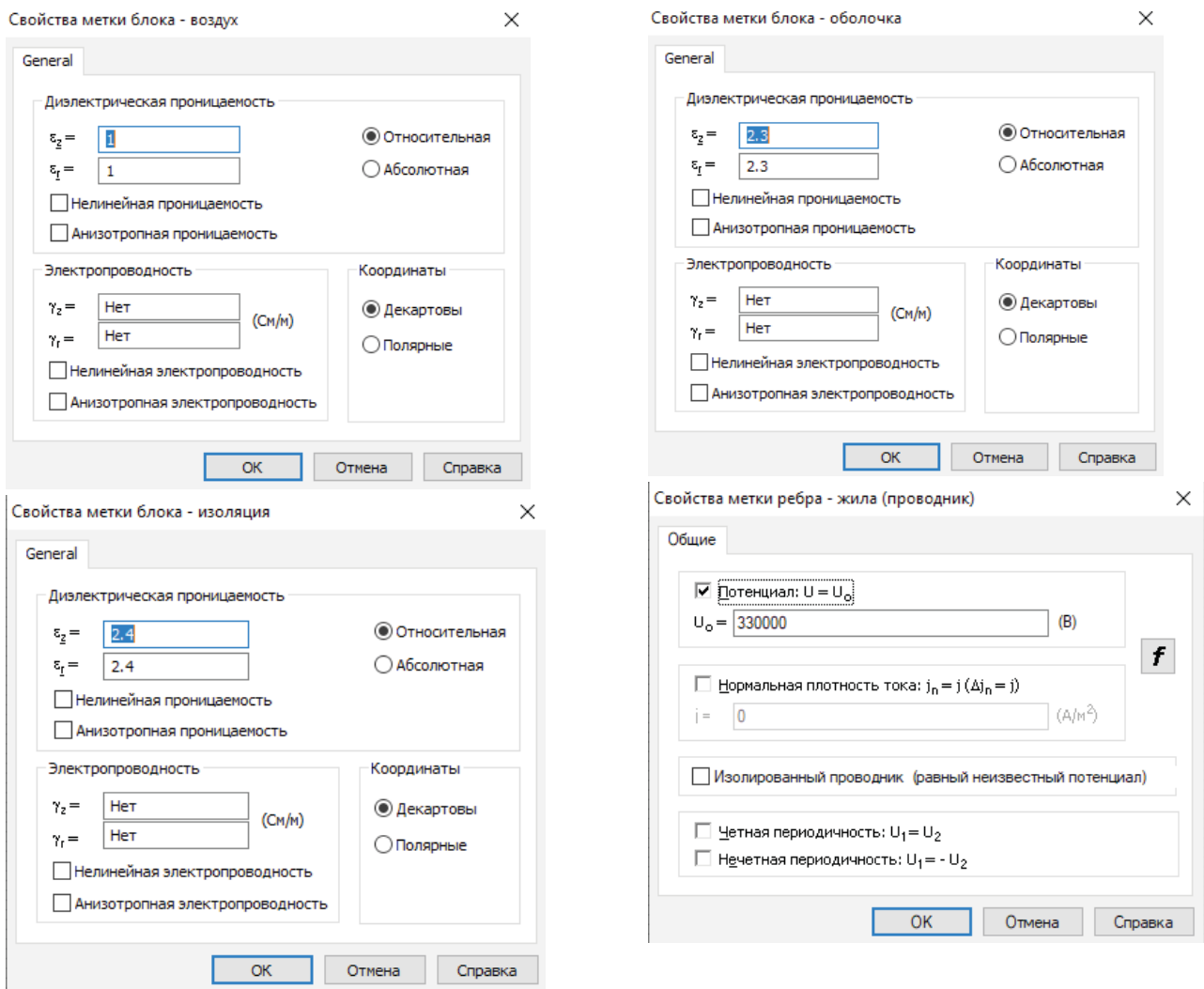


Рисунок 6. Свойства элементов кабеля

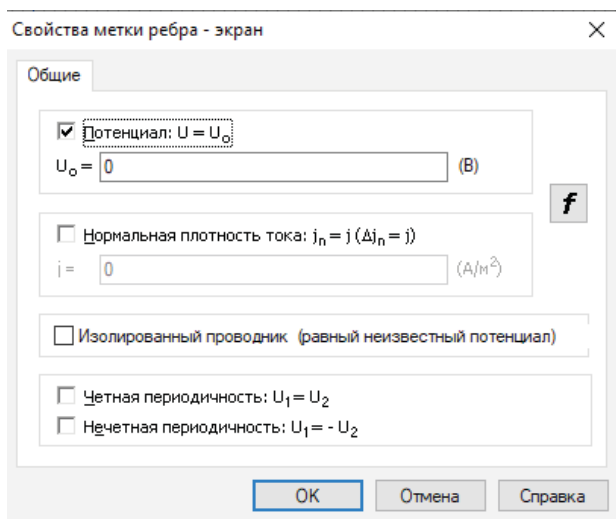


Рисунок 6 (продолжение).
Свойства элементов кабеля

После построения сетки конечных элементов (рисунок 7) и решения задачи (рисунок 8) видим, что в месте обрыва изоляции кабеля линии напряженности электрического поля имеют большую густоту, что говорит о перенапряжениях в данной области.

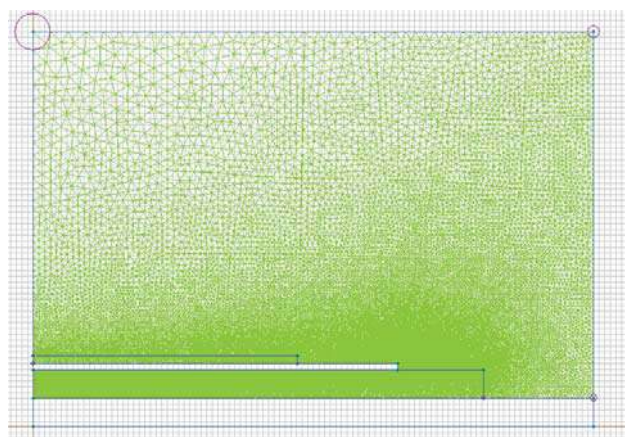


Рисунок 7. Построение сетки конечных элементов

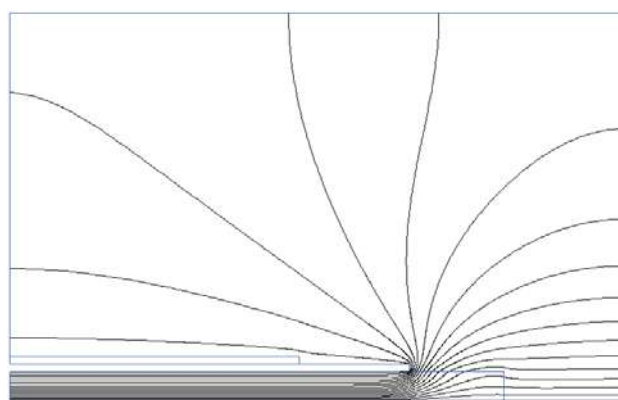


Рисунок 8. Распределение силовых линий напряженности электрического поля в кабеле

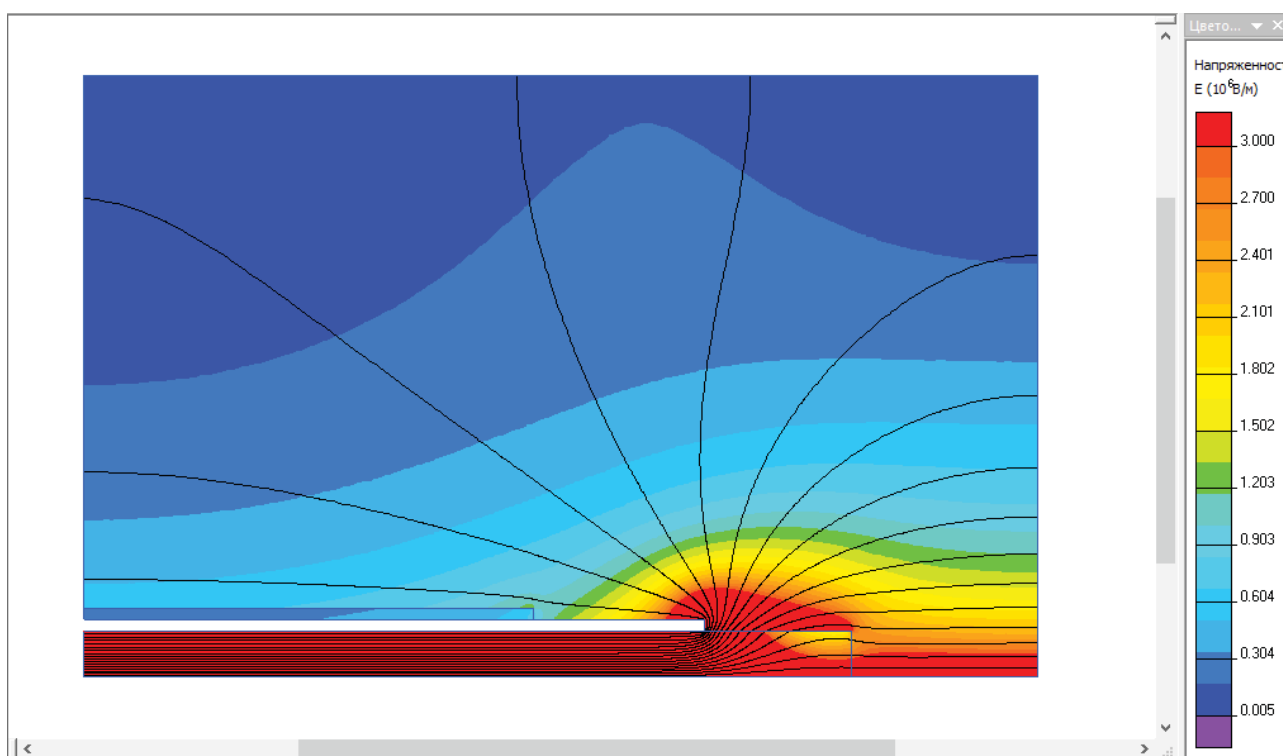


Рисунок 9. Цветная картина напряженности электрического поля в кабеле

Цветная картина распределения напряженности поля показана на рисунке 9. За предельную величину напряженности принята пробивная напряженность воздуха (внешняя среда – воздух) – 30 кВ/см, что показывает - в месте разделки кабеля напряженность увеличивается на недопустимую величину, поэтому требуются меры по ограничению ее значений.

Таким образом, при помощи ПО ELCUT была решена задача распределения напря-

женности электрического поля в случае рассмотрения силового высоковольтного кабеля по его длине, когда осуществлена разделка кабеля. В месте среза экрана кабеля напряженность поля имеет недопустимую величину, которая возрастает с ростом напряжения кабеля. Устранить критическую напряженность возможно при использовании выравнивающих трубок с нелинейными характеристиками и специальных муфт [2,1].

Библиография

1. Грешняков Г.В., Дубицкий С.Д., Коровкин Н.В. К вопросу о конструировании кабельных муфт высокого напряжения // Силовая электроника. 2014. № 1.
2. Концевая кабельная муфта. [Электронный ресурс] https://elcut.ru/advanced/telec3_r.htm (дата обращения 06.01.2021)
3. Таткабель. Кабели на высокое и сверхвысокое напряжение. [Электронный ресурс] URL: <https://www.elec.ru/files/2017/11/15/Prezentatsija-zavoda-Tatkabel.pdf> (дата обращения 06.01.2021)
4. ELCUT – программа моделирования. [Электронный ресурс] URL: <https://elcut.ru/> (дата обращения 06.01.2021)

References (transliterated)

1. Greshnyakov G.V., Dubickij S.D., Korovkin N.V. K voprosu o konstruirovanii kabel'nyh muft vysokogo napryazheniya // Silovaya elektronika. 2014. № 1.
2. Koncevaya kabel'naya mufta. [Elektronnyj resurs] https://elcut.ru/advanced/telec3_r.htm (data obrashcheniya 06.01.2021)
3. Tatkabel'. Kabeli na vysokoe i sverhvysoкое napryazhenie. [Elektronnyj resurs] URL: <https://www.elec.ru/files/2017/11/15/Prezentatsija-zavoda-Tatkabel.pdf> (data obrashcheniya 06.01.2021)
4. ELCUT – programma modelirovaniya. [Elektronnyj resurs] URL: <https://elcut.ru/> (data obrashcheniya 06.01.2021)

© А.Е. Сергеев, Р.М. Салихов, 2020



Ссылка на статью: Сергеев А.Е., Салихов Р.М. - Моделирование напряженности поля высоковольтного силового кабеля в месте разделки экрана // Вести научных достижений. Естественные и технические науки – 2020. - №3. – С. 115-119 DOI: 10.36616/2687-1335-2020-3-115-119 URL: <https://www.vestind.ru/journals/architecture/releases/2020-3/articles?View&page=11>

УДК 621.316.925.1

Дата направления в редакцию: 26-11-2020

Дата рецензирования: 07-12-2020

Дата публикации: 20-12-2020

Сергеев Дмитрий Евгеньевич
*Студент кафедры электромеханики,
Уфимский государственный авиационный
технический университет,
E-mail: dmitriysergeev1889@yandex.ru*

Sergeev Dmitriy Evgenevich
*Student of the Department of Electrical
Engineering
Ufa State Aviation Technical University
E-mail: dmitriysergeev1889@yandex.ru*

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ ДЛЯ УЧЕТА НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

CONSTRUCTION OF A DIFFERENTIAL PROTECTION MODEL BASED ON GRAPH THEORY TO ACCOUNT FOR CURRENT TRANSFORMER FAILURES

Аннотация (на рус). В статье представлен процесс построения модели дифференциальной защиты на основе теории графов, актуальность чего доказывается возможностью учитывать неисправности трансформаторов тока при действии защиты.

Abstract (in Eng). The article presents the process of constructing a differential protection model based on graph theory, the relevance of which is proved by the possibility to take into account the faults of current transformers under the action of protection.

Ключевые слова: трансформатор тока, релейная защита, дифференциальная защита, теория графов, метод двойной записи.

Keywords: current transformer, relay protection, differential protection, graph theory, double write method.

В настоящее время наиболее распространенным видом релейной защиты, повсеместно применяющимся в электрических сетях, особенно в сетях высокого и сверхвысокого напряжений, является дифференциальная защита (ДЗ). Являясь основной защитой элементов энергосистем, таких как линий (ДЗЛ), генераторов, трансформаторов (ДЗТ), сборных шин (ДЗШ), ошинок (ДЗО), дифференциальная защита обеспечивает выполнение основных требований, предъявляемых к релейным защитам: селективность, быстрдействие, чувствительность и др. В зависимости от исполнения принцип действия дифференциальной защиты базируется на сравнении фаз токов по концам защищаемого элемента (в этом случае защита называется дифференциально-фазной) или на определении суммы токов, притекающих с двух сторон данного объекта, по модулю. Так или иначе, ДЗ анализирует токи в начале и в конце защищаемого объекта, а именно в тех местах,

где установлены трансформаторы тока. Известно, что зона действия ДЗ ограничивается этими трансформаторами тока, которые предназначены для питания дифференциальных и других видов реле, участвующих в соответствующих логических операциях [6].

В качестве примера, поясняющего принцип работы ДЗ, рассмотрим упрощенную схему сети, состоящую из двух источников генерации С1 и С2, между которыми находится защищаемый элемент ЗЭ (линия, трансформатор и т.д.), состояние которого контролируется так называемой продольной дифференциальной защитой, представленной реле тока КА (рисунок 1). Продольной данная защита называется потому, что она сравнивает токи, протекающие вдоль одной цепи, в отличие от поперечной дифференциальной защиты, сравнивающей токи на параллельных участках. Как видно из рисунка 1, зона действия ДЗ ограничивается двумя трансформаторами тока ТА1 и ТА2, по первичной обмотке

которых протекают соответственно токи I_I и I_{II} . Защита производит сравнение модулей и фаз вторичных токов – I_{21} и I_{22} , которые при внешнем КЗ (рисунок 1, а) вычитаются, а при внутреннем КЗ, или, как говорят, КЗ «в зоне» (рисунок 1, б) – складываются, благодаря чему реле КА, реагирующее на сумму данных токов, срабатывает во втором случае и не срабатывает в первом, тем самым обеспечивая селективность защиты. В данном случае при внешних повреждениях дифференциальная защита воздействует на выключатели, отстоящие от защищаемого элемента по обе стороны, что приводит к отделению поврежденной части системы от остальной, которая продолжает работать в нормальном режиме [2].

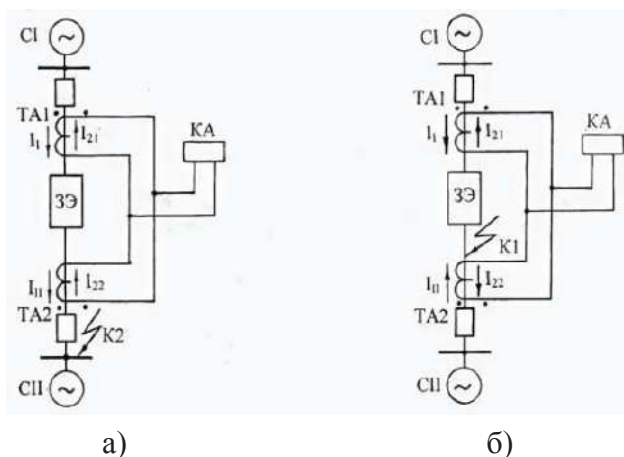


Рисунок 1 – Схема, поясняющая принцип действия дифференциальной защиты: а) – внешнее КЗ; б) – КЗ в зоне действия защиты

Среди факторов, усложняющих работу современной микропроцессорной дифференциальной защиты в связи с наличием питающих ее источников, а именно ТТ, можно выделить неисправности последних. Самыми распространенными среди них являются:

- повреждение корпусной изоляции, обмоток, сердечника;
- износ выводов и контактов;
- старение или пробой изоляции обмоток и т.д. [8]

Признаки неправильной работы ТТ иногда не получается обнаружить в установленные сроки, из-за чего вероятность выхода из строя ТТ усугубляется, что может привести к аварии. Например, при обрыве фазы (фаз) или витковом замыкании во вторичных обмотках ТТ токи I_{21} и/или I_{22} данных обмоток, кото-

рые представлены на рисунке 1, отсутствуют либо искажаются настолько, что могут вызвать ложное или излишнее срабатывание, а также несрабатывание защиты. Из-за необходимости избежать этого дифференциальную защиту требуется отстраивать от этих токов, применять различные устройства для контроля исправности токовых цепей и т.д. Это усложняет без того непростую конструкцию защиты и, кроме того, «загрубляет», т.е. снижает чувствительность, и уменьшает селективность защиты [2].

Следовательно, становится необходимым реализовать дифференциальную защиту так, чтобы неисправности ТТ не позволяли ей срабатывать ложно в нормальных режимах и не срабатывать в ненормальных и аварийных режимах, а приводили бы к выводу защиты из работы с предварительной индикацией о неисправностях трансформаторов тока. Данное положение продиктовано [3, п.3.10], согласно которому релейная защита должна выводиться из нормальной работы при неисправностях питающих ее вторичных цепей, в т. ч. цепей ТТ.

Согласно дискретной математике граф представляет собой множество характерных элементов, называемых вершинами, которые представляют собой узлы графа, и дугами, которые являются ребрами графа. Данные элементы, как правило, объединяются между собой по определенным закономерностям, что делает граф имитацией каких-либо объектов, например географических районов, молекулярных связей, электрических систем и т.д.. Именно граф как модель электрической сети является предметом рассмотрения настоящей работы. Пример подобного графа представлен на рисунке 2. Вершины обозначены на нем элементами $v1-v4$, а дуги – элементами $e1-e5$ [7].

На рисунке 2 связи между узлами и ветвями графа представлены в графическом виде. С одной стороны, данное представление электрической сети наглядно, позволяет оценивать взаимное расположение элементов сети. С другой стороны, моделирование сети графическим методом «непонятно» для компьютерной логики, которая, как правило, основана на анализе аналитических входных данных. Данной проблемы позволяет избежать переход от графического представления

сети к ее аналитическому образу, в виде таблиц или матриц. Так, например, представляется возможным построить матрицы, в которых столбцы характеризуют дуги графа, а строки – вершины, или наоборот. Также возможно представление матриц как характеристик вершин, а элементов матриц – как характеристик дуг. Такой подход по мнению автора наиболее предпочтителен, поэтому примем к рассмотрению именно его.

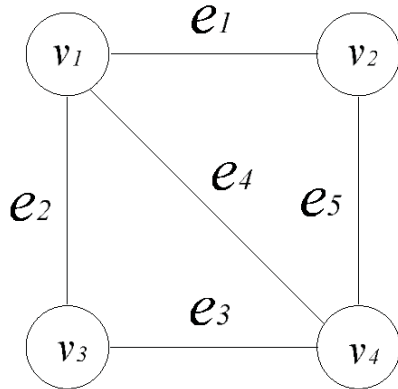


Рисунок 2 – Пример простейшего графа

Рассматриваемый способ построения дифференциальной защиты помимо теории графов сочетает в себе такой нестандартный для области электротехники метод, как использование двойной записи. Сочетание двух этих методов подразумевает отражение одной и той же величины (в данном случае дуги) дважды в различных матрицах. Это позволяет, с одной стороны, установить «прочную» связь между ветвями и узлами графа, а с другой стороны, убедиться в правильности построения графа. Использование метода двойной записи в построении матриц приводит к особой структуре последних. Каждая вершина графа описывается как токами, которые входят в данную вершину, так и токами, которые выходят из нее. Благодаря этому становится возможным оценить правильность соответствия графа и матриц токов, что, в свою очередь, позволяет защите при всяком изменении схемы, (которое, например, может быть связано с переходом работы энергосистемы из одного режима в другой) проверять и изменять матрицы токов согласно этому изменению. Таким образом, можно утверждать, что применение метода двойной записи увеличивает гибкость и самодиагностику защитной логики [7].

Пусть граф, представленный на рисунке 2, имитирует замкнутую распределительную сеть. Примем, что узлы $v1$ и $v4$ являются генерирующими источниками, а узлы $v2$ и $v3$ – приемниками; ветви $e1$ - $e5$ моделируют ЛЭП, соединяющие данные узлы. Предположим, что токи направлены согласно рисунку 3.

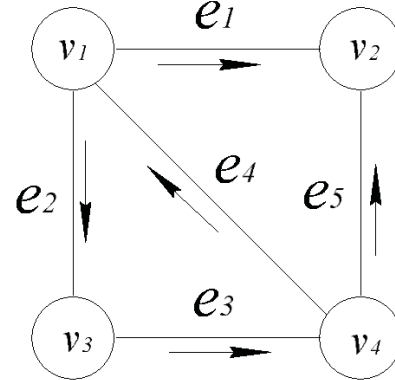


Рисунок 3 – Представление графа в виде модели электрической сети

Матрицу MV_1 , которая характеризует вершину $v1$ и содержит элементы, служащие характеристиками дуг, можно представить так, как показано на рисунке 4.

$$MV_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & I_1 \\ 0 & I_2 \\ I_4 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Рисунок 4 – Матрица для узла 1, записанная с учетом метода двойной записи

Обратим внимание, что матрица MV_1 записана с учетом метода двойной записи, о чем свидетельствует наличие у данной матрицы двух столбцов, в первом из которых отмечаются токи лишь тех ветвях, в которых они направлены к данной вершине, а во втором – токи в ветвях, в которых они направлены из вершины.

Благодаря тому, что подобные матрицы, записанные для всех узлов, определяют как модули, так и направления токов в электрической сети, они, как было отмечено выше, могут служить основой микропроцессорной

логики ДЗ, действие которой зависит от абсолютного значения токов в защищаемой зоне и их направлений [1].

Нельзя не отметить, что использование теории графов для решения поставленной в настоящей научно-исследовательской работе проблемы не лишено смысла, а напротив, имеет под собой веское основание. Данное обстоятельство обосновано тем, что:

- с помощью графа можно смоделировать практически любой вид электрической сети, от распределительной до системообразующей;
- аналитические выкладки, связанные с преобразованием графов, расчетом матриц и другими вычислениями, которые составляют основу теории графов, достаточно сильно облегчают представление электрических процессов, происходящих в энергетических системах и сетях, с одновременным увеличением точности и надежности работы дифференциальной защиты.

За составлением матриц $MV1-MV4$ (для схемы рисунка 3) следует составление соответствующих им суммарных матриц токов $SMV1-SMV4$, которые получаются из первых складыванием токов, протекающих по дугам, входящим в матрицу. Следует отметить, что в ходе вычисления суммарных токовых матриц при моделировании схемы сети в нормальном режиме данные матрицы должны обнуляться, так как в этом случае сумма токов в узлах сети равна нулю (отсутствуют токи небаланса).

Заключительным этапом моделирования является получение так называемой итоговой матрицы-вектора SUM , реализуемой путем

сложения матриц $SMV1-SMV4$. Данная матрица необходима для анализа режимов работы энергосистемы, защищаемой дифференциальной защитой. Например, если матрица SUM при нулевых матрицах $SMV1-SMV4$ дает ноль, это может говорить о нормальном режиме работы электрической сети (см. рисунок 3). Если же при некоторых ненулевых матрицах SMV значение матрицы SUM также не равно нулю, то, очевидно, присутствует КЗ на каком-либо из элементов сети. Возможна также ситуация, что при некоторых ненулевых SMV матрица SUM равна нулю. Это может говорить о неисправностях питающих дифференциальную защиту трансформаторах тока. Приведенные выкладки в табличной форме для некоторых сочетаний матриц SMV и SUM представлены в таблице 1 [4,5].

Таким образом, по анализу таблицы 1 можно сделать выводы о режимах работы электрической сети при тех или иных значениях токов в узлах сети, или, другими словами, в плечах дифференциальной защиты. Кроме того, становится возможным выявлять неисправности трансформаторов тока, питающих дифференциальную защиту, в зависимости от тех или иных в узлах сети, что позволяет предпринимать оперативные действия по выводу защиты из действия.

Выкладки, произведенные при анализе таблицы 1, могут быть внедрены в микропроцессорную логику дифференциальной защиты и таким образом повысить эффективность и надежность ее работы в современных высоковольтных сетях.

Таблица 1 – Соответствие некоторых комбинаций матриц токов характерам повреждений

№ п/п	Значения матриц токов					Характер повреждения
	$SMV1$	$SMV2$	$SMV3$	$SMV4$	SUM	
1	0	0	0	0	0	Отсут.
2	≠0	0	≠0	0	≠0	КЗ на $e2$
3	≠0	0	0	≠0	≠0	КЗ на $e4$
4	≠0	0	≠0	0	0	Неиспр. ТТ на $e2$
5	≠0	0	0	≠0	0	Неиспр. ТТ на $e4$

Библиография

1. Двойная запись, ее сущность и значение [электронный ресурс] : файловый архив студентов URL: <https://studfile.net/preview/4233240/page:3/> (дата обращения: 25.12.2020)
2. Дифференциальная защита электрооборудования [электронный ресурс] : электротехнический интернет-портал URL: <https://amperof.ru/elektropribory/osobennosti-differentsialnoj-zashhity-silovogo>

oborudovaniya.html (дата обращения: 25.12.2020)

3. СО 34.35.502-2005. Инструкция для оперативного персонала по обслуживанию устройств релейной защиты и электроавтоматики энергетических систем. – ЦПТИиТО ОРГРЭС, 2005

4. Куликов А.Л., Колесников А.А., Вуколов В.Ю., Шарыгин М.В. Способ дифференциальной защиты участка электрической сети // Патент России № RU 2 648 249 С1, 23.03.2018

5. Куликов А.Л., Вуколов В.Ю., Колесников А.А., Шарыгин М.В. Дифференциальная защита шин 110-220 кВ с применением метода двойной записи / А.Л. Куликов, В.Ю. Вуколов, А.А. Колесников, М.В. Шарыгин // Проблемы энергетики. – 2017. – №11-12. – с. 21-31

6. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Э.А. Киреева, С.А. Цырук. — 3 е изд., стер. — М. :Издательский центр «Академия», 2013 — 288 с.

7. Теория графов. Электронное учебно-методическое пособие / Алексеев В.Е., Захарова Д.В. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012 – 57 с.

8. Трансформаторы. Характерные неисправности трансформаторов и способы их устранения [электронный ресурс] : информационная торговая система URL: http://www.eti.su/articles/visokovoltnaya-tehnika/visokovoltnaya-tehnika_459.html (дата обращения: 25.12.2020)

References (transliterated)

1. Dvojnaya zapis', ee sushchnost' i znachenie [elektronnyj resurs] : fajlovyj arhiv studentov URL: <https://studfile.net/preview/4233240/page:3/> (data obrashcheniya: 25.12.2020)

2. Differencial'naya zashchita elektrooborudovaniya [elektronnyj resurs] : elektrotekhnicheskij internet-portal URL: <https://amperof.ru/elektropribory/osobennosti-differentsialnoj-zashhity-silovogo-oborudovaniya.html> (data obrashcheniya: 25.12.2020)

3. SO 34.35.502-2005. Instrukciya dlya operativnogo personala po obsluzhivaniyu ustrojstv relejnoj zashchity i elektroavtomatiki energeticheskix sistem. – CPTIiTO ORGRES, 2005

4. Kulikov A.L., Kolesnikov A.A., Vukolov V.Yu., Sharygin M.V. Sposob differencial'noj zashchity uchastka elektricheskoy seti // Patent Rossii № RU 2 648 249 С1, 23.03.2018

5. Kulikov A.L., Vukolov V.Yu., Kolesnikov A.A., Sharygin M.V. Differencial'naya zashchita shin 110-220 kV s primeneniem metoda dvojnnoj zapisi / A.L. Kulikov, V.Yu. Vukolov, A.A. Kolesnikov, M.V. Sharygin // Problemy energetiki. – 2017. – №11-12. – s. 21-31

6. Relejnaya zashchita i avtomatika elektroenergeticheskix sistem : uchebnik dlya stud. uchrezhdenij sred. prof. obrazovaniya / E.A. Kireeva, S.A. Cyruk. — 3 e izd., ster. — M. :Izdatel'skij centr «Akademiya», 2013 — 288 s.

7. Teoriya grafov. Elektronnoe uchebno-metodicheskoe posobie / Alekseev V.E., Zaharova D.V. – Nizhnij Novgorod: Nizhegorodskij gosuniversitet, 2012 – 57 s.

8. Transformatory. Harakternye neispravnosti transformatorov i sposoby ih ustraneniya [elektronnyj resurs] : informacionnaya trgovaya sistema URL: http://www.eti.su/articles/visokovoltnaya-tehnika/visokovoltnaya-tehnika_459.html (data obrashcheniya: 25.12.2020)

© Д.Е. Сергеев, 2020



Ссылка на статью: Сергеев Д.Е. - Построение модели дифференциальной защиты на основе теории графов для учета неисправностей трансформаторов тока // Вести научных достижений. Естественные и технические науки – 2020. - №3. – С. 120-124 DOI: 10.36616/2687-1335-2020-3-120-124 URL: <https://www.vestind.ru/journals/architecture/releases/2020-3/articles?View&page=16>

УДК 621.315.2.016.2

Дата направления в редакцию: 25-11-2020

Дата рецензирования: 06-12-2020

Дата публикации: 20-12-2020

Тимофеев Глеб Владиславович

*Студент кафедры электромеханики
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
авиационный технический университет»
E-mail: azarov.glebka@mail.ru*

Timofeev Gleb Vladislavovich

*Student of the Department of Electromechanics
FSBEI HE "Ufa State
Aviation Technical University"
E-mail: azarov.glebka@mail.ru*

Потапчук Николай Константинович

*Кандидат технических наук, доцент кафедры электромеханики
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
авиационный технический университет»
E-mail: nkp2049948@mail.ru*

Potapchuk Nikolaj Konstantinovich

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of
the Department of Electromechanics
FSBEI HE "Ufa State
Aviation Technical University"
E-mail: nkp2049948@mail.ru*

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ НА ПРОВОДАХ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ MODERN METHODS OF MONITORING ICE FORMATION ON THE WIRE OVERHEAD POWER LINE

Аннотация (на рус). В статье рассматриваются современные методы, которые используются для отслеживания образования гололеда на проводах воздушной линии электропередач. Изложены сущности традиционного метода осмотра выездной бригадой и аппаратных методов: контроль натяжения проводов при помощи датчиков нагрузки, отслеживание с помощью видеокамер, контроль изменения скорости движения волны электромагнитного поля по проводам линии. Приведены задачи, которые должны выполнять современные системы мониторинга гололедообразования, а также виды связи, которыми может быть передана собранная информация состоянии линии на пункт приема. Сделан вывод о целесообразности применения аппаратных методов мониторинга гололедообразования.

Abstract (in Eng). The article discusses modern methods that are used to track the formation of ice on the wires of overhead power lines. The essence of the traditional method of inspection by an on-site team and hardware methods is stated: monitoring the tension of wires using load cells, control using video cameras, monitoring the change in the speed of the electromagnetic field wave along the wires of the line. The tasks that should be performed by modern systems for monitoring ice formation, as well as the types of communication by which the collected line status information can be transmitted to the receiving point. The conclusion is made about the advisability of using hardware methods for monitoring ice formation.

Ключевые слова: провод, воздушная линия электропередач, гололедообразование, контроль.

Keywords: wire, overhead power line, ice formation, monitoring.

При эксплуатации электрических сетей в осенне-зимний период в некоторых регионах России для обеспечения надежного электроснабжения важно учитывать воздействие опасных метеорологических явлений. Гололедно-ветровые аварии считаются одними из самых тяжелых, и трудно ликвидируемых на воздушных линиях электропередач, в связи с зимнем бездорожьем, плохой видимостью и мерзлым грунтом. Так, например, по данным россетей на 2018/2019 осенне-зимний период из-за гололедных аварий произошло 11 массовых отключений. Опасные быстро возникающие, и угасающие климатические явления как

штормы и гололед приносят экономический значительный ущерб электросетевым компаниям из-за перерыва электроснабжения, вызванного выходом из работы ВЛ.

Чтобы вовремя устранить аварийную ситуацию, необходим регулярный контроль обледенений на ЛЭП. Для наблюдения за весом гололедных отложений и других важных факторов разработано множество комплексов с различным функционалом, в зависимости от специфики энергоснабжения и самой ЛЭП.

Одним из самых распространенных является традиционный метод визуального осмотра линии. В зимний период, при низкой темпера-

туре, и снежных осадках бригада электромонтеров районной электросетевой организации выезжает для визуального осмотра проводов ЛЭП на наличие гололеда. При своей простоте, данный метод имеет некоторые недостатки, такие как отсутствие оперативного мониторинга, неточность оценивания отложений, по причине глазомерного определения, невозможность реализации при наличии плохой видимости (при буране), отсутствие возможности прогноза начала плавки, а следовательно и времени организационных мероприятий на отключение линии.

Более совершенными системами мониторинга гололеда воздушной линии являются аппаратные. Обобщенно для них ставятся следующие задачи:

- Повышение точности, достоверности и быстродействия систем мониторинга промежуточного пролета ВЛ.

- Объединение задач обнаружения и измерения параметров гололедно-ветровых и температурных нагрузок.

- Цифровая передача, обработка и отображение информации, выработка рекомендаций диспетчеру.

- Адаптация работы системы мониторинга к текущим метеоусловиям и параметрам плавки отложений.

- Увеличение числа контролируемых параметров мониторинга.

- Многофункциональность системы, объединенный контроль метеорологических и эксплуатационных параметров.

- Реальный масштаб времени.

- Уменьшение времени наблюдения, непрерывность действия и стабильность параметров системы

- Решение задач обнаружения, измерения и распознавания воздействующего фактора и его величины.

- Обнаружение условий возникновения динамических колебаний проводов (грозотроса) пляски проводов.

При разработке систем наблюдения состояния ВЛ существует несколько способов контроля образования наледи на проводах:

1. Контроль натяжения проводов при помощи датчиков регистрации усилий. Данный метод основан на отслеживании с помощью датчиков веса или натяжения провода, и пода-

че сигнала об образовании наледи при существенном отклонении от номинальных значений. Датчики нагрузки могут устанавливаться отдельно от приборов, как в системе СТГН компании «ООО «НТЦ Инструмент-микро» (рисунок 1, а), так и непосредственно внутри прибора, устанавливаемого на проводе, такое исполнение было реализовано в системе ASTROSE (рисунок 1, б)



а



б

Рисунок 1. Системы контроля обледенений с помощью датчиков усилий:
а - СТГН; б - ASTROSE.

2. Контроль ледяных отложений при помощи видеокамер, смонтированных на проводах в датчиках. Этот метод достаточно эффективен и дешев, т. к. цена современных web – камер составляет всего десятки долларов, но он менее точен чем, другие аппаратные методы, а при буране высока вероятность отсутствия видимости состояния провода ЛЭП.

3. Контроль изменения скорости движения волны электромагнитного поля по проводам линии. Для контроля этих параметров по расписанию в работающую линию через конденсатор связи поступают импульсы генера-

тора, распространяясь по всей линии. После отражения этих импульсов от оборудования и отпаяк соседних подстанций, они возвращаются обратно к регистратору. Любые изменения рефлектограмм относительно опорной рефлектограммы отражают установившиеся изменения свойств линии. Чем сильнее растёт время движения импульса по линии, тем больший объём осадков находится на проводах линии. Данный метод применяется в системе DiLin (рисунок 2).

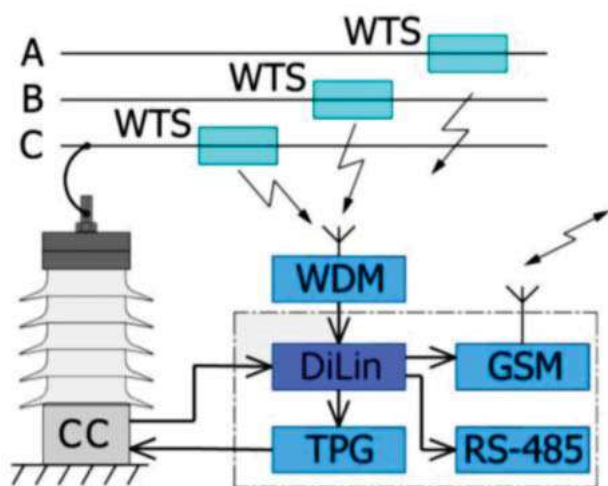


Рисунок 2. Система контроля обледенений DiLin

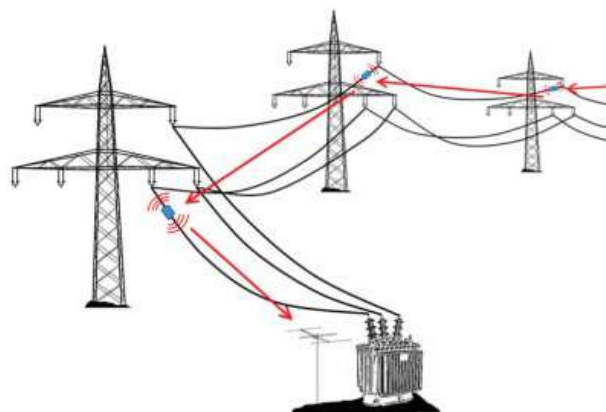
На рисунке 2 обозначены:

CC – конденсатор связи; TPG – генератор импульсов; Dilin – коммутатор; GSM, RS-485 – каналы связи; WTS – температурные датчики провода; WDM – блок приемник данных с температурных датчиков.

Как мы видим выше, кроме датчиков нагрузки, часто в системы мониторинга гололедообразования с целью прогнозирования нарастания наледи встраиваются и метеодатчики (ими могут быть датчики температуры окружающего воздуха, направления ветра, скорости ветра, влажности, температуры провода).

Все системы имеют пункт приема, принимающий информацию регистрирующих устройств с пунктов контроля. В основном все системы от пунктов контроля передают информацию на пункт приема с помощью беспроводных связей таких как GSM, GPRS,

радио, спутник или с помощью проводных каналов по оптической («медной») линии Ethernet, по интерфейсу RS-485. Но передача данных может также осуществляться на нелицензируемой частоте 2.4 ГГц, от одного пункта контроля к следующему пункту контроля и до базовой станции приема, устанавливаемой на подстанции. Данный способ передачи данных нашел применение в системе ASTROSE,



путь передачи информации показан на рисунке 3, где синем цветом, помечен сам прибор.

Рисунок 3. Передача данных системы ASTROSE

Недостаткам данных систем является то, что затраты на сами системы достаточно высокие, отображение и обработка полученной телеметрической информации осуществляется с применением специализированного ПО, требующего организацию еще одного рабочего места, пункты контроля устанавливаются точно в местах наиболее подверженных обледенениям, таким образом для достижения лучшего уровня мониторинга состояния линии придется увеличить затраты на установку дополнительных пунктов.

Несмотря на высокую стоимость систем контроля обледенений и ее эксплуатацию, в связи с ростом в России опасных погодных явлений в осенне-зимний период, именно аппаратные комплексы мониторинга, постоянно контролирующие нагрузку и метеоданные позволяют быстро обнаружить и предотвратить критический провес провода, от образования на нем обледенений, тем самым повышая надежность электроснабжения.

Библиография

1. Самарин А. В., Рыгалин Д. Б., Шкляев А. А. Современные технологии мониторинга воздушных электросетей ЛЭП // Естественные и технические науки. 2012. № 1, 2
2. Автоматизированная система обнаружения гололеда на ВЛ ASTROSE. [Электронный ресурс]. URL: <https://sovtest-ate.com/pdf/ASTROSE.pdf> (дата обращения: 07.01.2020)
3. Русов В.А. Системы мониторинга и оперативной диагностики состояния воздушных линий. // ООО «DIMRUS». [Электронный ресурс]. URL: http://sibdiag.ru/userfiles/files/1_13_1_.pdf (дата обращения: 08.01.2021)
4. Система телеметрии гололедно-ветровых нагрузок. [Электронный ресурс]. URL: <http://instrument-micro.ru/images/stati/ufa.pdf> (дата обращения: 07.01.2020)
5. DiLin – система контроля наличия гололеда на проводах воздушных линий. [Электронный ресурс]. URL: https://npp-tp.ru/images/pdf/Dimrus/dil_in.pdf (дата обращения: 08.01.2020)

References (transliterated)

1. Samarin A. V., Rygalin D. B., Shklyayev A. A. Sovremennyye tekhnologii monitoringa vozdushnyh elektrosetej LEP // Estestvennyye i tekhnicheskiye nauki. 2012. № 1, 2
2. Avtomatizirovannaya sistema obnaruzheniya gololeda na VL ASTROSE. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://sovtest-ate.com/pdf/ASTROSE.pdf> (data obrashcheniya: 07.01.2020)
3. Rusov V.A. Sistemy monitoringa i operativnoj diagnostiki sostoyaniya vozdushnyh linij. // ООО «DIMRUS». [Elektronnyj resurs]. URL: http://sibdiag.ru/userfiles/files/1_13_1_.pdf (data obrashcheniya: 08.01.2021)
4. Sistema telemektrii gololedno-etrovyh nagruzok. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://instrument-micro.ru/images/stati/ufa.pdf> (data obrashcheniya: 07.01.2020)
5. DiLin – sistema kontrolya nalichiya gololeda na provodah vozdushnyh linij. [Elektronnyj resurs]. URL: https://npp-tp.ru/images/pdf/Dimrus/dil_in.pdf (data obrashcheniya: 08.01.2020)

© Г.В. Тимофеев, Н.К. Потапчук, 2020



Ссылка на статью: Тимофеев Г.В., Потапчук Н.К. - Современные методы контроля ледообразования на проводах воздушной линии электропередач // Вести научных достижений. Естественные и технические науки – 2020. - №3. – С. 125-128 DOI: 10.36616/2687-1335-2020-3-125-128 URL: <https://www.vestind.ru/journals/architecture/releases/2020-3/articles?View&page=21>

УДК 621.316.925.1

Дата направления в редакцию: 06-12-2020

Дата рецензирования: 17-12-2020

Дата публикации: 20-12-2020

Сергеев Дмитрий Евгеньевич

*Студент кафедры электромеханики,
Уфимский государственный авиационный технический университет,*

E-mail: dmitriysergeev1889@yandex.ru

Dmitriy Evgenevich Sergeev

*Student of the Department of Electrical Engineering
Ufa State Aviation Technical University
E-mail: dmitriysergeev1889@yandex.ru*

СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ УЧЕТА НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ

COMPARISON OF WAYS TO ACCOUNT FOR CURRENT TRANSFORMER FAILURES IN THE IMPLEMENTATION OF DIFFERENTIAL PROTECTIONS

Аннотация (на рус). В статье представлены характеристика основных неисправностей трансформаторов тока, питающих дифференциальную защиту, и краткий сравнительный анализ наиболее известных способов учета данных неисправностей при функционировании дифференциальных защит.

Abstract (in Eng). The article presents the characteristics of the main faults of current transformers that supply differential protection, and a brief comparative analysis of the most well-known methods of accounting for these faults in the operation of differential protection.

Ключевые слова: трансформатор тока, релейная защита, дифференциальная защита, неисправности трансформаторов тока, тормозная характеристика, теория графов.

Keywords: current transformer, relay protection, differential protection, faults of current transformers, braking characteristic, graph theory.

Как известно, наиболее распространенной защитой, которая используется в сетях 110 кВ и выше как основная защита линий, трансформаторов, сборных шин и т.д., является дифференциальная защита. Она является быстродействующей, абсолютно селективной, надежной. При этом ее отличает сложность реализации и, как следствие, высокая стоимость. Одной из причин этого является сильная зависимость дифференциальных реле, которые являются основным элементом данной защиты, от трансформаторов тока. Последние служат для питания этих реле и, кроме того, определяют границы действия дифференциальной защиты [2]. В этой связи имеются две основные проблемы:

- погрешность трансформаторов тока, обусловленная тем, что абсолютно одинаковых ТТ не бывает, из-за чего их коэффициенты трансформации отличаются на какое-либо значение, поэтому вторичные токи, протекающие по плечам защиты, также отличаются. В связи с этим результат сложения этих то-

ков будет искаженным и может не попасть в зону значений, при которых ДЗ работает или не работает, что приведет к излишнему или ложному срабатыванию защиты;

- неисправности трансформаторов тока, связанные с повреждением корпусной изоляции, обмоток, сердечника, износом выводов и контактов, старением или пробоем изоляции обмоток и т.д. [9].

В современных защитах, особенно микропроцессорных, первая проблема, как правило, решается применением тормозной обмотки, быстроснабжающихся или промежуточных трансформаторов тока, подбором числа витков обмоток и групп соединения обмоток ТТ и другими методами, поэтому эта проблема выходит за рамки области данной работы.

Большой интерес представляют неисправности трансформаторов тока, а именно то, как учет этого фактора может быть реализован в логике дифференциальной защиты, именно поэтому данный вопрос будет предметом рассмотрения настоящей работы.

Признаки неправильной работы ТТ, такие как присутствие сильного треска, коронирования, искровых явлений в трансформаторе тока, запаха гари, повышенной температуры контактных соединений и др., зачастую не могут быть выявлены вовремя, в связи с чем опасность повреждений ТТ усугубляется и может привести к аварии. В частности, при обрыве фазы (фаз) или витковом замыкании во вторичных обмотках ТТ токи отсутствуют либо искажаются настолько, что могут вызвать ложное или излишнее срабатывание, а также несрабатывание защиты. С целью избежать этого дифференциальную защиту приходится отстраивать от искаженных токов, применять специальные устройства для контроля исправности токовых цепей и т.д., что значительно усложняет без того непростую конструкцию защиты и, кроме того, приводит к загромождению (снижению чувствительности) и уменьшению селективной работы защиты [2].

Исходя из вышеприведенных рассуждений, очевидно, что трансформаторы тока напрямую влияют на надежность работы дифференциальной защиты. Поэтому становится необходимым реализовать ДЗ таким образом, чтобы неисправности ТТ не позволяли защите срабатывать ложно в нормальных режимах или не срабатывать в ненормальных и аварийных режимах, а приводили бы к ее выводу из работы с предварительной индикацией о неисправностях трансформаторов тока. Данное положение продиктовано [3, п.3.10], согласно которому релейная защита должна выводиться из нормальной работы при неисправностях питающих ее вторичных цепей, в т. ч. цепей ТТ.

Рассмотрим несколько наиболее часто применяемых в настоящее время способов, учитывающих и устраняющих некоторые повреждения в трансформаторах тока.

Во-первых, следует отметить такой универсальный метод, как отстройка тока срабатывания ДЗ от бросков тока намагничивания, возникающих при неисправностях вторичных цепей, а также от сверхтоков, появляющихся при витковых замыканиях [11]. В этом случае при наличии указанных неисправностей защита срабатывать не будет, так как ток, протекающий через первичную обмотку ТТ, будет меньше минимального тока, при котором

срабатывает ДЗ. Индикация о неисправности трансформаторов тока при этом возникает при превышении тока, который проходит через первичную обмотку ТТ, некоторой уставки. Последняя подбирается таким образом, чтобы обеспечивалось реагирование на возможно большой диапазон токов, которые появляются при неисправности трансформаторов тока. Такое решение, с одной стороны, позволяет исключить излишние срабатывания ДЗ при перечисленных неисправностях, а с другой – огрубляет защиту, снижая ее чувствительность, что негативно отражается на ее функционировании при КЗ на защищаемом элементе.

В качестве примера рассмотрим представленную на рисунке 1 тормозную характеристику ДЗШ, имеющей два избирательных органа ИО1 и ИО2, графики которых представлены соответственно верхней и нижней характеристиками. Токи срабатывания органов в начальный момент времени $I_{д0}$ отстраиваются от сверхтока при обрыве цепей тока. При токах торможения $I_{т0}$ горизонтальные характеристики переходят в наклонные с углами α . На рисунке 1 токи $I_{д0}$ и $I_{т0}$ даны в относительных единицах в долях от базисного тока $I_{б}$. Коэффициент торможения, равный тангенсу угла α , рассчитывается по формуле:

$$K_T = \frac{K_{отс} I_{нб\ расч} - I_{д0}}{I_{кз\ max} - I_{т0}} \quad (1)$$

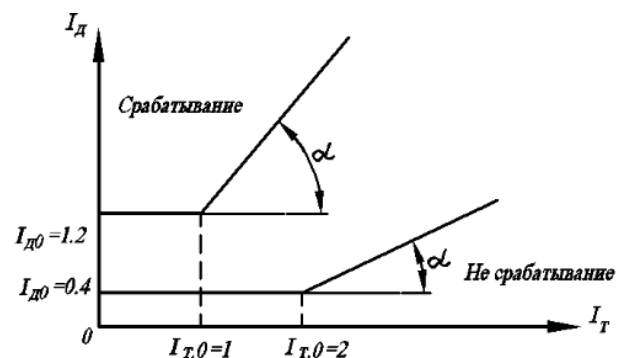


Рисунок 1 – Тормозная характеристика дифференциальной защиты шин

Из формулы (1) и рисунка 1 видно, что чем большее значение принимают ток срабатывания ДЗ и коэффициент отстройки и чем меньше – ток торможения, тем коэффициент

торможения больше, из-за чего зона несрабатывания защиты также увеличивается (при одновременном уменьшении зоны срабатывания).

Данный пример подтверждает наличие вышеперечисленных недостатков данного способа, которые связаны с уменьшением чувствительности и наличием погрешности в выборе тока срабатывания защиты.

Таким образом, решая некоторые проблемы, связанные с неисправностями трансформаторов тока, данный метод не исключает неудовлетворительного действия защиты при исправных ТТ. Этот факт, в свою очередь, заставляет предпринимать дополнительные меры по устранению представленных недостатков, что сказывается на надежности и стоимости защиты [11].

Во-вторых, возможна индикация о неисправностях трансформаторов тока по отслеживанию векторной суммы токов, протекающих во всех фазах ТТ и в его нулевом проводе [7]. На рисунке 2 фазные токи I_a, I_b, I_c , протекающие по направлению к внешней цепи, компенсируются током в нейтральном проводе I_N , который направлен к обмоткам, соединенным в схему «звезда». Поэтому в нормальном режиме сложение данных токов будет давать ноль или близкое к нему значение (вследствие невозможности обеспечить полную симметрию трехфазной системы токов). В режиме же КЗ или иных аварий, как, например, при замыкании витков обмотки, обрыве какой-либо фазы и т.д., т.е. в случаях, когда нарушается трехфазность линейных и фазных токов, сумма данных токов будет иметь какое-либо ненулевое значение. Несмотря на то, что

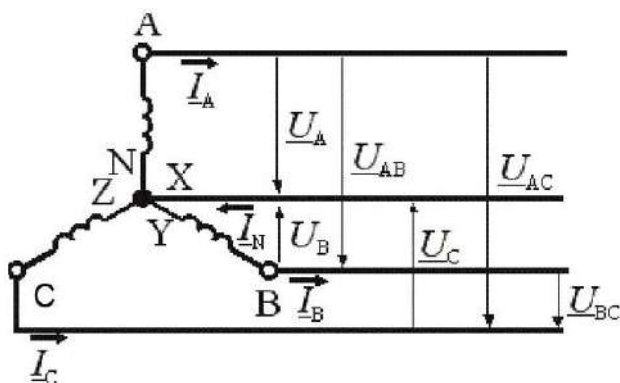


Рисунок 2 – Сложение токов в фазных и нулевом проводах в трансформаторе тока, соединенных по схеме «звезда»

представленный метод обеспечивает реагирование дифференциальной защиты практически на все повреждения в ТТ, его отличают такие недостатки, как, подобно предыдущему способу, снижение чувствительности, а также относительно низкое время отключения защитой выключателей, предназначенных для отделения поврежденных участков сети от неповрежденных [10]. Данные недостатки нарушают основные требования, предъявляемые к релейной защите.

Большой интерес представляет решение проблемы реализации ДЗ третьим методом – путем предложения способа дифференциальной защиты, основанного на применении теории графов в совокупности с так называемым методом двойной записи [4,5].

С точки зрения дискретной математики граф – это совокупность множества двух видов элементов – вершин, представляющих собой узлы графа, – и дуг, являющихся ребрами графа. Узлы и ребра связываются между собой определенным образом. Пример простейшего графа представлен на рисунке 3, в котором вершины обозначены как v_1-v_4 , а дуги – как e_1-e_5 [8].

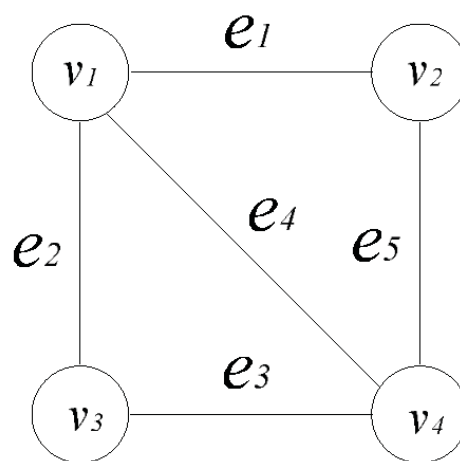


Рисунок 3 – Пример простейшего графа

Связи между ветвями и узлами графа удобно изображать в виде матриц, которые могут строиться по различным принципам. Так, известен способ построения матриц, в которых столбцы характеризуют дуги матрицы, а строки – вершины, или наоборот. Также возможно представление матриц как характеристик вершин, а элементов матриц – как характеристик дуг. Такой подход наиболее предпочтителен, поэтому

целесообразно использовать именно его.

Вышеупомянутый метод двойной записи применительно к рассматриваемой теме предполагает отражение одной и той же величины (в данном случае дуги) два раза в разных матрицах, что дает возможность, во-первых, закрепить связь между ветвями и узлами графа, а во-вторых, убедиться в правильности построения графа [1].

Благодаря тому, что подобные матрицы, записанные для всех узлов, определяют как модули, так и направления токов в энергосистеме, они могут служить основой микропроцессорной логики ДЗ, действие которой зависит от абсолютного значения токов в защищаемой зоне и их направлений.

Следует отметить, что использование теории графов для решения проблемы, поставленной в работе, имеет под собой веское основание. Это связано главным образом с

тем, что, во-первых, с помощью графа можно смоделировать сеть любой сложности, и во-вторых, математические операции, связанные с расчетом матриц, преобразованием графов и другими вычислениями, которые являются составной частью теории графов, значительно облегчают представление электрических процессов, происходящих в энергосистемах и сетях, и одновременно повышают точность и надежность работы защиты.

Из сравнительного анализа вышеприведенных методов можно сделать вывод, что наиболее предпочтительным способом, позволяющим дифференциальной защите функционировать требуемым образом при повреждениях в питающих их трансформаторах тока, является последний способ, благодаря своей простоте и вместе с тем минимизации нежелательных проявлений, как, например, снижение чувствительности защиты.

Библиография

1. Двойная запись, ее сущность и значение [электронный ресурс] : файловый архив студентов URL: <https://studfile.net/preview/4233240/page:3/> (дата обращения: 27.12.2020)
2. Дифференциальная защита электрооборудования [электронный ресурс] : электротехнический интернет-портал URL: <https://amperof.ru/elektropribory/osobennosti-differentsialnoj-zashhity-silovogo-oborudovaniya.html> (дата обращения: 27.12.2020)
3. СО 34.35.502-2005. Инструкция для оперативного персонала по обслуживанию устройств релейной защиты и электроавтоматики энергетических систем. – ЦПТИиТО ОРГРЭС, 2005
4. Куликов А.Л., Колесников А.А., Вуколов В.Ю., Шарыгин М.В. Способ дифференциальной защиты участка электрической сети // Патент России № RU 2 648 249 С1, 23.03.2018
5. Куликов А.Л., Вуколов В.Ю., Колесников А.А., Шарыгин М.В. Дифференциальная защита шин 110-220 кВ с применением метода двойной записи / А.Л. Куликов, В.Ю. Вуколов, А.А. Колесников, М.В. Шарыгин // Проблемы энергетики. – 2017. – №11-12. – с. 21-31
6. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Э.А. Киреева, С.А. Цырук. — 3 е изд., стер. — М. :Издательский центр «Академия», 2013 — 288 с.
7. Схемы соединений трансформаторов тока и цепей тока реле токовых защит [электронный ресурс] : файловый архив студентов URL: <https://studfile.net/preview/6757333/> (дата обращения: 27.12.2020)
8. Теория графов. Электронное учебно-методическое пособие / Алексеев В.Е., Захарова Д.В. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012 – 57 с.
9. Трансформаторы. Характерные неисправности трансформаторов и способы их устранения [электронный ресурс] : информационная торговая система URL: http://www.eti.su/articles/visokovoltnaya-tehnika/visokovoltnaya-tehnika_459.html (дата обращения: 27.12.2020)
10. Трансформирование трехфазного тока и схемы соединения обмоток трехфазных трансформаторов [электронный ресурс] : электротехнический интернет-портал URL: https://studopedia.ru/6_124344_transformirovanie-trehfaznogo-toka-i-shemi-soedineniya-obmotok-trehfaznih-transformatorov.html (дата обращения: 27.12.2020)
11. Шестак Р.А., Коробейников Б.А. Способ отстройки от бросков тока намагничивания при включении под напряжение для дифференциальной защиты трансформатора // Патент России № 0002589716, 10.07.2016

References (transliterated)

1. Dvojnaya zapis', ee sushchnost' i znachenie [elektronnyj resurs] : fajlovij arhiv studentov URL: <https://studfile.net/preview/4233240/page:3/> (data obrashcheniya: 27.12.2020)
2. Differencial'naya zashchita elektrooborudovaniya [elektronnyj resurs] : elektrotekhnicheskij internet-portal URL: <https://amperof.ru/elektropribory/osobennosti-differentsialnoj-zashhity-silovogo-oborudovaniya.html> (data obrashcheniya: 27.12.2020)
3. SO 34.35.502-2005. Instrukciya dlya operativnogo personala po obsluzhivaniyu ustrojstv relejnoj zashchity i elektroavtomatiki energeticheskikh sistem. – СPTIiTO ORGRES, 2005
4. Kulikov A.L., Kolesnikov A.A., Vukolov V.Yu., Sharygin M.V. Sposob differencial'noj zashchity uchastka elektricheskoy seti // Patent Rossii № RU 2 648 249 C1, 23.03.2018
5. Kulikov A.L., Vukolov V.Yu., Kolesnikov A.A., Sharygin M.V. Differencial'naya zashchita shin 110-220 kV s primeneniem metoda dvojnogo zapisi / A.L. Kulikov, V.Yu. Vukolov, A.A. Kolesnikov, M.V. Sharygin // Problemy energetiki. – 2017. – №11-12. – s. 21-31
6. Relejnaya zashchita i avtomatika elektroenergeticheskikh sistem : uchebnik dlya stud. uchrezhdenij sred. prof. obrazovaniya / E.A. Kireeva, S.A. Cyruk. — 3 e izd., ster. — M. :Izdatel'skij centr «Akademiya», 2013 — 288 s.
7. Skhemy soedinenij transformatorov toka i cepej toka rele tokovyh zashchit [elektronnyj resurs] : fajlovij arhiv studentov URL: <https://studfile.net/preview/6757333/> (data obrashcheniya: 27.12.2020)
8. Teoriya grafov. Elektronnoe uchebno-metodicheskoe posobie / Alekseev V.E., Zaharova D.V. – Nizhnij Novgorod: Nizhegorodskij gosuniversitet, 2012 – 57 s.
9. Transformatory. Harakternye neispravnosti transformatorov i sposoby ih ustraneniya [elektronnyj resurs] : informacionnaya trgovaya sistema URL: http://www.eti.su/articles/visokovolt'naya-tehnika/visokovolt'naya-tehnika_459.html (data obrashcheniya: 27.12.2020)
10. Transformirovanie trekhfaznogo toka i skhemy soedineniya obmotok trekhfaznyh transformatorov [elektronnyj resurs] : elektrotekhnicheskij internet-portal URL: https://studopedia.ru/6_124344_transformirovanie-trehfaznogo-toka-i-shemi-soedineniya-obmotok-trehfaznih-transformatorov.html (data obrashcheniya: 27.12.2020)
11. Shestak R.A., Korobejnikov B.A. Sposob otstrojki ot broskov toka namagnichivaniya pri vklyuchenii pod napryazhenie dlya differencial'noj zashchity transformatora // Patent Rossii № 0002589716, 10.07.2016

© Д.Е. Сергеев, 2020



Ссылка на статью: Сергеев Д.Е. - Сравнение способов учета неисправностей трансформаторов тока при реализации дифференциальных защит // Вести научных достижений. Естественные и технические науки – 2020. - №3. – С. 129-133 DOI: 10.36616/2687-1335-2020-3-129-133 URL: <https://www.vestind.ru/journals/architecture/releases/2020-2/articles?View&page=25>