

ПРИНЦИП НА ДЕЙСТВИЕ И ПРИЛОЖЕНИЕ НА ТЕРМОЕЛЕКТРИЧЕСКИ ЕНЕРГИЙНИ СИСТЕМИ

проф. д-р инж. Радостин Долчинков, доц. д-р Камен Сейменлийски
докторант инж. Христо Михайлов
Бургаски свободен университет

PRINCIPLE OF ACTION AND APPLICATION OF THERMOELECTRIC ENERGY SYSTEMS

Prof. Dr. Eng. Radostin Dolchinkov, Assoc. Prof. Ph. D. Kamen Seymenliyski
Doctoral student Eng. Hristo Mihailov
Burgas Free University

Abstract: *Thermoelectric systems convert thermal energy into electrical energy using the principle of the Seebeck effect. They are based on the concept of thermoelectric materials that can generate an electric current when there is a temperature gradient across them.*

Keywords: *Engineering energy systems, Design, construction, operation and maintenance, of energy and hydrothermal facilities, Thermoelectric systems.*

Безопасността обхваща както анализ и оценка на рисковете и тяхното въздействие върху експлоатацията на енергийните и хидротехнически съоръжения, така и въвеждане на технически и организационни решения за минимизиране и/или избягването на рисковете с цел подобряване на условията на труд.

Инженеринговите енергийни системи са област от инженерните науки, която се занимава с проектирането, изграждането, експлоатацията и поддръжката на системи и устройства, които генерират, пренасят, разпределят и използват енергия.

Проектирането, изграждането, експлоатацията и поддръжката на системи и устройства за генериране, пренос, разпределение и използване на енергия са сложни процеси, които изискват специализирани знания и умения.

Видове енергийни системи: Енергийните системи може да се квалифицират на възобновяеми енергийни системи, ядрени енергийни системи, термоелектрически системи и др.

Възобновяемите, ядрените и термоелектрическите енергийни системи се различават по начина, по който генерират енергия.

Електрически енергийни системи: Това включва производството на електрическа енергия от различни източници (като възобновяеми и необновяеми), преноса и разпределението на тази енергия до потребителите.

Топлоенергийни системи: Това включва производството и разпределението на топлинна енергия за отопление и охлаждане на сгради и промишлени процеси.

Възобновяеми енергийни системи: Това включва проектирането и изграждането на системи за производство на енергия от възобновяеми източници, като слънчева, вятърна, водна и биомаса. Възобновяемите енергийни системи използват естествено възстановяващи се или практически неизчерпаеми ресурси като слънчевата светлина, вятъра, дъжда, приливите и геотермалната енергия. Те включват малки водноелектрически централи, съвременна биомаса, вятърни електроцентрали, слънчеви и геотермални електроцентрали, биогорива.

Ядрени енергийни системи: Това включва проектирането и изграждането на ядрени реактори за производство на електрическа енергия. Ядрените енергийни системи генерират електрическа и топлинна енергия от ядрени реактори. Ядрената енергетика е клон на енергетиката, обхващащ генерирането на електрическа и топлинна енергия от ядрени реактори. През 2020 г. 19% от електричеството в света е произведено в атомни електроцентрали.

Термоелектрическите системи преобразуват топлинната енергия в електрическа, използвайки принципа на ефекта на Зеебек. Те се основават на понятието за термоелектрически материали, които могат да генерират електрически ток, когато има температурен градиент през тях [1, 2, 3].

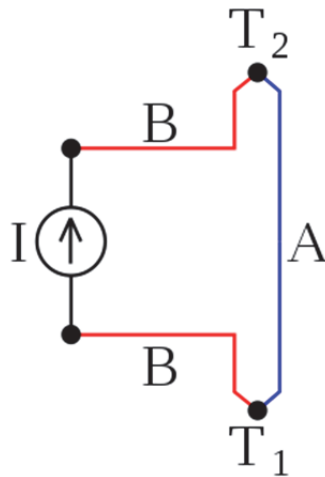
Ефектът на Пелтие – Зеебек, или още **термоелектрически ефект**, е директното преобразуване на температурните разлики в електрическо напрежение и обратно.

Свързаните ефекти са **ефекта на Томсън** и **ефекта на Джаул – Ленц**. Ефектът на Пелтие-Зеебек и ефектът Томсън са обратими (ефектът на Пелтие е обратен на ефекта на Зеебек). Ефектът на Джаул – Ленц (закон на Джаул – Ленц) е необратимо явление според законите на термодинамиката [4, 5, 6, 21].

Ефект на Зеебек се нарича преобразуването на температурните разлики директно в електричество. Този ефект за първи път е открит случайно от германско-естонския физик Томас Йохан Зеебек през 1821, който открил, че между двата края на метална пръчка се появява напрежение, когато в нея съществува температурна разлика ΔT .

Той също така открил, че магнитната стрелка се отклонява, ако се приближи до затворен контур, образуван от различни два метала с температурна разлика между мястото на съединението им и краищата им (мястото на измерване). Причината е, че металите реагират различно на температурните разлики, създадени от този контур, който произвежда магнитно поле [7, 8, 9, 10].

Ефектът е, че при наличието на температурна разлика между два различни метала или полупроводници се създава напрежение или термоелектрична ЕДС. Това предизвиква протичането на постоянен ток в контура. Създаденото напрежение е от порядъка на няколко микроволта за един градус Целзий температурна разлика.



Фиг. 1. Термодвойка

Тази термодвойка измерва разликата в потенциалите, предизвикани от различните проводници. Тя може да бъде използвана за измерване на температурна разлика директно, или да се измерва една абсолютна температура, установявайки единия край в една известна температура. Няколко последователни термодвойки се наричат термоелектричен генератор.

Това също е принципа на работа на термодиодите и термоелектрическите генератори (радиоизотопните термоелектрически генератори), използвани за създаването на електрическа мощност от разликата в температурите [11, 12, 13, 14, 15].

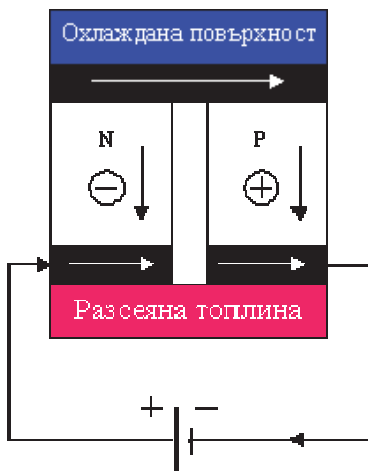
Ефектът на Зеебек се дължи на два ефекта: *charge carrier diffusion* and *phonon drag*.

Приложената температурна разлика предизвиква движение на заредени носители в материала, били те електрони или „дупки“, които преминават от топлия край към студения – процес много наподобява процесите в разширяващ се газ вследствие нагряване. Подвижните заредени носители, преминаващи в студения край остават след себе си противоположно заредени и неподвижни ядра в топлия край, което предизвиква повишаване на термоелектрическото напрежение (термоелектричеството се дължи на създаденото напрежение от температурната разлика). Увеличаването на заредените носители на студения край в един момент престава при някаква максимална стойност, вследствие наличието на еднакво количество на заредени носители движещи се обратно към топлия край т.е. имаме равновесие. Само едно нарастване в температурната разлика може да поднови нарастването на заредени носители към студения край и съответно това води до увеличаване на термоелектрическото напрежение.

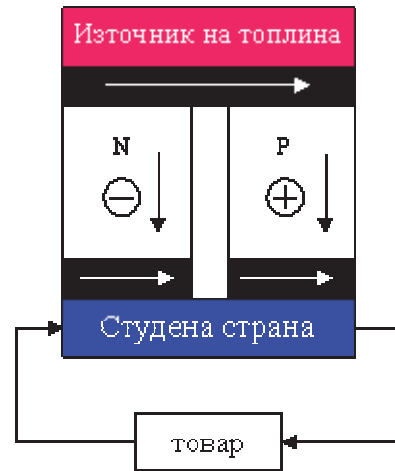
Обикновено металите имат малка термоелектрическа мощност, поради това че в повечето валентната зона и зоната на проводимостта се застъпват. Електроните (отрицателните заряди) и дупките (положителните) заедно участват в индуктираното термоелектрическо напрежение противодействайки си, като по този начин го правят твърде малко. Обратно, при полупроводниците може да има неравновесие на електрони или дупки и по този начин да има големи положителни или отрицателни стойности на термоелектрическа мощност зависеща от заряда на преобладаващите носители. Знака на термоелектрическата мощност определя кои заряди преобладават.

В практиката рядко може да се измери абсолютната термоелектрическа мощност на интересувания ни материал. Това се дължи на факта, че електродите свързани към един волтметър трябва да бъдат свързани в самия материал за да измерят фактическото му термоелектрическо напрежение. Нормално обаче това е невъзможно и към „сметката“ се добавя и термоелектричното напрежение в допълнителните контактни зони. Сбора от двата материала обикновено се нарича термодвойка.

Свързководниците имат термоелектрическа мощност равна на нула. Това позволява директно измерване на абсолютната термоелектрическа мощност на интересувания ни материал, понеже тя е мощността на цялата термодвойка.



Фиг. 2. Термоелектрически охладител



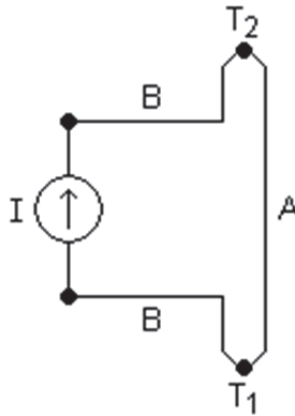
Фиг. 3. Термоелектрически генератор

Зарядите в материалите (електроните в метала, електрони и дупки в полупроводниците, йони в йонизираните проводници) ще се преместят, когато единия край на проводника е с различна температура в сравнение с другия. Горещите заряди се преместват от горещия край към студения, тъй като там има по-ниска плътност на горещи носители. Студените носители преминават от студения към горещия край по същата причина.

Типичните термоелектрически устройства са структурирани като тип P и тип N полупроводникови елементи свързани помежду си с проводник както е показано на картинките по-горе. Токът тече през N елемента, пресича през проводника до P елемента. Ако имаме източник на енергия, термоелектрическото устройство може да работи като охладител. Електроните в N елемента ще се придвижат в противоположна посока на тока и дупките в P елемента ще се придвижат в посока на тока, така че и в двата случая ще се премахне топлината от единия край на устройството. Ако имаме източник на топлина, устройството може да заработи като електрически генератор. Топлинният източник ще задвижи електроните от N елемента към най-студеното място, това ще създаде ток в проводника. Дупките в P елемента ще се задвижат в една посока с тока. Този ток може да се използва за да захрани товар, което ще преобработува топлинната енергия в електрическа.

Ефектът на Пелтие е обратен на ефекта на Зеебек – създаване на температурна разлика от електрическо напрежение.

Ефектът се проявява, когато ток премине през два различни (по състав) метала или полупроводника. Токът задвижва поток от топлина от единия метал към другия: единият се охлажда, а другият се нагрява. Ефектът се използва по-често за охлаждане. Ефектът е бил открит през 1834 г. От Жан Пелтие, 13 години след първоначалното откритие на Зеебек.



Фиг. 4. Термодвойка

При протичане на ток през веригата топлината, излъчена от горното съединение, се поема от долното.

Едно интересно следствие на този ефект е, че посоката на топлинния поток е контролирана от посоката на тока.

Охладител-отоплител на Пелтие или термоелектрическа топлинна помпа е полупроводникова активна топлинна помпа, която пренася топлината от единия край на едно устройство до другия. Охладителят на Пелтие е наричан също и *термоелектрически охладител*.

Ефектът на Томсън, наречен на Уилям Томсън (Лорд Келвин), описва затоплянето или охлаждането на токоносещ проводник в една температурна област.

Всеки такъв проводник, с температурна разлика между две точки, ще поглъща или отдава топлина в зависимост от материала.

В метали като например цинк и мед, които имат един по-топъл край с по-висок потенциал и един по-студен край с по-нисък потенциал, когато тока се движи от по-топлия към по-студения край, той се движи от по-високия към по-ниския потенциал, така че има излъчване на енергия. Това се нарича **положителен ефект на Томсън**.

В метали като кобалт, никел и желязо, които имат по-студен край и по-висок потенциал и по-топъл край при по-нисък потенциал, там има поглъщане на енергия. Това се нарича **отрицателен ефект на Томсън**.

Термоелектрически ефект е явление, което възниква, когато се прилага температурна разлика върху материал, което води до генериране на електрическо напрежение. Този ефект се основава на принципа на преобразуване на топлинната енергия в електрическа. Когато е налице температурен градиент, движението на носители на

заряд в материала създава **напрежение разлика**. Тази **потенциална разлика**, известно като термоелектрическо напрежение или **електродвижеща сила (EMF)**, може да се използва за генериране на електричество.

Термоелектрическият ефект се основава на принципите на термодинамиката и физика на твърдото тяло. То включва взаимодействието между топлина, свойства на материала, и електрически ток. Основният механизъм може да се обясни с помощта на понятието за преобразуване на енергия.

Термоелектричните материали играят решаваща роля за ефективността и работата на термоелектрическите устройства. Изследователите непрекъснато изследват нови материали с подобрени термоелектрични свойства за подобряване на ефективността на термоелектрически системи. Тези материали трябва да има висок коефициент на Seebeck, висока електрическа проводимост и ниска топлопроводимост, за да се увеличи максимално термоелектричното преобразуване.

Термоелектрическият ефект има широк спектър от приложения, включително **производство на термоелектрическа енергия, термоелектрическо охлаждане** и оползотворяване на отпадна топлина.

Термоелектрически модули обикновено се използват в устройства като термоелектрически генератори, които преобразуват топлината в електричество и **термоелектрически охладители**, които осигуряват прецизен контрол на температурата в **електронни устройства**.

Термоелектрическите системи често наемат **множество термоелектрически модули** свързани последователно или паралелно, за да се постигне желаната **температурна разлика** и максимално преобразуване на топлинната енергия в електрическа. Освен това, **избора** на термоелектрически материали с **високи термоелектрични свойства**, като висок коефициент на Seebeck и ниска топлопроводимост, играе решаваща роля за повишаване на ефективността на **термоелектрически ефект**.

Полупроводниците също показват **термоелектрически ефект**, макар и с **някои отличителни характеристики** в сравнение с металите. В полупроводниците, **термоелектрически ефект** основно се управлява от ефекта на Пелтие и ефекта на Seebeck.

Ефектът на Seebeck в полупроводниците е подобен на този в металите, където температурната разлика в материала генерира електрическо напрежение. В полупроводниците обаче коефициентът на Seebeck може да бъде значително по-висок, отколкото в металите, което ги прави привлекателни за **производство на термоелектрическа енергия** приложения. Полупроводници с **оптимизирани термоелектрични свойства** може да преобразуват отпадната топлина в **ползена електрическа енергия**, предлагащ потенциал за събиране на енергия и **подобряване на ефективността в различни системи**.

Интеграцията на наноматериали в термоелектрически устройства и системи притежава **голям потенциал** за различни приложения, включително възстановяване на отпадна топлина, **преносимо генериране на енергия**, и **енергийно ефективно охлаждане**.

Използване на термоелектрически генератори

Термоелектрически генератори (ТЕГ) са устройства, които използват **термоелектрически ефект** за преобразуване на топлинната енергия в електрическа. Те намират **различни практически приложения** в ситуации, когато има температурна

разлика между две точки. ТЕГ обикновено се използват в отдалечени местоположения или в ситуации, в които традиционни източници на енергия не са лесно достъпни. Те могат да бъдат свикнали сензори за мощност, устройства за наблюдение, и дори малки електронни устройства [16,17,18].

Един от най-известните приложения на термоелектрическите генератори е в изследване на космоса. Космически сонди и сателитите често разчитат на ТЕГ за генериране на енергия жегата произведени от радиоактивен разпад. Космическият кораб „Вояджър“, например, използва ТЕГ за генериране на електричество над четири десетилетия, което му позволява да продължи да изпраща ценни данни обратно на Земята.

Още едно практично приложение на ТЕГ е в оползотворяване на отпадна топлина. Много индустриални процеси генерират значителна сума отпадна топлина, която често се губи. Чрез използване на ТЕГ, тази отпадна топлина може да се преобразува в полезна електрическа енергия, подобрявайки се като цяло енергийната ефективност. Тази технология има потенциала да бъде внедрена в различни индустрии, като автомобилостроене, производство и производство на електроенергия.

Термоелектричен ефект в ежедневните устройства

Термоелектрически ефект не се ограничава до специализирани приложения; може да се намери и в ежедневни устройства. Един често срещан пример е термоелектрическият охладител, често използван в преносими хладилници с цел охладители за напитки. Тези охладители използват ефекта на Пелтие, специфичен тип на термоелектрически ефект, за създаване на температурна разлика между две страни на уред. Чрез прилагане на електрически ток, топлината се абсорбира от едната страна и се отделя от другата, което води до охлаждане.

Термоелектрически модули се използват и в седалки с контролирана температура в автомобили. Чрез използване на термоелектрически ефект, тези седалки може да охладят или загряват повърхността, осигуряващ комфорт на пътниците. Тази технология става все по-популярна в автомобилната индустрия, тъй като позволява персонализиран контрол на климата в превозното средство [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21].

Бъдещи приложения и изследвания

Интерес в друга област представлява развитието на термоелектрически системи за оползотворяване на отпадната топлина в електроцентрали. Чрез заснемане и конвертиране на отпадната топлина генерирана по време на производството на електроенергия, тези системи имат потенциал за значително подобряване като цяло на енергийната ефективност.

Термоелектрически генератори (ТЕГ) са устройства, които преобразуват топлинната енергия директно в електрическа с помощта на термоелектрически ефект. Тези генератори могат да се използват за събиране на отпадъчна топлина от промишлени процеси или дори от човешкото тяло за генериране на електричество. ТЕГ имат потенциала да предоставят устойчива мощност в отдалечени местоположения или в ситуации, в които традиционни източници на енергия не са налични.

Всички тези ефекти могат да намерят широко приложение при изграждане на системи и устройства за мониторинг на енергийни съоръжения, с цел осигуряване на безопасното им функциониране. Регистрирането на отклонения извън номиналните параметри на измервани електрически и топлинни величини може да служи за ранно

предупреждаване при настъпване на авария в реално време и да даде възможност на автоматична система или дежурен оператор да предприеме съответни действия и да предпази, както съоръженията така и обслужващия ги персонал. Прилагането на такива технологии може да намали риска от злополуки и да минимизира загуби от повреда на енергийни съоръжения [22, 23, 24, 25, 26, 27].

Литература:

1. Clarence W. Hansell – Щатски патент 2 510 397_–Thermal electric alternator
2. G. N. Natsopoulos – Щатски патент 2 915 652_– Conversion of thermal energy into electrical energy
3. John E. Creedon – Щатски патент 3 175 105_– Conversion of heat to electricity
4. Иванова, Г. Оценка и управление на риска в промишлени предприятия при защита на населението и околната среда. Монография. Издателство „Фабер“, В. Търново, 2020. ISBN 978-619-00-1172-9
5. Балева, Д. Ресурсно осигуряване на защитата при бедствия. Учебник издател Военна академия „Георги Стойков Раковски“, София, 2017
6. Пенева, П. Технологична сигурност при критични ситуации. Издателски комплекс при НБУ „В. Левски“, В. Търново. 2014, ISBN 978-954-753-195-6
7. Томов, В. и др. Аварийно-спасителни технологии, Русенски университет „А. Кънчев“ 2005. ISBN 954-712-275-4
8. Томов, В. Индуриална и екологична сигурност, Изд. ВСУ „Черноризец Храбър“, 2002, ISBN 954-715-147-9.
9. Владимирова, Л. Оценка на риска за възникване на критични аварийни ситуации. Монография. Русе, Медиатех, 2011.190 с. ISBN 978-954-8467-27-8.
10. Владимирова, Л., К. Христова. Оценка на риска за околната среда при технологични опасности. Студия. Плевен, Медиатех, 2014. 65 с. ISBN 978-619-7071-47-4.
11. Камен Сейменлийски, ДИГИТАЛНИ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕХНИЧЕСКАТА БЕЗОПАСНОСТ, Годишник БСУ, 2021, том XLIV, стр. 215 - 222, ISSN: 1311-221X
12. Радостин Долчинков, Камен Сейменлийски, Иван Попов, БЕЗОПАСНОСТ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ АВТОМОБИЛ, Сборник с доклади от Международна научна конференция „ЧЕРНО МОРЕ – ВРАТА И МНОГО МОСТОВЕ“, 2022, Бургас, изд. БСУ, ISBN: 978-619-253-017-4, с. 533 – 540
13. Радостин Долчинков, Камен Сейменлийски, Иван Попов, ИНЦИДЕНТИ СЪС ЗАПАЛВАЩИ СЕ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ АВТОМОБИЛИ ПРИ ПЪТНО-ТРАНСПОРТНО ПРОИЗШЕСТВИЕ, Сборник с доклади от Международна научна конференция „ЧЕРНО МОРЕ – ВРАТА И МНОГО МОСТОВЕ“, 2022, Бургас, изд. БСУ, ISBN: 978-619-253-017-4, с. 541 – 548
14. Радостин Долчинков, Камен Сейменлийски, Иван Попов, МЕТОДИКА ЗА ДЕЙСТВИЯ НА ПРОТИВОПОЖАРНАТА СЛУЖБА ПРИ ИНЦИДЕНТ С ЕЛЕКТРИЧЕСКИ АВТОМОБИЛ, Сборник с доклади от Международна научна конференция „ЧЕРНО МОРЕ – ВРАТА И МНОГО МОСТОВЕ“, 2022, Бургас, изд. БСУ, ISBN: 978-619-253-017-4, с. 604 – 610
15. Kolyo Oreshkov, Kamen Seymenliyski, Radostin Dolchinkov, Safety in High-Voltage Marine Systems: Challenges, Solutions and Modernisation, 6th International Conference on Governance and Strategic Management (ICGSM) „ESG Standards and Securing Strategic Industries” CONFERENCE PROCEEDINGS BOOK BFU Burgas, 2023 ISBN 978-619-253-024-2, p. 330-337

16. Kamen Seymenliyski, Radostin Dolchinkov, Silvia Letskovska, Kolyo Oreshkov, Radoslav Simionov Eldar Zaerov, VIBRATIONS IN SHIPS AND CREW HEALTH, 12th International Conference, ICTRS 2023, Rhodes, Greece, September 18-19, 2023, Proceedings, Softcover ISBN 978-3-031-49262-4, eBook ISBN 978-3-031-49263-1, SCOPUS 2023
17. Радостин Долчинков, Камен Сейменлийски, СЪВРЕМЕННИ СИСТЕМИ ЗА БЕЗОПАСНОСТ НА КРИТИЧНА ПЪТНА ИНФРАСТРУКТУРА, (научна студия), Годишник БСУ, 2021, том XLVI, стр. 144 - 188, ISSN: 1311-221X
18. Камен Сейменлийски, Силвия Лецковска, ИНТЕЛИГЕНТНИ РЕШЕНИЯ В ЕНЕРГИЙНИТЕ И РЕСУРСНИ МРЕЖИ, БУРГАСКИ СВОБОДЕН УНИВЕРСИТЕТ, 2021, ISBN 978-619-253-011-2, 242
19. Камен Сейменлийски, СЪДЕБНИТЕ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИ ЕКСПЕРТИЗИ – НАСТОЯЩИ И БЪДЕЩИ ПРОБЛЕМИ, Юридически сборник, БСУ, 2021, том XXVIII, стр. 181 – 188, ISSN: 1311-3771
20. Р.Симионов, З.Караджов – Изследване на ефективността на елемент на пелтие при различни режими на работа, Годишник ТОМ XXXV – конференция за студентско научно творчество, 2017 г., ISSN: 1311-221-X
21. Радослав Симионов – Съвременни методи за инженерингови решения в сградни енергийни системи, Годишник БСУ 2018, том XXXVIII, ISSN: 1311-221X
22. Камен Сейменлийски, Силвия Лецковска, Радослав Симионов, Актуални аспекти на влиянието на електротехнически съоръжения върху околната среда, МНК Синя икономика, БСУ 2018, с. 257-262, Сборник доклади, ISBN 978-619-7126-57-0, Печатница „ЕКС-ПРЕС“ ООД – Габрово
23. Eldar Zaerov, Silvija Letskovska – ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY POWER PLANTS BASED ON THE POTENTIAL OF THE ENERGY FROM THE SEA WAVES, Yearbook BFU 2020, ISSN: 1311-221X, pp.333-358
24. Radoslav Simionov – INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF TECHNICAL FACTORS ON THE PROCESSES OF INTEGRATION OF ENERGY SECTOR SYSTEM IN BALKAN REGION, Списание „Компютърни науки и комуникации”, Том 8, No1 (2019), БСУ, Бургас, с. 48-53
25. Долчинков Р., М. Бангев, ПРЕДОТВРАТЯВАНЕ НА ПОЖАРИ ПРИЧИНЕНИ ОТ ЕЛЕКТРИЧЕСКА ДЪГА, Международна научна конференция СИНЯ ИКОНОМИКА И СИНЬО РАЗВИТИЕ, ISBN: 978-619-7126-57-0, стр.441-451, 2018.
26. Долчинков Р., Управление на риска при опасно събитие, Годишник на БСУ, ISSN: 1311-221-X, том XXXVIII, стр.36-41, 2018.