**Р Е Ц Е Н З И Я**

върху дисертационен трудза придобиване на образователна и научна степен „доктор“, в област на висше образование 5. Технически науки, професионално направление 5.2. Електротехника, електроника и автоматика, научна специалност Електроснабдяване и електрообзавеждане (по отрасли).

**Автор на дисертационния труд:** маг. инж. Антон Йорданов Адамов

**Тема на дисертационния труд:** Изследване възможностите за рационализиране и оптимизиране на методите за проектиране, изграждане и експлоатация на фотоволтаични системи

**Рецензент:** проф. д-р инж. Ивайло Стефанов Стоянов

1. **Тема и актуалност на дисертационния труд**

Известно е, че въпросите, свързани с методите, подходите и технологиите за подобряване на енергийната ефективност са особено актуални и съответстват на целите на ЕС за енергийната ефективност, енергията от възобновяеми източници, данъчното облагане на енергията, търговията с емисии и т.н. Дисертационният труд е посветен на решаването на задачата за оптимизиране на процесите при проектиране, изграждане и експлоатация на фотоволтаични електроцентрали с голяма мощност. Известно е, че срокът на ефективността на фотоволтаичните системи зависи от редица фактори като вида на фотоволтаичните модули, температурата на околната среда, температурата на модулите, влажността, частичното засенчване, мощността, напрежението, използваните материали, слънчевата радиация, и др. Всички те оказват влияние върху ефективността на преобразуване на слънчевата енергия в електрическа. Това е причината редица изследователи да търсят решения за периодичен контрол на параметрите на всички елементи на фотоволтаичните системи и подобряване на тяхната ефективност и увеличаване срока на експлоатация. Правилното проектиране на фотоволтаични електроцентрали предполага оптимално използване както на наличните природни ресурси, така и разполагането на отделните елементи на достатъчно малка площ. Затова при съвременното инвестиционно проектиране на фотоволтаични електроцентрали се разработва стратегия за управление на генерираната електрическа енергия с помощта на специализирано електрическо обзавеждане като централен контролер, локални контролери, възможности за съхранение на електрическата енергия и др. Освен това при изграждане на жилищни комплекси с покривни фотоволтаични системи, възникват проблеми, свързани с обслужването и експлоатацията на тези системи. Съвременните тенденции при проектирането показват, че при всички случаи се отчита мястото на инсталиране, използваната технология, процесите, свързани с експлоатация и др. По този начин се създават предпоставки за създаване и развитие на малки енергийни общности чрез присъединяване на нови енергийни източници и съвместната им работа и управление за задоволяване на енергийните потребности на дадена група потребители. На базата на задълбочен анализ са формулирани препоръки за рационализиране и оптимизиране на режимните параметри с помощта на модифицирана методика, отчитащата показателите на качеството на електрическата енергия, произведена от фотоволтаичните централи. На тази база се анализира влиянието на всяка една от мощностите съставящи и тяхното влияние върху редица енергетични показатели и характеристики. Дисертационният труд е посветен на решаването на задачата за анализ на възможностите за рационализиране и оптимизиране на методите за проектиране, изграждане и експлоатация на фотоволтаични системи. Всичко това определя актуалността на дисертационния труд както в научно, така и в научноприложно отношение.

1. **Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал**

В дисертационния труд се изследват възможностите за рационализиране и оптимизиране на методите за проектиране, изграждане и експлоатация на фотоволтаични системи.

Методите, използвани за решаване на поставените в дисертационния труд задачи, са: теоретичен проучване и анализ, математическо моделиране, експериментални изследвания и статистическа обработка на получените резултати. За управление на процесите при проектиране на фотоволтаични системи се използва програмния продукт DSS (Decision Support System). С помощта на този продукт се отчитат и оценяват редица фактори (технически, икономически, социални и екологични), имащи съществена роля за оптималното проектиране на PV системи. Тази компютърно-интерактивна система, предоставя пълна информация от база данни за всички влияещи фактори, необходими за проектиране, изграждане и експлоатация на ФВС и осигуряване необходимите технологични инструменти за моделиране, симулиране, оптимизация и анализ на процесите. Целевата функция на този изследователски процес е вземане на оптимално решение, възможностите за информираност, прилагането на аналитични и оптимизационни подходи, вземане на стратегически управленчески решения с отчитане на рисковете, устойчивостта, сигурността и технико-икономическата оценка на фотоволтаичната система. Стимулационните изследвания на влиянието на слънчевата радиация, температурата и засенчването върху електрическите характеристики и ефективността на фотоволтаични клетки е извършено с помощта на Mathcad, фотоволтаичната система в среда на Simulink, а акумулаторните батерии с LabView. При статистическата и графична обработка е използвана програмата EXCEL.

Научната новост на изследването е обосноваването на вероятностно-статистически подход, даващ възможност за определяне на оптимални нива на изменение на съществените фактори и изходните параметри с висока степен на адекватност, достоверност, значимост и тъждественост, приложима за оптимизиране на процесите при проектиране, изграждане и експлоатация на фотоволтаични системи. На тази база е направен научно-обоснован анализ с практическа насоченост за експлоатационните характеристики на фотоволтаични централи. Посочени са възможните експлоатационни и аварийни състояния на отделните елементи и са установени факторите, оказващи влияние върху влошаването на експлоатационните показатели.

Записката е в общ обем от 152 страници, които включват увод, списък на използваните съкращения, четири глави, приноси, списък на публикациите по дисертацията, публикации на автора във връзка с дисертационната работа и използвана литература от 193 източници, като 49 са на кирилица, 72 - на латиница и 72 – от Интернет.

Дисертационният труд на маг. инж. Антон Йорданов Адамов е в област, изискваща компетентност и притежаването на специфични познания в областта на електротехниката, електрическите мрежи, възобновяемите енергийни източници, управление на електроенергийни системи, електрическите измервания, електроенергетиката, електроснабдяването, математическото моделиране и др. Те са приложени при организирането, провеждането и анализа на проведените изследвания. По този начин той е повишил своята квалификация и се е изградил като научен работник, който демонстрира оригинално мислене и критическо осмисляне на научни и научноприложни въпроси.

1. **Съответствие на избраната методика на изследване и поставената цел и задачи на дисертационния труд с постигнатите приноси**

В дисертацията са изследвани физическите явления при фотоволтаичното преобразуване и тенденциите при тяхното проектиране и експлоатация. Разработена е математическа постановка, представляваща комплексен многофакторен подход във вероятностно-статистическа среда с помощта на теорията на планиране на експеримента. Предложен е план B4 като е разработена методология за неговото приложение, като са определение всички необходими оценки на проверки за значимост и адекватност на параметрите на математическия модел. Този подход е иновативен при експлоатацията на PV системи и осигурява оптимални условя на работа с високи електроефективни показатели. Направена е категоризация на инверторите, а батериите, като основно средство за съхранение на ЕЕ, са анализирани в процеса на тяхното развитие и усъвършенстване. Внедряването на системи за измерване, наблюдение, мониторинг и управление на ФВС е важна задача за диагностиката на тези съоръжения. Направен е анализ на архитектурата и структурата на използваните системи за комуникация и тяхната категоризация. Установени са аварийни ситуации и дефекти и възможностите за тяхното отстраняване, регистрирани на трето ниво на тези системи, с което практически се предотвратяват сериозни аномалии при експлоатацията на фотоволтаични системи.

Обоснована е възможността и целесъобразността от използването на MatLab/Simulink при моделиране и симулиране на процесите при PV системите. Представена е теоретична постановка за анализ на електрическите характеристики на PV модул. Синтезирани са математически модели на фотоволтаични клетки в общ вид при стандартни условия на изпитване, а също и при изменение на слънчевата радиация, засенчването и динамиката на температурния режим. Моделирането дава възможност за определяне на основните електрически параметри и характеристики на PV модулите - волтамперните и мощностни характеристики, представени в графичен и аналитичен вид, адаптирани за използване в среда MathCAD.

Синтезирана е PV система, свързана към мрежата, в среда на Simulink. В архитектурата на соларната система са включени пасивни филтри за компенсация на хармониците на тока и напрежението. Стимулационните доказват приложените подходи за намаляване на хармоничните съставящи и деформацията на във формата на напрежението. Приложен е квазистатичен SOC модел с използване на множество емпирични методи, оценяващ степента на заряд на акумулаторни батерии. Проведено е моделиране на тока и напрежението на заряд и разряд, както и на капацитета на батерията в среда LabVIEW.

Извършено е експериментално изследване на свързани към мрежата ФВС. Синтезирана е методика за измерване и анализ на показателите за качество на електрическата енергия. Въз основа на дефиниране на допълнителни субстанции на мощността (пулсираща, скрита и деформационна мощности), се извършва по-пълно и адекватно формулиране на редица енергетични показатели и характеристики. Проведено е изследване във фотоволтаични централи с голяма мощност и са оценени енергетични и експлоатационни показатели.

Предложени са мерки за рационализиране и оптимизиране на режимите на работа на PV системите. Анализирани са технически дефекти и повреди, маркирани са експлоатационните фактори, предизвикващи аномалии и влошаване на PV съоръженията, а също така е определено влиянието на влошените електроенергийни показатели върху мощността и добива на ФЕЦ. Установено е, че при понижено натоварване (ниска генерация на ЕЕ), ФЕЦ работят с влошени характеристики - повишени стойности на показателите δU, εU, αU, εI, αI,THDU, THDI, ΔPQ, ΔPN, ΔPSo, ΔPD. Това води до ниски стойности на фактора на мощността PF, който за настоящото изследване на представителна извадка от PV инсталации има средна стойност в границата PF = (0,87÷0,88). Констатирано е също така, че за голяма част от изследваните системи, реактивната съставяща на мощността има капацитивен характер и са предложени мерки за нейното минимизиране.

Всичко това е позволило на докторанта да постигне целта и изпълни задачите на високо научно ниво.

Не са представените служебни бележки за внедряване на резултатите в практиката и учебния процес потвърждават значимостта на разработката за науката и практиката.

Налице е съответствие на избраната методика на изследване с поставената цел на дисертационния труд.

1. **Основни приноси на дисертационния труд**

Приемам заявените от докторанта научно-приложни и приложни приноси. Те отразяват основните резултати от научните изследвания в дисертацията.

*Научно-приложни приноси:*

* Разработена е математическа постановка във вероятностно-статистическа среда в многофакторно пространство. Математическият модел дава възможност за определяне на оптимални нива на изменение на съществените фактори и изходните параметри. Осъществена е апробация на теоретичния подход, като е съставена целева функция за ИП “икономическа ефективност” и четири съществени фактори. Дефинирания метод има универсално приложение и се утвърждава като изследователска технология с висока степен на адекватност, достоверност, значимост и тъждественост, приложима за оптимизиране на процесите при PV инсталации.
* Синтезирана е научно-обоснована методика въз основа на известни теоретични подходи, която дава възможност за дефиниране на допълнителни субстанции на мощността (пулсираща, скрита и деформационна). По този начин се извършва по-пълно и адекватно формулиране на редица енергетични показатели и характеристики. Извършено е апробиране на методиката в изследователския процес на множество PV централи, за които са определени допълнителни парциални активни загуби на мощност. Резултатите от изследването утвърждават предложената постановка като иновативна, ефективна и прогресивна методология, успешно приложима за подобряване режимите на работа на различни PV системи.

*Приложни приноси:*

* В процеса на проектиране, а също и при действащи ФВС е допустимо и целесъобразно съоръжения, параметрите и характеристиките им да се моделите и симулират с цел облекчаване или отказ от изследване в реални условия. В тази връзка е синтезирана нестандартна постановка за симулация работата на свързана към мрежата виртуална PV система в среда MatLab-Simulink. В архитектурата на системата са включени пасивни филтри за минимизиране нивото на в.х., като е доказано че този ефект е по-голям при по-ниски натоварвания. Резултатите от изследването потвърждават, че на база на създаденото моделиране, може да се разработи реална ФВС с добри показатели и характеристики.
* Проведено е практическо изследване в действащи ФВС, като измерването на електрическите показатели се извършва с прецизни мрежови анализатори. С помощта на допълнително разработен софтуер се определят редица енергетични и ПКЕЕ при различни режими на работа на ФЕЦ. Установено е, че при ниско натоварване, т.е. при понижена генерация всички изследвани показатели се влошават. Фактора на мощността, като глобален критерий за енергетичното състояние на PV системите, е прецизно определен с помощта на иновативна методика и има средна стойност за изследваната извадка от обекти в границите PF = 0,87÷0,88. Това е сравнително ниска стойност и показва незадоволително експлоатационно състояние и недостатъчно висока ефективност на PV съоръженията.
* Направен е обобщен научно-обоснован анализ с практическа насоченост за експлоатационните характеристики на изследваните централи. Посочени са възможните дефекти и аварийни състояния на всички компоненти на ФВС. За PV модулите са установени негативни фактори като замърсяване, засенчване, температурни аномалии, разламиниране (загуба на адхезия), разслояване, обезцветяванем, охлювния фигури, корозия, PID, LID, повреди на блокинг и байпас диоди и др., а за инверторите са констатирани повреди в електронните и микропроцесорни компоненти от пренапрежения, в.х., мълнии и др. Влошени експлоатационни показатели. Представеното систематично експертно разглеждане може да послужи като методическо ръководство на проектанти и експлоататори за цялостна диагностика на PV съоръжения и да се използва за анализ на риска, надеждността и сигурността при проектиране, изграждане и експлоатация на ФВС.

1. **Преценка на публикациите по дисертационния труд**

Резултатите от дисертацията са публикувани в 9 публикации. Три от публикациите са представени на Енергийния форум, 1 – в Научно-техническа конференция, 3 – в 2023 15th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), 1 в International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA) и една в научно списание “Механика, транспорт, комуникации”.Три от трудовете са индексирани в SCOPUS.

Това ми дава основание да приема, че резултатите от работата по дисертацията са станали достояние на научната общност у нас и в чужбина.

1. **Изпълнение на основните критерии и изисквания за ОНС „доктор“**

Публикационната дейност на МАГ. ИНЖ. Антон Йорданов Адамов покрива минималните изисквания към кандидатите за ОНС „доктор“. Той декларира **96,7** точки по показател Г7. Всички материали, подготвени за рецензиране имат връзка с научноизследователската и приложна дейност на кандидата.

1. **Мнения, препоръки и бележки**

Към така представената дисертация имам следните забележки и препоръки:

1. Срещат се неточности във форматирането на записката (стр. 2, 116).
2. На редица места в текста са допуснати граматични и правописни грешки (стр.9, 10, 32 и др.).
3. Показната фигура 1.1 е таблица, а не фигура.
4. Изброените закони, наредби и стандарти е подходящо да бъдат описани в използваната литература или изброени в приложения.
5. Липсва номерация на някои математически изрази (стр. 43, 47, 97, 101).
6. Някои фигури са с ниско качество (фиг. 2.4, 2.5, 4.5).

Посочените забележки не омаловажават извършената работа от маг. инж. Антон Йорданов Адамов и дисертационният труд има завършен характер.

1. **Заключение**

Дисертационният труд на маг. инж. Антон Йорданов Адамов отговаря на изискванията на ЗРАС в Република България и Правила и процедури за приемане и обучение на докторанти и придобиване на образователната и научна степен „доктор” и научната степен „доктор на науките” в Минно-геоложкия университет “Св. Иван Рилски” – София. Дисертацията съдържа обосновани и целенасочени научни изследвания, и разработки за постигане на заявената цел и формулираните задачи, както и оригинални научно-приложни и приложни приноси.

Считам, че поставената цел е постигната и давам положителна оценка на дисертационния труд.

Предлагам на Научното жури да **присъди** образователната и научна степен „**доктор“** на маг. инж. Антон Йорданов Адамов, в Област на висше образование: 5. Технически науки, Професионално направление: 5.2. Електротехника, електроника и автоматика, Научна специалност: Електроснабдяване и електрообзавеждане (по отрасли).

01.07.2025 г.

Изготвил,

**ПРОФ. Д-Р ИНЖ. ИВАЙЛО СТЕФАНОВ СТОЯНОВ**