УНИВЕРСИТЕТ
ПО АРХИТЕКТУРА
СТРОИТЕЛСТВО
И ГЕОДЕЗИЯ

бул. „Хр. Смирненски“ № 1, София 1046, Р България
тел.: (02) 865 68 63; +359 886 60 24 55
e-mail: aceadm@uacg.bg; https://uacg.bg

УНИВЕРСИТЕТ по Архитектура, Строителство и Геодезия
1046 София, бул. "Хр. Смирненски" №1
Регистрационен индекс и дата
258/08.04.2026

РЕЦЕНЗИЯ

от

проф. д-р инж. Чавдар Колев

на дисертацията **„Оценка на издръжливост на стоманени елементи при нискоциклична умора“**

за получаване на образователната и научна степен „доктор” в област на висшето образование 5.„Технически науки“, Професионално направление 5.7„Архитектура, строителство и геодезия“, научна специалност: 02.15.04 „Строителни конструкции“

от

маг. инж. Николай Арнаудов

За изготвянето на рецензията ми бе предоставен един екземпляр от дисертацията на хартиен и електронен носител, подписани от докторанта. Научен ръководител на докторанта е доц. д-р инж. Цветан Георгиев. Докторантът маг. инж. Николай Арнаудов е преминал успешно през цикъла на своята докторантура, покрил е необходимия докторантски минимум от изпити и сега се явява на публичната защита пред Научното жули, назначено от Ректора на УАСГ - София, съгл. Правилника и Закона за развитие на академичния състав в Република България.

I. БИОГРАФИЧНИ ДАННИ ЗА ДОКТОРАНТА

Инж. Николай Арнаудов е родена на 1995г в гр. София. Завършва Софийската математическа гимназия през 2014г., а през 2019г. се дипломира в УАСГ като строителен инженер със специалност „Строителство на сгради и съоръжения“. През 2020г. е приет за докторант към катедра „Метални, дървени и пластмасови конструкции“ към УАСГ. Работи като проектант в „Де Студио“ ООД. Има ППП от КИИП. Владее и ползва английски, немски и руски език. Участвал е с доклади в няколко международни научни конференции и семинари. Получил е две отличия с награди от НТССБ – през 2019г. за най-добър дипломен проект и през 2021г за най-добър докторантски доклад на Първата младежка международна конференция във Варна. Има три публикации.

II. ПРЕГЛЕД НА ДИСЕРТАЦИЯТА

II.1. Тема на дисертацията и актуалност на темата

Темата на дисертацията е в области от Стоманените конструкции, Сеизмичната механика и Динамиката на конструкциите. Разглежда се една от формите на разрушение на стоманените конструкции, подложени на земетръс. Ако от гледна точка на конструкциите проблемът с умората на материала, подложен на дълготрайни хармонични трептения, изглежда добре познат, то умората от краткотрайни силни

динамични въздействия, каквито са земетресенията, е все още недостатъчно позната. Точно поради това темата на дисертацията е актуална и важна, както за науката, така и за обществото заради нуждата от нейното широко приложно приложение.

II.2.Съдържание на дисертацията

Основният текст на дисертацията е върху193 стр. с шрифт Times New Roman, размер 12 и интервал между редовете 1,15.

Дисертацията има четири глави, запис на приносите, списък с публикациите на докторанта и библиографската му справка.

В текста са вмъкнати общо 163 фигури (графики и фотографии), 23 таблици с данни от изследванията и 76 математически израза. За всички тях има коректни заглавия, номерация и всичките са позовани в основния текст.

III. АНАЛИЗ НА ГЛАВА I: ВЪВЕДЕНИЕ

Първата глава е върху 27 стр., съдържа 28 фигури и 29 математически израза. Главата се подразделя на шест логически последователни части и завършва със заключение. Първо е представен произходът на проблема чрез кратък исторически преглед на щетите от разрушени стоманени конструкции в резултат на земетресения и първоначалните проведени изследвания в областта на големите пластичните деформации, причинени от малък брой товарни цикли. Тук Авторът е предложил свое определение за Естремно-нискоциклечна умора (ЕНЦУ), чието изследване се превръща в една от целите на дисертацията.

На второ място са разгледани факторите за умората на стоманата и е разяснена същността на това явление. Разграничени са двата типа умора – високо- и ниско-циклична. Разгледано е на микроскопско ниво влиянието на напреженията върху механизма на умората, респ. дислокациите в кристалната решетка на стоманата. Класическите познания за концентрация на напреженията около отвори и ръбове също е накратко прегледана. Влиянието на производствените условия е изтъкнато като предпоставка за развитие на умората, дребнозърнестата стомана е по-издръжлива от едрозърнестата. Температурното влияние е анализирано накратко, както чрез крехкостта при ниска температура, така и на високата температура при заваряване.

На трето място Авторът разглежда видовете умора и в работната характеристика на стоманата той посочва крайния стадий на пластична деформация, непосредствено преди разрушение като мястото на ЕНЦУ. Посочено е, че Законът на Palmgren-Miner засега най-добре илюстрира разглеждания проблем, но той има съществен недостатък, защото не отчита на натоварването. Това води до съществени неточности.

На четвърто място Авторът преглежда познанията за поведението на стоманата при големи нива на пластични деформации под действие на монотонни товари. Този аспект се приема като отправна точка към навлизане към по-сложния проблем с натоварването от динамическия спектър от честоти. Няколко аналитични и един прилаган и у нас емпиричен метод са показани и критично обяснени.

На пето място Авторът преминава от статични към екстремни нива на деформации под циклични товари. Разглеждат се последователно моделите на изотропното и кинематичното уякчаване, както и комбинацията от тях.

Накрая е разгледан подробно механизмът за зараждане и разпространение на пукнатините в стоманените елементи. Представен е на микроскопско ниво цикълът на уголемяване на дефекта в стоманата при нарастване на напреженията и достигането до разрушение.

В заключението на Първата глава е аргументирана целта за изследване на ЕНЦУ. С оглед на изложеното в тази глава записаната цел и аргументите за нея са точни и убедителни.

IV. АНАЛИЗ НА ГЛАВА II: ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

Главата съдържа 34 стр. с 36 фигури и 25 математически израза. Тук в три подточки е направен преглед, съответно за механизма на повредата, аналитичните модели за издръжливост и за експерименталните изследвания по въпроса. Критично е прегледан българският и световен опит в тази област. Личи, че Авторът високо цени и се стреми да надгради постигнатото в експерименталните лабораторни изследвания на българските учени *Райчева, Георгиев* и *Ганчев*, както и теоретичните основи, върху които са стъпили те. Добро впечатление оставя интересът на Автора към мащабните Европейски изследвания за ставата тип INERD и връзката FUSEIS PIN LINK, чийто резултати се отнасят пряко към предмета на дисертацията.

В края на обзора са формулирани 4 цели и 5 задачи на дисертацията, които да бъдат изпълнени по-нататък. Те са формулирани ясно, точно и са логически последователни.

V. АНАЛИЗ НА ГЛАВА III: ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ

Това е най-обширната глава в дисертацията. Тя съдържа 92 стр. с 66 фигури, 11 таблици и 8 математически израза. Съдържанието е много точно подразделено и логически последователно в седем подточки.

Целите и задачите на експеримента са аргументирани с проученото в литературния обзор и включва изпитването на 20 образеца, разделени в три серии. Образците са натоварени на огъване с една или две сили. Поддържан е подходящ диапазон на пластичните деформации от 10% до 20%. Записани са 8 обекта на изследване.

Описана е експерименталната постановка с подход за контрол на преместването. Текстът е достатъчно подробен и надлежно илюстриран със снимки и схеми.

Експерименталните стоманени образци са също подробно описани и показани на снимки.

Специално изпитване е проведено, за се установи действителната работна характеристика на стоманата, от която са серийните опитни образци. Тестът е със стоманени епруветки. Установена е действителната работна диаграма и е съпоставена с теоретически начертаната. Установено е, че графиката по уравнението на Hollomon е във висока степен близка до опитно установената. Една от епруветките се е оказала дефектна и затова нейните резултати са били игнорирани. По-нататък сериите от експерименти са продължили със съблюдаване на действително установената работна диаграма на стоманата.

Преди съставянето на протокола за динамичното натоварване са направени два типа изчисления – аналитични и по Метода на крайните елементи (МКЕ) за изчисление на напреженията и големите пластични деформации в сериите огънати проби с една и две сили. Съпоставката показва, че и по двата метода има разминаване на резултатите в крайните зони на ЕНЦУ, но при аналитичните методи те са по-големи.

Протоколът за натоварване е чрез цикличен квази-статичен тест с продължителност от 3 до 10 min. Всички експерименти завършват с разрушението на образеца.

Трите серии експерименти са описани подробно един по един и резултатите са представени в графики. Началното и крайното положение и състояние на пробите са показани на снимки. Термокамера е заснела покачването на температурата в образците от 22° до 85° през първите 5 до 10 цикъла.

Намирам проведените експерименти като много подходящи, систематично обосновани, добре организирани и пълни с полезна изследователска информация по темата на дисертацията.

Главните изводи от изследването се заключават в четири точки: (1). Плътните квадратни сечения добре понасят циклично натоварване; (2). Пукнатините се зараждат в контакта на елемента с опорните болтове, но когато има заваръчен шев – в корена на шева; (3). Прилагането на силата в две точки, вместо в една удължава живота на елемента; (4). Наличието на шев рязко намалява броя на циклите до разрушение. В края на главата Авторът е записал 5 идеи за продължаване на изследванията.

Преглеждайки резултатите от опитите, се убедих, че изводите са уместни и точно подкрепени.

VI. АНАЛИЗ НА ГЛАВА IV: АНАЛИЗ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ РЕЗУЛТАТИ. ОЦЕНКА НА ИЗДРЪЖЛИВОСТТА НА МАТЕРИАЛА ПРИ ЕКСТРЕМНО-НИСКОЦИКЛИЧНА УМОРА

Главата съдържа 46 стр., 33 фигури, 12 таблици и 14 математически израза. В тази глава Авторът е решил седем отделни задачи, ползвайки експерименталните резултати и натрупаните до момента знания по темата.

Първо той е отчел несъвършенствата в експерименталната постановка. По аналитичен път Авторът е достигнал до изразите за коригиране на неточностите в измерването от наличните луфтове и от ротациите в опорите по време на трептенията.

Във втората си задача Авторът описва четири характерни стадия на развитие на повредата: (1). Зараждане на пукнатината в зоната на максимални пластични деформации – при допира в опорните болтове и около заваръчния шев. Това става още в първите 5 цикъла; (2). Бавно разпространяване на пукнатините и тогава се диссипира енергия от натоварването; (3). Ускорено разпространяване на пукнатините. Това става към края на процеса, когато пукнатините са вече многобройни и уголемени. Продължителността е само 2 до 5 цикъла; (4). Съединяване на пукнатините и разрушаване на елемента. Всички пукнатини максимално нарастват, свързват се помежду си и настъпва пълното разрушение на елемента.

В третата си задача Авторът калибрира своя модел по крайни елементи с опитните резултати. Първо въвежда действителната работна диаграма на стоманата, след това коригира кривините от деформацията и накрая получава калибрирания вид на функцията за деформиране. Предложен е коефициент β=0,85 за определяне на разстоянието до точката на преход между линейна и нелинейна функция.

В четвъртата задача е оценено количеството диссипирана хистерезисна енергия. В табличен вид са представени опитните резултати с точното количество дисипирана енергия в процеса на разрушение. Определен е също коефициент за цикличен спад на дисипираната енергия $a_{f,i}$.

Накрая са записани полезни изводи за условията, при които елементите с четириточково огъване диссипират повече енергия спрямо тези с триточково.

В петата задача е анализирана повърхността на разрушение. Установено е, че при нискоциклична умора пукнатините се зараждат по ръбовете на елементите, а разрушението става в средната зона, където уголемените пукнатини накрая се свързват.

В шестата задача е изведена зависимост между броя цикли до разрушение и диапазона на пластичните деформации. Съпоставени са опитните резултати с аналитичните изрази от литературните източници. Разликите са около 10%, което наистина можем да приемем за неголеми.

В седмата задача е съставена и функция за определяне на издръжливостта на стоманени елементи при ЕНЦУ. За решаването на този сложен проблем е предложена специална експоненциална зависимост, в която има корекционен коефициент $\varepsilon_{lg}= 0,95$, който е основан на проведените опити.

Накрая е разгледано приложението на модела за определяне на издръжливостта на стоманени елементи при ЕНЦУ към системата INERD болтова става. По аналогия с проведените експерименти е предложена процедура за приложение на разработения модела от дисертацията.

Направените анализи и изводи в тази глава показват задълбоченото вникване и разбиране на Докторанта в разглежданата тема и прилагане на много рационални подходи за научните изследвания.

VII. АНАЛИЗ НА ПРИНОСИТЕ

В края на дисертацията са записани обобщени седем извода, а след тях Авторът е заявил пет приноса:

Принос 1: *Предложена е дефиниция на явлението екстремно-нискоциклична умора основано на систематичен анализ на теоретичните и експериментални научни изследвания, както и на база собствен изследователски опит.*

Приемам приноса.

Принос 2: *Планирана е и е реализирана експериментална кампания, включваща изпитването на 19 образци от квадратни плътни профили, разделени в три серии, подложени на натоварване предизвикващо екстремно ниско-циклична умора. По експериментален път е получена действителната работна диаграма на стоманата, от която са произведени образците. Изготвено е сравнение между експерименталните резултати и резултатите, получени чрез числено параметрично изследване на квадратни плътни профили с помощта на числен модел с обемни крайни елементи.*

Приемам приноса.

Принос 3: *Дефиниран е механизъм за натрупване на повредите на квадратни стоманени плътни елементи, подложени на огъване следствие на циклично знакопроменливо натоварване. След прилагане на енергетичен метод за оценка на издръжливостта са предложени конкретни гранични стойности на коефициента на цикличен спад на диссипираната енергия α_{fr} за дефиниране на настъпване на инженерен стадий на разрушение за всяка от експерименталните серии;*

Приемам приноса.

Принос 4: *Предложен е аналитичен модел и формули (израз (IV-7) на стр.152) за определяне на зависимостта между преместване и реализирана относителна деформация на къси квадратни стоманени елементи, подложени на огъване. Предложена е процедура за прилагане на аналитичния модел при елементи със сходна форма и използвани като компоненти от конструктивна система за оценка на тяхната издръжливост на ЕНЦУ при сеизмични въздействия.*

Приемам приноса.

Принос 5: *Предложен и валидиран с експерименталните резултати е корекционен израз за модифициране на аналитичния модел на Tateishi (израз (IV-12) на стр. 175. Изразите служат за определяне на броя цикли до разрушение при определен диапазон на пластичните деформации, когато в стоманените елементи има наличие на два различни вида концентратори. Изведените зависимости може да бъдат използвани при оценка на издръжливост на стоманени елементи, при които не настъпва местна загуба на устойчивост, в присъствието на конструктивни несъвършенства или заваръчни шевове.*

След приносите са предложени шест насоки за бъдещи изследвания по темата, които имат смисъл и са добро пожелание за развитие.

VIII. АНАЛИЗ НА БИБЛИОГРАФСКАТА СПРАВКА

Записани и цитирани са общо 110 заглавия, от които 15 са на български автори – 12 на български език и 3 на английски език, а 91 заглавия са на английски език на автори от различни страни. Сред чуждестранните автори доминират американските, което е нормално предвид темата на дисертацията. Цитирани са също и 4 български стандарта. Преобладават заглавията от последните 10 години, най-скорошните цитати са от 2024 и 2023г, но най-старият е от 1910г, има и такива от 1913, 1920, 1943г., от 50-те и 60-те години на XX век. Така Докторантът е проследил цялото развитие, свързано с темата в света през период от 115 години до днес. Приемам обема на справката за достатъчен.

Смятам, че съотношението между източниците според техният език съответства на тематиката. Българският опит е сравнително добре изучен.

IX. АНАЛИЗ НА ИЗЛОЖЕНИЕТО

Изложението в дисертацията е по същество, стилът е стегнат, разбираем, терминологически е издържан. От представените в дисертацията коментари и оценки проличава подчертано задълбочен изследователски подход и стремеж към всеобхватност на проблема. Текстовете, посветени на собствените разработки, представляват около 70% от обема на дисертацията. Този показател добре отчита, че дисертацията е наситена със собствени изследвания. Литературният обзор, включващ първите две глави е около 30% и също е достатъчен.

В заключение, обемът на дисертацията е достатъчен за доказване на тезата и принципно съответства на общоприетите критерии за обем на представянето.

X. АНАЛИЗ НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ТЕМАТА

Докторантът е записал три публикувани статии по темата.

Първата е публикувана през 2021г. в *Годишника на УАСГ, Том 54, брой 3.*

Втората статия е изнесена като доклад на Първата Младежка научна конференция с международно участие „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 4-5 ноември 2021 г., София, организирана от Научно – техническия съюз по строителство в България. За това си участие Авторът е получил наградата за най-добър доклад. Статията е публикувана от организаторите в сборника I Youth Scientific Conference with international participation *„Design and Construction of Buildings and Facilities “, November 4-5, 2021, Sofia, Bulgaria, ISSN 2738-7887 (online); ISSN 2738-7879 (CD-ROM).*

Третата статия към дисертацията отново е публикувана в *Годишника на УАСГ, Том 56, брой 4 от 2023г.*

В *първата публикация,* която е на тема „Ниско- и екстремно ниско-циклична умора на стоманени елементи авторът представя най-съществено от своя литературен обзор по темата на дисертацията. Изяснява накратко същността на ЕНЦУ и се спира на формулираните до момента зависимости по проблема от световни учени. изследването си. Статията е обширна, изчерпателна, заема 17 страници и по най-добрия начин популяризира първия и втория раздел от дисертацията.

Във *втората статия,* която е със заглавие „Модели за определяне на издръжливостта на стоманени елементи при екстремно нискоциклична умора", е представена втората стъпка от изследователския цикъл по дисертацията – приемането на моделите за изследване. Статията е представена в 9 страници и обстойно представя теоретичните постановки, които обосновават поведението на стоманата при ниско-цикличната умора. Използваният математически апарат е сложен поради емпиричния си характер, но авторът критично е вникнал в него, поставяйки си задачата да го усъвършенства чрез бъдещите си собствени опитни резултати. Тази статия добре популяризира втората и третата глава от дисертацията.

Третата заявена публикация носи заглавието „Особености при експерименталното изследване на цикличното поведение на стомана клас S235JR при големи пластични деформации". В нея върху 18 страници обстойно са описани проведените опити, протоколът за натоварването и отчетите. Освен това, анализите на резултатите също са представени, заедно с изводите. Статията изчерпателно отразява третата и четвъртата глава от дисертацията.

Трите публикации представят цялата дисертация и напълно отговарят на изискванията за защита на дисертацията.

XI. АНАЛИЗ НА АВТОРЕФЕРАТА

Авторефератът вярно отразява съдържанието на дисертацията и представлява най-съществената представителна извадка от нея. Обемът на автореферата, обаче е прекалено голям – 43 стр. дребен шрифт, а с приложената литературна справка страниците стават дори 50. Това надхвърля обичайното изискване до 25 – 30 стр. Прекалено дългият автореферат губи своя основен смисъл да запознае непредубедения читател с най-съществото от дисертацията и от друга страна авторефератът трябва да покаже, че авторът вече умее по най-краткия и достъпен начин да представи есенцията от своите изследвания.

XII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дисертацията отговаря на условията, посочени в Закона за развитие на академичния състав и правилниците към него. От научна гледна точка тя е издържана и има завършен вид. Трите упоменати публикации на Автора по темата са достатъчни като минимум за нейното популяризиране и преглед от научната общност. Те съдържат в себе си най-съществените части от дисертацията, в които се съдържат и основните приноси. Представеният автореферат представя всички най-важни моменти от дисертацията.

Дисертацията има принос и към науката. Получени са нови знания в областта на геотехниката, динамиката на строителните почви и сеизмичното инженерство.

Докторантът има задълбочени теоретични познания в областта на геотехниката и динамиката на строителните почви и е способен да извършва самостоятелни научни изследвания, както и да представя по убедителен начин получените резултати.

Докторантът има добра литературна осведоменост, а литературният обзор е издържан и актуален.

В заключение, приемам докторската теза (дисертацията) на маг. инж. Николай Арнаудов за присъждане на образователната и научна степен „доктор" в област на висшето образование 5.„Технически науки ", професионално направление 5.7„Архитектура, строителство и геодезия", научна специалност 02.15.04 „Строителни конструкции".

ПОДПИС:

08 април 2026г.

Chavdar Vasilev Kolev

Digitally signed by Chavdar Vasilev Kolev
Date: