

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд, разработен от инж. Илиана Йорданова Стойнова

За получаване на образователна и научна степен „доктор“ по научната специалност 01.02.03. „Строителна механика, съпротивление на материалите“

Тема на дисертацията „Нелинейни модели на разрушаване на конструктивната връзка колона–гладка плоча от динамично въздействие“

Научни ръководители:

проф. д.т.н. д-р инж. Константин Савков Казаков

доц. д-р инж. Радан Иванов Иванов

От доц. д-р инж. Анита Костадинова Хандрулева
Катедра „Механика и математика“, Висше строително училище „Любен Каравелов“

Рецензията е изготвена съгласно заповед №448/15.05.2017г. на Ректора на ВСУ „Любен Каравелов“ относно назначаване на научно жури за защита на дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор“, издадена на основание доклад от декана на Строителен факултет и протокол № 3/11.05.2017г. (Вх. №1086/11.05.2017г.) от решение на ФС по предложение на катедра „Механика и математика“ (протокол № 36/25.04.2017г.).

1. Кратки биографични данни

Инж. Илиана Йорданова Стойнова е родена на 17.10.1968г.

1.1. Образование

2012г. - 2017г. - Висше строително училище „Любен Каравелов“, гр. София, докторант;

1988г. - 1994г. - Висш институт по архитектура и строителство, гр. София,

Специалност: Промислено и гражданско строителство - конструкции;

1983г. - 1987г. - Строителен техникум „Христо Ботев“ – гр. София, Строителен техник - строителство и архитектура.

1.2. Професионална кариера

05.10.2015 г. - настоящия момент - ВСУ „Любен Каравелов“, гр. София, хоноруван асистент, катедра „Механика и математика“;

05.10.2011 г. - 04.10.2015 г. - ВСУ „Любен Каравелов“, гр. София, асистент, катедра „Механика и математика“;

01.09.2010 г. - 04.10.2011 г. - ВСУ „Любен Каравелов“, гр. София, хоноруван асистент, катедра „Механика и математика“;

01.01.2011 г. - 31.01.2012 г. - „ЛОЗЕНЕЦ-КОНСУЛТ“ АД, Технически сътрудник;

01.11.2001 г. - 31.12.2010 г. - „ЛОЗЕНЕЦ-КОНСУЛТ“ АД, Компютърен оператор;

01.04.1998 г. - 31.10.2001 г. - „ЛОЗЕНЕЦ-КОНСУЛТ“ АД, Главен експерт, проектант по част „Конструкции“ и ръководител на отдел „Оферти“;

19.06.1995 г. - 31.03.1998 г. - „ЛОЗЕНЕЦ-КОНСУЛТ“ ООД, Проектант по част „Конструкции“;

15.09.1987 г. - 30.09.1988 г. - ЦИПТТ „МАШПРОЕКТ“, гр. София, ул. „Иван Вазов“ №16, Проектант.

1.3. Компютърни умения

Владее операционната система Windows, програмата MS OFFICE (MS WORD, MS EXCEL, POWER POINT), приложните програмни продукти AUTOCAD, BUILDING MANAGER, STADYPS, PC PROEKTANT, SEIZM, SAP 2000, TOWER и ANSYS.

2. Актуалност на темата

Дисертацията се състои от 5 глави, които са представени с 321 страници, 146 фигури, 47 таблици и 97 формули. В Глава 1 е направен анализ на състоянието на проблема. В нея са формулирани обхвата, целите и структурата на дисертацията. В Глава 2 са описани материалните модели на стоманобетона и армировъчната стомана. Дадено е описание и характеристики на крайните елементи, използвани за дискретизирането на изчислителния модел. Описани са и изчислителните процедури в Метода на крайните елементи. В Глава 3 е направена верификация на крайния елемент Solid 65. В Глава 4 е извършено сравнение на носимоспособността на срязване при центрично продънване на плоча, без напречна армировка, съгласно препоръките на някои норми за проектиране. В тази глава е изследвано реагирането на конструктивната връзка колона - гладка плоча, подложена на статично натоварване. В Глава 5 е изследвано поведението на конструктивната връзка колона - гладка плоча от динамични въздействия. За изследване на напрегнато и деформирано състояние на конструктивната връзка колона - гладка плоча от динамични въздействия е изграден изчислителен модел в програмен продукт ANSYS.

Разработеният в дисертацията проблем е извънредно актуален в теоретично и приложно отношение. Приложението на безгредови конструкции в съвременното строителство е голямо и нараства. Напоследък у нас делът на конструкциите с безгредови плочи се увеличава и в момента достига над 50% от изгражданите стоманобетонни конструкции. То е обусловено поради техните икономически и функционални предимства. Въпреки това при гладките плочи се налагат някои ограничения. Срязващите напрежения около носещите колони са значителни. Това се дължи на пренасянето на срязващи сили и неуравновесени моменти между плочата и колоните и може да доведе до рязка и катастрофална повреда - продънване на плочата с отделяне на конична или пирамидална част от нея заедно с колоната дори при натоварвания под проектната носимоспособност на огъване. Много конструкции с безгредови плочи се повреждат или разрушават именно от продънване на плочата, включително и при сеизмични или други динамични въздействия. Практиката показва, че са по-чести случаите на значителни дефекти или разрушаване на стоманобетонни греди и плочи, вследствие недостатъчното им осигуряване за напречни сили, отколкото за огъващи моменти. Това налага да се обърне особено внимание върху осигуряването на конструктивната връзка колона - гладка плоча. Продънването е в резултат най-често на напречни сили, които действат върху относително малка площ. Вследствие на продънването, разрушаването настъпва по наклонени сечения и се характеризира с внезапна поява и бързо разпространение на пукнатини в радиално и тангенциално направление. При продънването настъпва крехко разрушение, когато внезапно се отдели пирамидална или конична част от плочата заедно с колоната. Появата и разпространението на пукнатини е процес, свързан с дисипацията на енергия, т.е. с „омекотяване“ на конструкцията и преразпределение на вътрешните сили. Така продънването на гладките плочи е основен проблем, който стои пред проектантите и е от изключително значение намирането на ефективни решения за избягването му. В този смисъл актуалността на темата и представените изследвания не подлежи на съмнение.

3. Анализ на научните постижения и оценка на приносите

3.1. В глава 1 (Реагиране на конструктивната връзка колона – гладка плоча при статично натоварване)

В тази глава са показани препоръките на норми за проектиране за изчисляване носимоспособността на срязване при центрично продънване, без наличие на неуравновесени

моменти. Разгледани са изчислителните модели и препоръките в: Българските норми „Норми за проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции“ - 1988 г.; Еврокод 2 - БДС EN 1992-1-1; Американските норми - ACI 318-08; Британски стандарт BS 8110:97; Германски норми DIN 1045-1 и съгласно изследванията на Noel J. Gardner от 1996 г.

В точка 4.2 от настоящата глава в числен пример е определена носимоспособността на плочата на срязване при продънване за плоча с дебелина 20 cm, съгласно НПБСК'88, СНИП 52-01-2003, БДС EN 1992-1-1 - ЕВРОКОД 2, ACI 318-08, BS 8110:97, DIN 1045-1 и Gardner. Ефективната височина на плочата е 16cm. Плочата е изпълнена от бетон е клас C20/25 с $f_{ck}=20$ МПа и е армирана над колоната с надлъжната армировка от стомана клас B500 с $f_y=500$ МПа. Разгледани са два случая на армиране: при първия случай над колоната плочата е армирана с горна надлъжна армировка N12 през 20 cm в двете посоки, а във втория - горната надлъжна армировка е от N16 през 10 cm в двете посоки. Колоната е с размери 25cm/25cm, изпълнена също както плочата от бетон клас C20/25 с $f_{ck}=20$ МПа.

Показаните изчислителни процедури са основани главно на емпирични зависимости. Те приемат подхода на срязване по определен критичен периметър и включват само най-важните параметри. Това води до разминаване, в някои от случаите съществено на резултатите, получени съгласно различните норми, въпреки че за формулирането на основните зависимости са използвани сходни експериментални резултати. Причината за това е в различията при тълкуването на експерименталните изследвания, начина на съпротивлението, различните коефициенти на натоварване, както и особеностите на местната строителна практика. Влиянието на якостта на бетона също се приема по различен начин. От разгледаните норми, в НПБСК'88, СНИП и ACI 318 не се отчита влиянието на надлъжната армировка, като по при този подход се получава еднаква носимоспособност на срязване при различни проценти на армиране. В изчислителната процедура на Еврокод 2, BS и DIN, той се отчита и това води до намаляване на носимоспособността на срязване при по-малки проценти на армиране. Вместо това в ACI 318 се разчита на конструктивни изисквания, за да се осигури достатъчна надлъжна армировка.

От показаните резултати е видно, че при по-малък процент на армиране изчислителните процедури по Еврокод 2, DIN и BS са консервативни, докато сравнени с тях, процедурите по НПБСК'88 и ACI 318-8 са по-малко консервативни. При по-висок процент на надлъжната армировка, резултатите от изчислителните процедури по НПБСК'88 и ACI 318-8 стават по-консервативни, т.е. те се доближават до тези по Еврокод 2, DIN и BS.

В точка 4.2 от настоящата глава е изследвано реагирането на връзката колона - гладка плоча от статично натоварване. Изградени са четири изчислителни модела в програмен продукт ANSYS. За моделиране на поведението на бетона е използван краен елемент Solid65, а за моделиране на поведението на армировъчната стомана – Beam188. Опорните условия са реализирани чрез ограничаване на преместванията в общи възли за крайните елементи Solid65 и Beam188 по периметъра на модела.

Тази глава има познавателен и образователен характер. Изследванията в тази глава имат научен и научно приложен характер.

3.2. В глава 2 (Моделиране на материалите и механизма на разрушение) са показани подходи при моделиране на материала и механизма на разрушение. Моделите на бетона като материал могат да се класифицират най-общо като микро и макро модели. При микро-моделите на структурата на материала, взаимодействието между компонентите се описва с помощта на сравнително прости закони. От поведението на микро-компонентите и тяхното взаимодействие се получава автоматично макроскопичното поведение. Основният недостатък на тези микро-модели е огромната изчислителна работа при анализа. Затова реални конструкции следва да се моделират като се използват най-вече макро-модели. Макро-моделите са базирани основно на механиката на непрекъснатите среди и трябва коректно да възпроизвеждат сравнително сложни механизми на микро-ниво, като напукване, кохезия, триене, взаимодействие между микропукнатините и др. Зоните на разрушение могат да бъдат моделирани като се използват подхода на дисперсната пукнатина или подхода на дискретната

пукнатина.

В глава 2 са описани модел на стоманобетона (модел на Hognestad), модел на бетона съгласно ЕВРОКОД 2, модел на армировъчна стомана, характеристики на краен елемент SOLID 65, характеристики на краен елемент BEAM 188, видове нелинейност и изчислителни процедури.

Тази глава има познавателен и образователен характер.

3.3. В глава 3 (Сравнителен анализ на решения на гладка плоча по класическите методи и решения с програмни продукти. Моделиране на бетонна конструктивна връзка с програмнен продукт ANSYS. Верификация на крайния елемент Solid65) е направен сравнителен анализ на решения на гладка плоча, свободно (ставно) подпряна по контура, натоварена с равномерно разпределен товар по следните методи: Метод на Маркус (Метод на еластична схема), методи на теорията на пластичността и решения с програмни продукти ANSYS и SAP2000. В т.3.2 е разгледан модел на тънка еластична плоча, за генерирането на който са използвани shell крайни елементи при решението с програмнен продукт SAP2000. В програмнен продукт ANSYS плочата е дискретизирана с изопараметричен 3D краен елемент SOLID65 и с краен елемент SHELL181. Изчислителните модели се различават по вида на дискретизационната мрежа.

В точка 3.1 са описани теории за огъване на тънки и умерено дебели еластични плочи (Теория на Кирхоф за тънките еластични плочи, теория на Райснер - Миндлин за огъване на умерено дебели еластични плочи, теории от по-висок ред.

В точка 3.2 е направен сравнителен анализ на решения на гладка плоча по метод на Маркус, методите на теорията на еластичността и пластичността и решения с програмни продукти. Изграден е изчислителен модел на гладка плоча с размери 2,00m/2,00m. и дебелина 0,20m. Плочата е свободно (ставно) подпряна по контура. Натоварена е с равномерно разпределен товар с интензивност 100 kN/m². Материалът е бетон клас C20/25 с модул на еластичност $E=3 \cdot 10^7$ kN/m² и коефициент на Поасон - $\nu=0,2$.

Получени са решения и са сравнени резултатите от решения по класическите методи на Маркус и преразпределение на усилията, методите на теорията на еластичността и решения с програмни продукти. При решенията с програмни продукти е направено сравнение на резултатите при дискретизация с различна размерност на мрежата, а също така и при дискретизация на модела с различни крайни елементи – Shell и Solid.

Резултатите, получени от изчисленията по метода на Маркус (метод на еластична схема) са по-близки до резултатите получени от решението по Метода на Навие (метод на двойните тригонометричните редове) от тези, получени от решението по метода по преразпределение на усилията.

Резултатите, получени от решенията с програмни продукти, основани на Метода на крайните елементи, са близки. Тези резултати са близки и до получените по метода на Навие, като разликите са от 2,9% до 6,24%, което е в рамките на допустимото. Преместванията, получени при решението с програмнен продукт ANSYS са по-големи от тези, получени от решението с програмнен продукт SAP2000, което се дължи на използваните крайни елементи и размерността на мрежата. От резултатите, получени при решенията на плочата с програмнен продукт ANSYS, очаквано се наблюдава увеличаване на преместванията при съгъстяване на дискретизационната мрежа, като клонят към определена стойност. По - високата стойност на преместването кореспондира с по-голяма стойност на огъващия момент.

В точка 3.3 е показано напрегнатото състояние на връзката колона - гладка плоча без армировка при пет различни модела. Плочата при петте модела е изградена съответно от един обем - при първия, от два обема - при втория и третия, от три обема - при четвъртия и при петия модел от пет обема. Плочата е с размери 2,00 m/2,00 m и дебелина 0,20 m, колоната е с размери 0,25m/0,25 m. Дефинирани са идентични гранични условия и при петте модела, като са ограничени преместванията в контурните линии по x, y и z. За моделиране на поведението на бетона е използван краен елемент SOLID65 с осем възела и с по три степени на свобода във всеки възел или с двадесет и четири степени на свобода. Бетонът е моделиран като

материал с линейноеластично поведение. Избран е бетон клас C20/25, съгласно Еврокод 2 с модул на еластичност $E=3.10^7 \text{ kN/m}^2$ и коефициент на Поасон - 0,2. Натоварването е приложено по долната повърхност на колоната, равномерно разпределено с интензивност 5000 kN/m. В заключение може да се каже, че резултатите не се повлияват значително от приетия подход при изграждането на изчислителния модел.

Тази глава има познавателен и образователен характер. Изследванията в тази глава имат научен и научно приложен характер.

3.4. В глава 4 (Реагиране на конструктивната връзка колона – гладка плоча при статично натоварване) са показани препоръките на норми за проектиране за изчисляване носимоспособността на срязване при центрично продънване, без наличие на неуравновесени моменти. Разгледани са изчислителните модели и препоръките в: Българските норми „Норми за проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции“ – 1988 г.; Еврокод 2 - БДС EN 1992-1-1; Американските норми - ACI 318-08; Британски стандарт BS 8110:97; Германски норми DIN 1045-1 и съгласно изследванията на Noel J. Gardner от 1996 г.

В точка 4.2 с числен пример е определена носимоспособността на плочата на срязване при продънване за плоча с дебелина 20 cm, съгласно НПБСК'88, СНИП 52-01-2003, БДС EN 1992-1-1 - ЕВРОКОД 2, ACI 318-08, BS 8110:97, DIN 1045-1 и Gardner. Ефективната височина на плочата е 16cm. Плочата е изпълнена от бетон е клас C20/25 с $f_{ck}=20 \text{ MPa}$ и е армирана над колоната с надлъжната армировка от стомана клас B500 с $f_y=500 \text{ MPa}$. Разгледани са два случая на армиране: при първия случай над колоната плочата е армирана с горна надлъжна армировка N12 през 20cm в двете посоки, а във втория - горната надлъжна армировка е от N16 през 10cm в двете посоки. Колоната е с размери 25cm/25cm, изпълнена също както плочата от бетон клас C20/25 с $f_{ck}=20 \text{ MPa}$.

Показаните по-горе изчислителни процедури са основани главно на емпирични зависимости. Те приемат подхода на срязване по определен критичен периметър и включват само най-важните параметри. Това води до разминаване, в някои от случаите и съществено на резултатите, получени съгласно различните норми, въпреки че за формулирането на основните зависимости са използвани сходни експериментални резултати. Причината за това е в различията при тълкуването на експерименталните изследвания, начина на съпротивлението, различните коефициенти на натоварване, както и особеностите на местната строителна практика. Влиянието на якостта на бетона също се приема по различен начин. От разгледаните норми, в НПБСК'88, СНИП и ACI 318 не се отчита влиянието на надлъжната армировка, като по при този подход се получава еднаква носимоспособност на срязване при различни проценти на армиране. В изчислителната процедура на Еврокод 2, BS и DIN, той се отчита и това води до намаляване на носимоспособността на срязване при по-малки проценти на армиране. Вместо това в ACI 318 се разчита на конструктивни изисквания, за да се осигури достатъчна надлъжна армировка.

От показаните резултатите е видно, че при по-малък процент на армиране изчислителните процедури по Еврокод 2, DIN и BS са консервативни, докато сравнени с тях, процедурите по НПБСК'88 и ACI 318-8 са по-малко консервативни. При по-висок процент на надлъжната армировка, резултатите от изчислителните процедури по НПБСК'88 и ACI 318-8 стават по-консервативни, т.е. те се доближават до тези по Еврокод 2, DIN и BS.

В точка 4.3 за изследване на реагирането на конструктивната връзка колона-гладка плоча при статично натоварване са изградени четири изчислителни модела в програмен продукт ANSYS. За моделиране на поведението на бетона е използван краен елемент Solid65, а за моделиране на поведението на армировъчната стомана - Beam188. Опорните условия са реализирани чрез ограничаване на преместванията във общи възли за крайните елементи Solid65 и Beam188 по периметъра на модела.

Стойностите на продънващата сила, получена съгласно нормите, при които не се отчита влиянието на надлъжната армировка, клонят към резултатите от анализа на изчислителния модел с по-малък процент на надлъжна армировка, докато стойностите на продънващата сила, получена съгласно препоръките на нормите, отчитайки влиянието на

надлъжната армировка, клонят към резултатите от анализа на изчислителния модел с по-висок процент на надлъжна армировка.

Изследванията в тази глава имат научен и научно приложен характер.

3.5. В глава 5 (Нелинейни модели на реагиране на конструктивната връзка колона - гладка плоча от динамични въздействия) за изследване на напрегнато и деформирано състояние на конструктивната връзка колона - гладка плоча при динамични въздействия е изграден изчислителен модел в програмен продукт ANSYS. Плочата и колоната са дискретизирани с краен елемент Solid65, армировъчната стомана е дискретизирана с краен елемент Beam188. Моделирана е съвместната работа между бетона и армировъчната стомана. Бетонът и армировъчната стомана са моделирани с линейно - еластични материални модели. Предвидено е армировъчната стомана да е с диаметър 16mm, съгъстена симетрично през 10cm на разстояние до 80cm от оста на колоната. Въздействията са приложени върху колоната центрично.

В точка 5.1.2 е дадено описание на видовете динамични въздействия при извършване на динамичния анализ. За изследване на динамичното реагиране на структурата под въздействието на променливи във времето товари е използван Transient или Time-history анализ. Този вид анализ се прилага за определяне на зависимости от времето премествания, деформации, напрежения и усилия. Този метод ни дава поведението и реагирането на конструкцията във всеки един момент от време. Основава се на директно интегриране на уравненията на движение на точките от конструкцията.

В точка 5.2 е дадено описание на изчислителния модел. За изследване на напрегнато и деформирано състояние на конструктивната връзка колона - гладка плоча при динамични въздействия е изграден изчислителен модел в програмен продукт ANSYS. За моделиране на поведението на бетона е използван краен елемент Solid65, а за моделиране на поведението на армировъчната стомана - Beam188, като е осигурена и съвместната работа на бетона и армировката. Плочата е подпряна по контура на нивото на горната армировка и в общи възли за крайните елементи Solid65 и Beam188, като са ограничени преместванията в тези възли по направление на осите x, y и z. Бетонът и армировъчната стомана са моделирани с линейно - еластични материални модели. Моделирана е горната армировка в зоната над колоната, като армировъчната стомана е с диаметър 16mm, съгъстена симетрично през 10cm на разстояние до 80cm от оста на колоната. Подпирането е осъществено чрез ограничаване на преместванията във общи възли за крайните елементи Solid65 и Beam188 по периметъра на модела. Въздействията са приложени върху колоната.

Изследванията в тази глава имат научен и научно приложен характер.

Изложението на дисертационния труд е последвано от претенции за научни и научно-приложни приноси (5 броя), насоки за бъдещи изследвания, декларация за самостоятелност и благодарности.

По темата на дисертацията има седем публикация в съавторство с научните ръководители. Библиографията обхваща 126 заглавия, от които 38 на кирилица и 88 на латиница.

4. Критични бележки

Критичните бележки, които се отнасят за отделните глави, са дадени при техния анализ.

5. Оценка на автореферата

Авторефератът е изготвен съгласно изискванията и в достатъчна степен отразява основните резултати, получени в дисертацията.

Общо заключение

Анализите и изводите от всяка една глава на дисертационния труд са представени професионално. Отразените в труда научни и научно-приложни приноси са много добре премерени, като се има предвид количеството и качеството на специалистите, работещи в тази област. Разгледаните числени примери в работата на докторанта ясно демонстрират завършеността на изследванията в представената дисертация. До числената реализация на поставената задача, докторантът достига след едно обстойно и задълбочено проучване на голяма част от съществуващите в тази област трудове.

Приемам заявените приноси в дисертацията и ги оценявам като научни и научно приложни. Повечето от направените забележки имат редакционен характер. Те не се отразяват на качествата на предложения дисертационен труд. Целта на дисертацията е успешно изпълнена. Литературният обзор и получените резултати показват задълбочени познания на автора в редица области от строителното инженерство.

На основата на представената по-горе оценка на дисертацията правя следното заключение: **Предложеният дисертационен труд отговаря на изискванията за присъждане на образователна и научна степен „доктор” и давам положителна оценка на работата на инж. Илиана Йорданова Стойнова за получаване на образователна и научна степен „доктор” по научната специалност 01.02.03. „Строителна механика, съпротивление на материалите”.**

08.08.2017г.
гр. София

Изготвил: 
(доц. д-р инж. Анита Хандрулева)