

РЕЦЕНЗИЯ

Автор на дисертационния труд: инж. Александър Илиев Илиев

Тема на дисертационния труд: "Уязвимост на конструктивни системи за сеизмични въздействия"

Научна специалност: "Механика на деформируемото твърдо тяло"

Изготвил рецензията: проф. д-р инж. Здравко Бонев,
катедра "Строителна механика"
при Строителен факултет на УАСГ

Рецензията е изготвена на основание възлагане от научното жури, назначено със Заповед №01-25/28.02.2018 на Директора на НИГГГ-БАН.

1. Кратки биографични данни

Инж. Александър Илиев е роден на 23.01.1985. Завършва висше образование в УАСГ – София, специалност ССС през 2009. От януари 2015 е приет като редовен докторант в НИГГГ-БАН, където под ръководството на доц. д-р инж. Димитър Стефанов разработва своя дисертационен труд в Департамент "Сеизмично инженерство".

2. Общи данни за дисертацията

Дисертацията е 112 стр., включително 17 таблици, 150 фигури и 19 уравнения. Използвана литература е от 54 заглавия. Авторските публикации по темата на дисертацията са 7 броя.

3. Актуалност на темата, разработена в дисертационния труд

Дисертационният труд е посветен на изключително актуална тематика. Оценката на сеизмичната уязвимост и на сеизмичния риск на сградния фонд е първата стъпка в ориентацията за мащабите на сеизмичната опасност и начините за намаляване на ефектите от нея. В страната вече има разработена и приета методика за анализ, оценка и картографиране на сеизмичния риск на Република България (27. 11. 2017). С помощта на този документ оценката и анализът на уязвимостта и сеизмичния риск на съществуващите сгради у нас ще се извършва на съвременно и научно ниво. Настоящият дисертационен труд се намира в хармония с методиката, а авторът на труда е един от тези, които постигат получаване на вярна оценка за сеизмичния риск и са готови и теоретично, и практически, за неговото намаляване.

Актуалността на темата, разработена в дисертацията, е очевидна и не подлежи на съмнение.

В настоящата дисертация се формулират следните цели и задачи на научните изследвания:

- Изследване на различни подходи за анализиране на строителни конструкции, базирани на метода на крайните елементи и определяне на влиянието им върху сеизмичната оценка;
- Изследване на важни моделни характеристики върху предсказване на сеизмично индуцираните повреди, като например гъстотата на мрежата от крайни елементи, различните деформационни характеристики и др;
- Изследване на сеизмичното реагиране на съвременни стоманобетонни конструкции, широко разпространени в съвременната строителната практика на България;
- Изследване на важни конструктивни характеристики като нерегулярността в план и по височина върху конструктивния капацитет и реагиране;
- Вероятностно дефиниране на сеизмичната уязвимост на изследваните конструкции, т.н. криви на уязвимост.

Чрез формулираните цели и задачи в труда се поставя ударение върху разработване на нови теоретични постановки (вероятностно дефиниране на сеизмичната уязвимост на изследваните конструкции, т.н. криви на уязвимост), както и върху практическото прилагане на различни модели и алгоритми за оценка на сеизмичната уязвимост. Отчетени са характерните особености на строителството у нас. Оценявам труда на докторанта като особено полезен и актуален за Българските условия.

От направения анализ в точка 3 може да се направи следното обобщение: тематиката на дисертационния труд е много актуална. Дисертацията е разработена в синхрон със съвременните разбирания и новостите в областта на сеизмичното инженерство и осигуряване на сградите и съоръженията на сеизмични въздействия. Трудът е съобразен с основната съвременна концепция за намаляване на сеизмичния риск чрез прилагане на научни подходи.

4. Анализ и оценка на основните резултати в дисертационния труд

Основните резултати, постигнати в труда, са израз на изпълнението на формулираните цели и задачи. Подчертаните текстове описват извършената оригинална изследователска дейност с висока оценка, за постигнати резултати в дисертационния труд.

В дисертационния труд е направен задълбочен анализ на съществуващите методи и принципи за определяне на сеизмичната уязвимост на строителните конструкции. Много доброто познаване на Европейския и световния опит позволява на автора бързо да се насочва към най-подходящия за случая метод (Глава 1). Изчерпателният литературен обзор (Глава 1) е фундаментът, върху който се изгражда дисертационния труд. Отличното познаване на съвременното развитие и състояние на проблема ориентира автора за избор на направленията на научните изследвания. Формулираните цели и задачи са ясни и много уместни и напълно се съгласуват със съвременните разбирания за намаляване или поне смекчаване на сеизмичния риск.

От методологична гледна точка авторът правилно се заема най-напред да изследва нелинейното поведение на модели с по-малък брой на неизвестните премествания. Възникването на повреди винаги се свързва с развитието на нелинейни процеси в материала и с появата на невъзвратими деформации.

Анализирано е нелинейното сеизмично реагиране на едноетажна стоманобетонна стена, за която усилията от сеизмично въздействие надвишават изчислителните. С помощта на проведената серия от нелинейни статични и динамични анализи, са установени механизмите на разрушение на изследваната конструкция, възникващи като интегрален продукт от настъпилите повреди. С решаването на тази задача се трасира пътят към оценка на уязвимостта. Решената задача е само част от цялостната процедура за оценка на уязвимостта.

Числените резултати за срязващата сила и разпространението на пукнатини, получени чрез метода на крайните елементи, се корелират много добре с резултатите, получени по експериментален път в лабораторията ELSA. По този начин числената методика за оценяване на повредите е верифицирана с резултати, получени чрез числен образец.

Важни изследвания са направени за стенни елементи (стени) и достигане на капацитета им в поемане на хоризонтален квазистатичен товар. През 1985 година Н. Akiyama доказва, че изискуемото преместване (seismic displacement demand) може да се определи по два начина – статичен и динамичен. За система с една степен на свобода параметърът Seismic Displacement Demand е необходим за да се гарантира, че зависимостта "срязваща сила – хоризонтално преместване" билинеен закон (идеално еласто-пластичен закон), без да се стигне до разрушение. Akiyama показва, че seismic displacement demand, определен със статичен анализ (pushover analysis), е по-голям от капацитета на конструкцията, определен с метода на динамичния анализ (метод на историите във времето). Първият от двата метода се оказва по-консервативен и генерира по-неблагоприятни ефекти за конструкцията, но е по-лесен за прилагане и интерпретация на резултатите. Причините за това трябва да се търсят в две направления: силите на вътрешно съпротивление от вискозен тип не са включени при статичния нелинеен анализ, но при динамичния анализ участват във формирането на вътрешните съпротивителни сили и с това "помагат" на конструкцията. Инерционните сили, които в статичния нелинеен анализ не се отчитат, при динамичния анализ се включват и водят до усилване и до отслабване на динамичния ефект в зависимост от честотното съдържание на външното въздействие (акселерограмата).

След провеждане на поредица от числени решения и сравнения с резултати от експеримент авторът прави важен извод: статичния нелинеен "push over" анализ е много добър за получаване на капацитета при поемане на напречно натоварване на единична стена или комбинация от стени и може да се използва за целите на дисертацията. С това методът за анализ е верифициран и използването му за предвидените изследвания е уместно.

В Глава 2, част 2, авторът показва, че познава много добре теоретичните и практическите аспекти на метода на крайните елементи. Тези познания му позволяват да оценява повредите в отделна стена и да идентифицира механизма на разрушаване. Авторът познава в отлична степен софтуерния продукт SOLVIA, която е шведската адаптация на програмата ADINA, разработена в MIT под ръководството на проф. Klaus-Jurgen Bathe. Това показва, че методът за изследванията е теоретично овладян от автора на труда, но той владее в много висока степен методите и технологиите, с които се достига до реализация на поставените цели. Важно е да се отбележи, че инж. Илиев не само владее съвременните изчислителни методи и технологии (метод на дисперсните опънни

пукнатини в съчетание с МКЕ), но ги прилага творчески за оценка на повреди на стоманобетонни стени.

В труда се разглежда и нелинейното поведение на многоетажна стоманобетонна конструкция от смесен тип. За изследване на влиянието на нерегулярността по височина върху глобалното сеизмично поведение на сградата е съставен допълнителен числен нерегулярен модел на конструкцията. Докторантът прави следните съществени изводи като резултат от извършените от него числени изследвания:

1. Разглежданата регулярна конструкция достига крайно гранично състояние по огъвен механизъм на разрушение. Наблюдава се смачкване на бетона в краищата на условия натисков диагонал и образуване на опънен диагонал в зоната на главните опънни напрежения.
2. Капацитетът на регулярната конструкция в поемане на хоризонтален товар надхвърля с около 50% този на нерегулярната. По отношение на дуктилността по премествания (способност за развитие на нееластични деформации) регулярната конструкция развива приблизително 3 пъти по-големи хоризонтални премествания и деформации.
3. Намаляването на опънната якост на бетона с 40% води до намаляване на капацитета на конструкцията в поемане на напречни сили с около 20%, но не се отразява на дуктилното поведение. Обяснението на този факт идва от това, че конструкцията се съпротивлява на сеизмичното въздействие чрез моменти (moment resisting structure). При намаляване на капацитета на срязване обаче се увеличава рискът от крехко разрушение (brittle failure). Този феномен е констатиран от Andreas Karros за шайби. Направените от докторанта изводи се отнасят за система от смесен тип.
4. Резултатите от нелинейните статични и динамични анализи потвърждават наличието на неблагоприятен ефект от нерегулярности по височината на конструкцията. Местоположението на образувалите се пукнатини от статично и динамично (сеизмично) натоварване е сходно, но при динамичните анализи те са по-добре и по-ясно изразени.
5. Доказва се същественото влияние на количеството на напречната армировка върху капацитета на конструкцията за поемане на срязващи усилия и особено силно (в пъти) за развитието на нееластични деформации (дуктилно поведение). При увеличението на разстоянието между стремената от 10см (модел М1) на 20см (модел М4), крайното преместване на системата (дуктилността по премествания) се редуцира близо шест пъти (от 25см при М1 до 8см при модел М4). Това недвусмислено доказва неблагоприятно влияние на недостатъчната напречна армировка върху сеизмичния капацитет на конструкцията. Недостатъчността на напречната армировка става причина за загуба на дуктилно поведение в елементите и в конструкцията.
6. Крайният граничен капацитет на регулярната конструкция се достига при сеизмично въздействие с максимално земно ускорение от 0,495g. Разпределението на повреди в конструкцията показва изчерпването на капацитета на опънния диагонал на стената и образуването на множество на брой наклонени пукнатини. Нерегулярният модел достига крайно гранично състояние при сеизмично въздействие с максимално земно ускорение от 0,165g. Крехката форма на

разрушение при този модел е изключително опасна и следва да се избягва при реални конструкции.

7. За конструкциите, нерегулярни по височина авторът числено установява, че градиентът на нарастване на усилията в местата на нерегулярностите, нараства много по-бързо, отколкото в останалите сечения. Това води до ранно пластифициране в сеченията с нерегулярност, където усилията достигат капацитета си твърде рано и при стойности на интензивността, по-ниски от тези при липса на нерегулярност по височина. Например при $PGA = 0.165g$ нерегулярността по височина води до концентрация на усилията в сеченията, които съдържат нерегулярност. Така концентрацията на усилията води до крехко разрушение. От получените от автора резултати и коментарите към тях може да се направи извод, че нерегулярността променя механизмите на пластифициране и разрушение на конструкциите. Нейното включване в анализа води до неблагоприятни за конструкцията резултати. При проектиране на нови или оценяване на съществуващи конструкции след пропускане на ефектите от нерегулярността се стига до противоречие с принципа проектирането или оценката на конструкцията да се извършва с неблагоприятната изчислителна ситуация.
8. Изследвано е използването на три вида изчислителни модели, с които се следи развитието на нееластичните деформации и на повредите: 1) Модел на пластични стави с концентриране пластичност; 2) Фибров модел на диагоналите – опънен и натисков; 3) Модел с разпределена пластичност и разпределена пластичност (smeared cracks approach). За решаваната тук задача правилно авторът се насочва към методите 2) и 3).
9. Матодът CSM е пригоден от автора да бъде използван при настъпване на различни нива на повреди чрез увеличаване на спектралните премествания.
10. Дефинирани са стойностите на условните вероятности за достигане на четирите нива на повреди, необходими за изчертаване на кривите на уязвимост. Това е извършено на основата на връзката "спектрално ускорение – спектрално преместване", която се съдържа в "elastic demand spectrum". За всяко от интензивността се определя ниво на повредите чрез спектралните премествания, защото тази връзка се поддържа и от МКЕ.
11. Предвид това, че изследваната сграда е moment – resisting, авторът закономерно получава, че увеличаването на надлъжната армировка води до увеличаване на огъвателния капацитет на елементите на конструкцията.
12. Авторът прави извода, че увеличението на класът на бетона води до минимално увеличение на коравината и капацитета. Изчисленията се извършват в условията на намалено seismic displacement demand.

В обобщение на основните резултати в дисертационния труд към точка 4. подчертавам, че докторантът се е справил много успешно и на професионално ниво с формулираните от него цели и задачи. Основните резултати показват, че формулираните цели и задачи са изпълнени.

5. Анализ на дисертационния труд

Голямото предизвикателство на труда се, състои в това, че чрез него се прави стъпка напред към създаване на методика за оценка на уязвимостта на сградите, базирана на

научна основа. Алгоритъмът на тази задача е мултидисциплинарен, защото за оценяване на сеизмичната уязвимост се използват формулировки и цели, дефинирани в различни науки: стоманобетонни конструкции, строителна механика, механика на разрушението, инженерна сеизмология, метод на спектрите на реагиране в съчетание с линейния анализ, метод за директно интегриране чрез анализ на историите във времето, теория на вероятностите, теория на повредите и статичен и динамичен нелинейни анализи. Не трябва да се пропуска и метод на крайните елементи, използван в дисертацията като основна изчислителна технология, имаща своите особености.

В структурно отношение отделните глави следват подредбата от дейности, които е необходимо да се проведат при оценка на уязвимостта на сгради и инженерните съоръжения. Така дейностите по определяне на уязвимостта предопределят развитието на следните глави с цел постигане на основните цели:

Глава 1 Съвременни методи за определяне на сеизмична уязвимост на сгради и съоръжения

Глава 2 Сеизмично реагиране на експериментално изследвана стоманобетонна конструкция

1. Капацитет на едноетажна стоманобетонна стена

1.1. Модели по крайни елементи

1.2. Нелинеен статичен анализ (push-over analysis)

1.3. Нелинеен цикличен анализ („cyclic push over“)

1.4. Нелинеен динамичен анализ

2. Капацитет на многоетажна стоманобетонна смесена конструкция

2.1. Изчислителен модел с крайни елементи

2.2. Изследване на конструкцията чрез нелинеен статичен анализ

2.3. Динамични анализи във времето

Глава 3 Сеизмично реагиране на реални стоманобетонни конструкции

1. Методология за определяне на сеизмичното поведение

2. Сеизмично реагиране на нерегулярна стоманобетонна конструкция

2.1. Три-дименсионален изчислителен модел

2.2. Нелинейни статични анализи

2.3. Определяне на сеизмичното поведение на изследваната нерегулярна стоманобетонна конструкция

3. Сеизмично реагиране на регулярна стоманобетонна конструкция

3.1. Три-дименсионален изчислителен модел

3.2. Нелинейни статични анализи

Глава 4 Уязвимост на конструктивни системи при сеизмични въздействия

1. Определяне на условната вероятност за достигане на повреди в стоманобетонни конструкции-многоетажна пространствена нерегулярна стоманобетонна конструкция.

1.1. Дефиниране на постулираните нива на повреди

1.2. Изчисление на криви на уязвимост (условна вероятност за достигане на дадено „ниво на повреди“)

2. Определяне на дискретни вероятности за достигане на дадено ниво на повреди за многоетажна пространствена нерегулярна стоманобетонна конструкция.

От направения дотук анализ се вижда мултидисциплинарния характер на дисертационния труд и многообразието на използваните методи, изобилстват формулировки на помощни задачи на локално ниво "елемент" или "напречно сечение от елемент" или "зона" в елемент. Направени са и формулировки на глобално ниво конструкция. За този вид задачи се ползват локалните формулировки. Всичко това е направено в труда с необходимата вещина и компетентност, които са неговият ключ към успеха.

Най-общо казано участието на отделните науки се ситуираща в следната последователност: строителна механика и метод на крайните елементи (решение на поредица от линейни и нелинейни проблеми, ориентирани в обстановка на статика или динамика), определяне на капацитивния спектър на конструкцията и прилагане на Capacity Spectrum Method (CSM) с цел изчисляване на Seismic Displacement Demand (SDD) за еквивалентната система с една степен на свобода. Чрез SDD преместванията на модела са вече известни. Следва дефиниране на повредите в материала на елементите (определяне на числово изражение за повредите), определяне на функциите на уязвимост, получаване на резултати за уязвимостта на конкретна сграда и анализ.

По описаната схема се осигурява получаване на повредите в зависимост от водещото преместване (driving displacement). Най-често за водещо преместване се избира преместване на върха на сградата.

От направения анализ на дисертационния труд се вижда, че авторът правилно е формулирал целите на труда си и правилно е избрал методите, с които ги постига. В хода на работата той многократно демонстрира, че много добре познава и владее тези методи и е в състояние правилно да ги използва и да интерпретира резултатите от тяхното прилагане. Коректността и верността на използваните за анализ методи е доказана.

6. Научни и научно-приложни приноси

Рецензентът приема авторската справка за приносите на докторанта и смята, че те са изцяло негово дело. От точии 4. и 5. ясно се вижда, че приносите (научни и научноприложни) възникват и еволюират в процеса на научните изследвания. За по-ясното разграничаване на вида на направените приноси – научни или научноприложни, най-важният текст е маркиран с подчертаване.

1. Направени са изводи относно различните подходи за анализиране на строителни конструкции базирани на метода на крайните елементи. Определено е влиянието на гъстотата на мрежата от крайни елементи върху определянето на повреди в конструкцията. При модел с най-гъста мрежа от крайни елементи МЗС, се наблюдава картина, при която ясно са оформени ивици от смачкан бетон, успоредно на натиснатия диагонал. Този резултат потвърждава важноста на параметъра гъстота на мрежата за адекватното определяне на повредите в конструкцията.
При съгъстяване на мрежата от КЕ трябва да се внимава размерите на елементите да не стават по-малки от дебелината на стената. В противен случай

може да се появят числени проблеми, които изкривяват решението в неправилна посока.

Приносът е окачествен като научноприложен.

2. Въз основа на проведените анализи са направени препоръки за приложимостта на съвременна методология, прилагана в САЩ и Европа за определянето на сеизмичната уязвимост на строителни конструкции, базирана на нелинейни статични процедури и метода на капацитивния спектър. Препоръчва се използването на няколко подхода при моделирането на нелинейната работа на стоманобетона, тъй като се установява съществена разлика при оценката на уязвимостта.

Този принос е определен от рецензента като научноприложен.

3. За пръв път у нас са дефинирани относителните вероятности за достигане на четири постулирани нива на повреди, във вид на криви на уязвимост, чрез нелинейни аналитични процедури базирани на метода на крайните елементи за регулярна и нерегулярна стоманобетонна конструкция, проектирани и построени в Р.България.

Приносът е много ценен с това, че оценката за уязвимост на строителните конструкции се извършва по общ алгоритъм на основата на дефинирането на условните вероятности за достигане на четирите нива на повреди. Построените на тази основа криви на уязвимост за Българските условия са особено ценни и оценявам този принос като научен и научноприложен.

4. Прилагането на методологията позволява определяне на дискретните вероятности за повреди на конструктивните системи. Те могат да се използват като входни данни за определянето и остойностяването на различни загуби и повреди в конструкциите вследствие на земетръсни събития, т.н. модели на загуба на застроената среда. Това би подобрило процеса на вземане на решение от участващите в политиката на предотвратяване и управление на извънредните ситуации в Р. България.

Приносът тук е научноприложен. Определяне на бъдещите щети и загуби при бъдещ земетръсен сценарий е от особена важност за бързото покриване на щетите.

5. Направена е качествена и количествена оценка на влиянието на степента на напречно армиране върху уязвимостта на стоманобетонни конструкции с носещи стени. Установено е, че процента на армиране влияе значително върху капацитета на конструкцията за поемане на срязващи усилия и особено силно (в пъти) за развитието на нееластични деформации (дуктилно поведение). При увеличението на разстоянието между стремената от 10см (при модел М1) на 20см (при модел М4), крайното преместване на системата (дуктилността по премествания) се редуцира близо шест пъти (от 25см при М1 до 8см при модел М4).

Приносът има научноприложна стойност.

6. Направено е сравнение на два подхода за оценка на влиянието на неопределеностите в конструкциите - чрез аналитичното им определяне посредством емпирични формули и чрез табличното им определяне посредством HAZUS [36]. Прави впечатление, че табличните стойности за всички нива на повреди са приблизително близки и независими от капацитета на изследваната конструкция, докато емпирично определените са в явна зависимост от граничния капацитет на конструкцията (дуктилността по премествания). Така, колкото по-големи са деформациите в системата и изчислителният анализ се доближава до крайното гранично състояние - толкова по-големи са стойностите на логаритмичното стандартно отклонение (β), което от своя страна е уместно.

С извършеното тук е постигнат научен и научноприложен принос. С научни средства е разработена методология, която има реално практическо приложение. Включването на научния подход, както и мултидисциплинарния начин на възприемане на проблема е предпоставка за получаване на по-прецизни и по-надеждни оценки на уязвимостта. Тези оценки позволяват да се приложи подход за локално намаляване на сеизмичната уязвимост.

7. Направените изследвания по отношение на влиянието на нерегулярностите в стоманобетонни конструкции доказват изключително неблагоприятното въздействие при големи отслабвания на напречните сечения. Премахване на 50% от напречното сечение на стената за смесена стоманобетонна конструкция състояща се от рамка и стена, води до редуциране на 50% на срязващия капацитет на системата и приблизително 3 пъти по-малки хоризонтални премествания (дуктилност).

Приносът има научноприложен характер.

От направения анализ в точка 6. се вижда, че в труда има достатъчно и стойностни приноси, което е ясен индикатор за това, че кандидатът за научната и образователна степен "доктор" е достигнал ниво на научно познание, което му позволява да формулира и да решава проблеми чрез извършване на научни изследвания, които са важни за инженерната практика.

8. Автореферат и публикации, свързани с темата на дисертационния труд

Авторефератът отразява напълно основните моменти на дисертацията, постигнатите резултати и съдържащите се в тях научни и научноприложни приноси.

Публикациите, свързани с дисертационния труд, отразяват правилно научните и научноприложните приноси в труда.

9. Критични бележки и препоръки

Трудът има напълно завършен характер и в този си вид е готов да намери практическо приложение с предложените в него процедури и алгоритми за оценка на сеизмичната уязвимост на конструкциите. **Оценявам високо извършеното от докторанта, който представя труд, състоящ се от две части: научна част, която е развита на съвременно**

научно и изследователско ниво, и практическа част, показваща и изясняваща как първата част може да се прилага практически. От друга страна настоящата дисертация има ясно изразени две части: образователна част (Глава 1) и изследователска част (Глави 2, 3 и 4), в които се намира изпълнението на заплануваните цели и задачи. Предложената дисертация се причислява към дисертациите на съвременен изследователски ниво, като крачката към практическо приложение е демонстрирана от автора. Дисертацията е напълно съгласувана с изискванията на Европа и на Българския закон, защото съдържа и образователна, и изследователски части.

Нямам забележки и препоръки към автора и дисертацията му, приготвена в настоящия ѝ вид.

Смятам, че тематиката на дисертацията е много важна за страна като България и по тази причина тематиката ще продължи да се развива. Предвид такава предстояща дейност, **си позволявам да направя следните препоръки към бъдещото развитие на методологията за оценка на сеизмичната уязвимост:**

1. Натрупването на невъзвратимите деформации само по себе си предствлява натрупване на повреди, добре би било индексът на повредите да се преформулира и да се изчислява чрез по-общ принцип, например чрез акумулираните невъзвратими деформации.
2. В Capacity Spectrum Method (CSM) капацитивната крива се изчислява с помощта на статичен нелинеен анализ (pushover analysis). Demand – кривата при метода CSM обаче е определена в обстановка на динамика (спектрален сеизмичен анализ). Точката на еластично реагиране (равновесно състояние) се определя като пресечна точка на Demand-кривата и на капацитивната крива. Първата крива е дефинирана чрез динамична формулировка, а втората е дефинирана в статична обстановка. Когато става дума за сгради, това противоречие не е решаващо и при етажност от 6-7 етажа методът CSM е приложим без отрицателни последици от липсата на съгласуваност между двете криви.
3. Уместно би било капацитивната крива да се определя в обстановка на динамичен анализ. Така в кривата се включва влиянието на вътрешното съпротивление, моделирано с висозно съпротивление. Динамичният анализ включва и влиянието на честотния състав на сеизмичното въздействие чрез инерционните сили. И трите изброени фактора липсват при статичния нелинеен анализ. Методът, с който се получава капацитивната крива чрез динамичен анализ, е Incremental Dynamic Analysis (IDA).
4. Методът IDA е по-сложен за приложение и интерпретиране, но той позволява да се отчита влиянието на допълнително вложени устройства за дисипация на енергия, като по този начин се реализира контрол върху сеизмичното поведение на конструкциите.
5. С методът IDA много добре се интерпретира идеята на автора за въздействие върху "локалната уязвимост", характерна за разглежданите от автора сгради с вертикална нерегулярност.

6. Методът IDA е много ефикасен при изследване на влиянието на неопределеностите (uncertainties) върху глобалното динамично поведение. Това влияние се засилва, когато конструкцията образува пластичен механизъм и тангенциалната ѝ коравина се намали чувствително.

Изброените до тук шест точки са само пожелание за продължаване на работата, като се стъпи на вече разработената дисертация, която е един здрав и надежден фундамент. Позволявам се да направя тези препоръки към автора на труда, защото съм убеден, че той има необходимите качества и квалификация и име потенциал да продължи възходящото си движение в науката.

10. Заключение

Дисертационният труд съдържа необходимите научни и научно-приложни приноси, притежава необходимите качества и отговаря на критериите и изискванията на Закона за развитието на академичния състав в Република България (ЗРАСРБ), Правилника за прилагане на ЗРАСРБ и Правилника за прилагането му в НИГГГ-БАН.

Имайки предвид гореизложеното заявявам, че ще гласувам положително и убедено предлагам на почитаемите членове на научното жури по защита на дисертационния труд "Уязвимост на конструктивни системи за сеизмични въздействия", да присъдят образователната и научна степен "Доктор" на автора инж. Александър Илиев Илиев по научна специалност "Механика на деформируемост твърдо тяло".

10.04.2018

Член на журито:.....
/проф. д-р инж. Здравко Бонев/

