

СПРАВКА

за научните и научно-приложни приноси на доц. д-р инж. Светослав Манолов Симеонов

Представените научно-изследователски и научно-приложни трудове условно могат да бъдат разделени в следните групи:

I група “Динамичната устойчивост на водонаситена земна среда”.

Към тази група спадат трудове под №№ 1, 4, 17, 41, 47, 62, 63, 64 и 65.

II група “Натурни експериментални изследвания на сгради, инженерни съоръжения, земна среда и взаимотействието им”.

Към тази група спадат трудове под №№ 2, 3, 9, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 28, 30, 48, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60 и 61.

III група “Сеизмичен мониторинг. Анализ на последствията от минали земетресения”.

Към тази група спадат трудове под №№ 5, 6, 14, 21, 25, 27, 31, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 45, 66, 67, 68 и 69.

IV група “Норматирни документи”.

Към тази група спадат трудове под №№ 24, 26, 29, 34, 42, 71, 72, 73, 74 и 75.

V група “Общи въпроси на противоземетръсното инженерство”.

Към тази група спадат трудове под №№ 7, 8, 19, 23, 29, 32, 40, 43 и 46.

Научните и научно-приложни приноси в трудовете от I група “Динамичната устойчивост на водонаситена земна среда” са следните:

1. Разработен е двумерен модел за изследване сеизмичното реагиране и динамичната устойчивост на хетерогенна земна среда, включваща водонаситени несвързани литоложки разновидности [47].
2. Разработени са двумерни модели за изследване: реагирането на динамични въздействия на системата “земна среда – конструкция” с отчитане на специфичните нелинейни процеси във водонаситените несвързани литоложки разновидности,

предизвикани от генерирането на допълнителен порен натиск; динамичната устойчивост на водонаситени несвързани почви с отчитане влиянието на конструкцията [47].

Развити са няколко модела в зависимост от типа на конструкцията и основната цел на решаваната задача – изследване динамичната устойчивост на водонаситените почви или определяне параметри на динамичното реагиране на конструкцията.

2.1. Първият модел описва динамичното поведение на системата “земна среда – конструкция” в случаите, когато влиянието на втората подсистема (конструкцията) върху формирането на общите динамични параметри на системата е относително малко. Разглеждат се съоръжения със следните характерни особености:

- малък размер във вертикално направление в сравнение с дълбочината, на която са разположени водонаситените несвързани литоложки разновидности или границата на модела на земната среда;
- значителна коравина, предопределяща пренебрежими деформации, а следователно и преобладаващото влияние върху реагирането на земната среда чрез масата и нейното разпределение;
- малка дълбочина на фундиране в сравнение с границата на модела на земната среда.

Анализирани са параметрите на системата, влияещи пряко върху динамичната устойчивост и е възприето, че конструкциите въздействат върху съпротивителната способност срещу втечняване чрез общото си тегло, конфигурацията и динамичните параметри.

За описания тип конструкция е приложен подход за моделиране, включващ:

- определяне на общата маса;
- дефиниране на параметри, характеризиращи разпределението на общата маса в хоризонтална равнина;
- разпределение на общата маса във възлите на мрежата от крайни елементи, моделираща земната повърхност.

С модел от този тип могат да бъдат решени следните две основни задачи:

- изследване съпротивителната способност срещу втечняване на водонаситени несвързани почви с отчитане влиянието на разположените над тях конструкции от описания вид;
- определяне параметрите на насипи от тежки материали, полагани върху земната повърхност с цел увеличаване динамичната устойчивост на водонаситени несвързани почви.

2.2. Втората група модели третира конструкции, динамичните свойства на които влияят съществено при формирането на общите динамични параметри на системата, а следователно и върху динамичното реагиране. Характерното за тях е:

- геометрични размери, съизмерими с размерите на пространството от земната среда, в което са разположени водонаситените несвързани почви или с размерите на модела на земната среда;
- деформативност, изключваща възможността за моделирането като твърдо тяло, разположено върху земната повърхност;
- дълбочина на фундиране от порядъка на размерите на модела на земната среда.

Разработени са два типа модели в зависимост от основната цел на решаваната задача, а именно:

2.2.1. Модел, приложим за изследване динамичната устойчивост на водонаситени несвързани почви, разположени в зоната на активното силово въздействие на конструкцията.

Прието е, че функциите на тангенциалните напрежения, предизвикани от сеизмичното въздействие в изследваните точки от водонаситената среда са определени с наличните, наложени се в практиката програмни продукти. Въз основа на предпоставката за съвместимост между тангенциалните напрежения τ_{xy} във вертикалната равнина и модула на ъгловата деформация G_{xy} с еднодименсионалните тангенциални напрежения τ и еднодименсионалния G модул е дадена процедура за изследване динамичната устойчивост, включваща следните основни етапи:

- определяне функцията $\tau/\sigma'_{v0} = f(N)$;
- трансформиране на $\tau(t)$ в еквивалентен брой цикли с константна амплитуда (N_e);
- сравняване на N_e с броя цикли, необходими за настъпване на втечняването (N_I);
- определяне на размера на допълнителния порен натиск, генериран по време на земетресението;
- оценка на коефициента на сигурност срещу загуба на динамична устойчивост.

2.2.2. Модели, приложими за изследване реагирането на конструкции на динамични въздействия с отчитане на специфичната нелинейност, характерна за водонаситените несвързани литоложки разновидности и дължаща се на генерирането на допълнителен порен натиск.

2.2.2.1. Модел, основан на итерационния еквивалентно линеен метод, при който основните характеристики на водонаситените несвързани почви се променят в зависимост от размера на допълнително генерирания порен натиск.

Пряката зависимост между ъгловите деформации и размера на генерирания допълнителен порен натиск е основание за параметър, характеризиращ измененията на свойствата на земната среда между две последователни итерации, да се използва ефективния порен натиск.

Разработени са няколко подхода за определяне на ефективния порен натиск на база на предпоставката, че коефициентът на сигурност срещу втечняване е равен на отношението между началното ефективно напрежение в разглежданата точка от земната среда и размера на допълнително генерирания от динамичното въздействие порен натиск в същата точка, независимо от това чрез кои параметри на въздействието и водонаситените почви е определен.

Дадени са зависимостите, определящи изменението на основните параметри на земната среда (модул на ъгловата деформация и якост на срязване) във функция от размера на генерирания допълнителен натиск.

Моделът дава възможност да се отчете модифициращия ефект на специфичната за водонаситените несвързани почви нелинейност върху сеизмичното движение, следователно и върху параметрите на сеизмичната реакция на конструкцията.

2.2.2.2. Модел, при който процесите на генериране на допълнителен порен натиск и произтичащата от това промяна на основните характеристики на водонаситените литоложки разновидности са включени като елементи при общото описание на системата “земна среда – конструкция”.

За определяне размера на допълнителния порен натиск, генериран във всяка стъпка на времето, е използван модела на Ishihara. Дадени са зависимостите при дискретен и аналитичен вид на функцията на тангенциалните напрежения.

Използвани са функционалните зависимости между основните параметри на земната среда и текущите ефективни напрежения, залежали и в еквивалентно-линейния модел.

3. Направен е анализ на нормативните изисквания и практиката в България по отношение на изследванията върху динамичната устойчивост на водонаситена земна среда [4, 17, 41].
4. Обоснована е необходимостта от актуализиране на Нормите за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони от 1987 г. с включване на раздел, регламентиращ изследванията по анализ на съпротивителната способност срещу втечняване на водонаситени несвързани литоложки разновидности [17].
5. На базата на значителен брой числени експерименти по определяне на съпротивителната способност срещу втечняване (LPS) на водонаситени несвързани литоложки разновидности (съответно коефициент на сигурност срещу втечняване FS) са направени следните заключения:
 - 5.1. Резултатите за LPS, получени чрез обобщени критерии, обикновено варират в широки граници, понякога са противоречиви, дори несъвместими [1, 17, 62, 63, 64, 65].
 - 5.2. Препоръчва се при изследване на строителни площадки за отговорни сгради и съоръжения (категория А и Б според нормите за строителство в земетръсни райони) обобщените критерии да се използват само за предварителни ориентировъчни оценки [1, 17].
 - 5.3. За сгради и съоръжения от категория В обобщените критерии могат да бъдат използвани, но окончателните оценки трябва да се базират на съвместими резултати по минимум два критерия [1, 17].
 - 5.4. За анализ на площадки за сгради и съоръжения от категория Б да се използват методики, основани на обобщени критерии и сравняване на напреженията в земната среда от земетръсното въздействие с тези, предизвикващи втечняване в лабораторни условия. Обобщените критерии могат да служат само за предварителни анализи и планиране на общия обем на изследванията [17].
 - 5.5. Оценката на опасността от втечняване на водонаситени пясъци на площадки за сгради и съоръжения от категория А да се базира на комплексни изследвания с използване на методики от групите за категория Б (според предходната точка) и методики, основани на изследвания с механоматематични модели по метода на ефективните напрежения с приоритет на последните [17].

- 5.6. Използването на цялата дължина на времевите функции на тангенциалните напрежения $\tau(t)$ (ускоренията), определени по метода на пълните напрежения, за изчисляване на еквивалентния брой цикли (N_e) може да доведе до неприемлив хазарт при оценката на потенциала срещу втечняване [1].
- 5.7. При използване на $\tau(t)$, получена по метода на пълните напрежения, за определяне на N_e се препоръчва:
- 5.7.1. В случай на сеизмични въздействия (сигнали) с добре изразени фази (начална, силна и затихваща) да се използва частта от $\tau(t)$ от началото до момента на реализиране на максималното ускорение [1].
- 5.7.2. При сеизмични сигнали без ясно изразена начална фаза (записани в регистрационни пунктове в близост до епицентъра на земетресението) е необходимо да се отчете и интервала с продължителност 3 s след реализиране на максималното ускорение [1].
- 5.8. Честотният състав на сеизмичните сигнали не може да бъде пренебрегнат при анализа на съпротивителната способност срещу втечняване [1].
- 5.9. За прецизно изследване на LPS за площадки на отговорни сгради и съоръжения (класове А и Б) са необходими детайлни оценки на честотния състав на сеизмичните сигнали [1].
6. Проведени са комплексни изследвания на съпротивителната способност срещу втечняване на водонаситените пясъци на различни площадки в района на АЕЦ “Козлодуй”, а именно: каналите за допълнително техническо водоснабдяване на блок 5 и блок 6; брызгалните басейни на блок 1 и блок 2; помпена станция № 1; сградата на хранилището за отработено гориво. Приложени са три качествено различни подхода на анализ: обобщени критерии, свързващи интегрални характеристики на сеизмичните въздействия с основни физикомеханични характеристики на водонаситените пясъци; сравняване на напрегнатото състояние на водонаситената среда, предизвикано от проектните сеизмични въздействия, с напреженията, водещи до втечняване при лабораторни условия; изследване на сеизмичното реагиране на водонаситената земна среда с модели, основани на метода на ефективните напрежения. Направени са заключения относно потенциала срещу втечняване, имащи пряко отношение към безопасната експлоатация на АЕЦ “Козлодуй” [62, 63, 64, 65].

Научните и научно-приложни приноси в трудовете от II група “Натурни експериментални изследвания на сгради, инженерни съоръжения, земна среда и взаимотействието им” са следните:

1. Разработена е методика за експериментално определяне на динамични параметри на строителни конструкции и съоръжения [48]:
- 1.1. Разработен е оригинален програмен пакет PEDА (package for Processing of Experimental Data and Analysis) за компютърна обработка и анализ на експериментални данни, съдържащ обособени модули за осъществяване на следните операции: задаване на входна информация; корекция на нулевите линии на регистрациите; корекция на поляритета и затихването; удължаване с нулеви

стойности; скалиране с мащабен коефициент; обработка с прозорци в времевата област; право преобразуване на Фурие; нискочестотно, високочестотно и лентово филтриране в честотната област; заглаждане на спектри; абсолютно калибриране с възстановяващи функции в честотната област; обратно преобразуване на Фурие; бързо преобразуване на Фурие за определяне на амплитудни и фазови характеристики; изчисляване на функции на усилването (затихването); представяне на крайните резултати в структурирани изходни файлове [48].

- 1.2. Развити са теоретичните постановки и са разгледани особеностите при провеждане на експериментални изследвания чрез възбуждане на трептения от различни източници: микросеизмичен шум; взривни въздействия; импулсни въздействия от преминаване на тежки транспортни средства през препятствия върху земната повърхност; отклоняване от равновесното положение; инерционни сили [48].
- 1.3. Развити са процедури за цифрова обработка на експериментални данни. Разгледани са ефектите “наслагване на честоти” и “протичане на спектри” и начините за ограничаването им [48].
2. Чрез натурни динамични експериментални изследвания с регистриране на вибрации, предизвикани от микросеизмичен шум и преминаване на тежки транспортни средства през препятствия върху земната повърхност е определен диапазона на изменение на основния период на свободни трептения на характерните за малки населени места едноетажни еднофамилни сгради (8 Hz – 11 Hz). Възможно е при някои нестандартни изпълнения (паянтови конструкции, дървени подови конструкции) собствените честоти да са извън този диапазон в посока на по-ниските честоти. Резултатите могат да се използват за избягване на резонансни ефекти при провеждане на дейности, предизвикващи вибрации във и в близост до населени места [59].
3. Чрез натурни динамични експериментални изследвания с регистриране на вибрации, предизвикани от микросеизмичен шум и преминаване на тежки транспортни средства през препятствия върху земната повърхност е определен диапазона на изменение на основния период на свободни трептения на характерните за малки населени места двуетажни еднофамилни сгради (5 Hz – 7 Hz). Извън този диапазон, в посока към по-ниските честоти, могат да попаднат динамичните характеристики на сгради без стоманобетонни колони и пояси. Резултатите могат да се използват за избягване на резонансни ефекти при провеждане на дейности, предизвикващи вибрации във и в близост до населени места [59].
4. Чрез натурни динамични експериментални изследвания с регистриране на вибрации, предизвикани от микросеизмичен шум и преминаване на тежки транспортни средства през препятствия върху земната повърхност е определен диапазона на изменение на основния период на свободни трептения на масовите стопански сгради от типа на еднокорабните халета (4 Hz – 5 Hz). Резултатите могат да се използват за избягване на резонансни ефекти при провеждане на дейности, предизвикващи вибрации във и в близост до населени места [59].
5. Проведени са сеизмични изследвания на площадката за строителство на пътнически терминал “Летище София”, основните резултати от които са следните [28]:

5.1. По метода на микросейзмичния каротаж (МСК) и метода на пречупените вълни (МПВ) са определени скоростите на разпространение на надлъжните (V_p) и напречните (V_s) сеизмични вълни.

5.2. Според отношенията V_p/V_s и коефициентите на Поасон геоложките материали до дълбочина 15 m са разпределени в три групи: слабо овлажнени - V_p/V_s около 2.0 и коефициент на Поасон от 0.30 до 0.37; овлажнени - V_p/V_s до 4.0 и коефициент на Поасон около 0.46; под нивото на подземните води - V_p/V_s от около 5.0 до 10.0 и коефициент на Поасон над 0.48;

5.3. Определено е нивото на подземните води.

5.4. Доказано е, че съвместното използване на МСК и МПВ води до повишаване на точността и достоверността на резултатите.

Определените по експериментален път характеристики на площадката са от съществено значение за надеждното физикоматематическо моделиране и осигуряване на сградите и инженерните съоръжения за сеизмични въздействия.

6. Проведени са сеизмични изследвания на площадката за строителство на 120-метрова административна сграда в кв. Лозенец, София, основните резултати от които са следните [22]:

6.1. По метода МСК са определени скоростите на разпространение на надлъжните (V_p) и напречните (V_{sh} и V_{sv}) сеизмични вълни. Изчислени са отношенията V_p/V_s и коефициентите на Поасон до дълбочина 42 m.

6.2. Според отношенията V_p/V_s и коефициентите на Поасон геоложките материали до дълбочина 42 m са разпределени в 3 групи: слабо овлажнени (до 3 m) – V_p/V_s около 1.71 и коефициент на Поасон около 0.19; овлажнени – V_p/V_s от 2.72 до 4.79 и коефициент на Поасон от 0.392 до 0.446; под нивото на подземните води – V_p/V_s от около 4.52 до 8.10 и коефициент на Поасон от 0.462 до 0.488.

6.3. Определено е нивото на подземните води (скокообразно изменение на V_p , без промяна на V_s).

6.4. От V_p и V_{sh} са определени еластичните константи: коефициент на Поасон (ν); коефициенти на Ламе (λ и μ); модулът на Юнг (E); коефициент на обемно свиване (κ).

Получените експериментални резултати са използвани при сеизмичното микрорайониране на изследваната строителна площадка за: анализ на модифициращия ефект на локалната геология; дефиниране на характеристиките на сеизмичното въздействие; предварителна оценка на поведението на строителните конструкции в конкретната сеизмогеоложка среда.

7. Чрез натурни експерименти е изследван комбинирания вибрационен ефект от подвижния състав на метрополитен "София" и автомобилен поток. Анализирани са спектралните и временните характеристики на вибрациите. Определено е минималното разстояние от оста на тунела, на което вибрационните въздействия са

под нивото на санитарния минимум, определен от действащите нормативни документи [13].

8. Проведени са натурни динамични изследвания на 1000 МВ-ия V-ти блок на АЕЦ “Козлодуй” за определяне на динамичните му характеристики. Анализирани са трептенията, предизвикани от вибрационни машини. Получени са следните основни експериментални резултати: честота, форма и коефициент на затихване на трептения с преобладаващи компоненти във вертикална равнина, успоредна на направление N-S; честота, форма и коефициент на затихване на трептения с преобладаващи компоненти във вертикална равнина, успоредна на направление E-W; честота, форма и коефициент на затихване на усукващи трептения. Даден е алгоритъм за коригиране на изчислителните механоматематични модели на конструкцията с използване на експерименталните резултати. Разработката е приложена за потвърждаване на аналитичните изчисления в рамките на програмата за намаляване на сеизмичния риск за АЕЦ “Козлодуй” [12, 55].
9. Проведени са комплексни изследвания на трептенията на реакторното отделение на 1000 МВ-ия V-ти блок на АЕЦ “Козлодуй”, предизвикани от взривни въздействия. Получени са следните основни резултати: потвърдена е честотата (2.18 Hz) на трептене, отговаряща на форма, при която точките от конструкцията се движат във вертикална равнина, успоредна на направление E-W; определени са спектри на усилване на трептенията на различни нива от конструкцията спрямо трептенето на земната основа; определени са спектри на усилване на трептенията на различни нива от конструкцията спрямо трептенето на фундаментната плоча [55].
10. Реализирани са уникални за нашата страна натурни експерименти с регистрация и анализ на микротрептенията (реакциите на микросеизмичен шум) на монолитни стоманобетонени строителни конструкции, типични представители на новото жилищно строителство, с оглед предстоящото им оборудване със стационарни системи за непрекъснат сеизмичен мониторинг. Използвана е високочувствителна сеизмична апаратура с широк спектрален диапазон от най-ново поколение. Моделирането и динамичната идентификация са осъществени чрез две независими методики – във временната и честотната област, което гарантира надеждността и достоверността на крайните резултати. Приложеният метод във временната област е нововъведение в съвременната приложна математика и успешно съвместява моделирането на физическите и стохастическите компоненти на изследваното явление. Най-съществените резултати от проведените натурни експерименти са следните: идентифициране са първите три собствени честоти на изследваните конструкции; определени са първите три собствени форми; установено е, че и трите форми имат трансляционно-усуквателен характер; определени са коефициентите на затихване, съответстващи на първите три собствени форми [20].
11. Осъществена е динамична идентификация на скелетни стоманобетонени жилищни сгради в района на гр. София. Използвани са две независими методики: обработка и анализ на данните за реакциите на конструкциите на микросеизмичен шум (амплитуди на ускоренията по-малки от $2 \cdot 10^{-1} \text{ cm/s}^2$ и PSD от порядъка на $1 \cdot 10^{-11} \text{ g}^2/\text{Hz}$; обработка и анализ на реагирането на конструкциите на действителни земетресения, регистрирани от системи за непрекъснат сеизмичен мониторинг. Земетресенията са с магнитуд $3 < M < 4$ и дълбочина на хипоцентъра около 10 km. Епицентралното разстояние е в границите на 5 km. Амплитудите на ускоренията са по-малки от $5 \cdot 10^{-1} \text{ cm/s}^2$, а PSD е от порядъка на $1 \cdot 10^{-6} \text{ g}^2/\text{Hz}$. Идентификацията е концентрирана върху определяне на

първите три собствени честоти. Разликите в резултатите, получени по двете методики е в границите на 6%. Получените комплексни резултати са основа за бъдещи сеизмични анализи на подобен тип конструкции, подобряване на механоматематичното моделиране и качеството на проектирането, а следователно и намаляване на сеизмичния риск [3].

12. Проведени са натурни експериментални изследвания на сглобяеми стоманобетонни сгради. Динамичните характеристики са извлечени чрез обработка и анализ на регистрираните микротрептения (реакциите на микросеизмичен шум). Моделирането и динамичната идентификация са осъществени по два независими метода – във временната и честотната област. Успешно са идентифицирани собствените честоти в диапазона от 0 Hz до 10 Hz. Доброто съвпадение на резултатите, получени във временната и честотната области, както и формирането на ясна тенденция в стабилизационните диаграми при изследване във временната област, показват, че методите са надеждни за сгради от типа на изследваните - едноетажни сглобяеми стоманобетонни сгради със стоманени укрепващи връзки. Установено е добро съвпадение между собствените форми, получени по двата метода, което е допълнително потвърждение на достоверността на анализа. Резултатите за затихването също са в добро съвпадение, особено за първата собствена честота. Получените стойности, около 3 %, са по-малки от традиционните приемани 5 % при аналитично изследване на стоманобетонни конструкции. Резултатите са използвани за калибриране и прецизиране на изчислителните механоматематични модели на подобни сгради при детайлното им изследване на земетръсни въздействия [15].
13. Доказано е, че методът за провеждане на натурни експериментални изследвания чрез анализ на микротрептения (реакциите на микросеизмичен шум) е удобен, лесно осъществим и икономически по-изгоден в сравнение с традиционните използвани методи, при които еластичните трептения на конструкциите се предизвикват от вибрационни машини, различни по произход инерционни сили, импулсно натоварване, взривни въздействия и др. Използването му предоставя широки възможности за усъвършенстване на изчислителните механоматематични модели на различни типове сгради и инженерни съоръжения [2, 15, 20].
14. Проведени са натурни експериментални изследвания за определяне на динамичните характеристики на бетонна гравитачна язовирна стена “Чаира” при условията на празно водохранилище. Трептенията на конструкцията са възбуждани с микровзривове. Определени са следните основни динамични характеристики: поредица от честоти на свободни трептения на конструкцията; някои от формите на свободни трептения; коефициенти на затихване; спектри на усилване на трептенията на различни нива от конструкцията спрямо трептенията на основата ѝ; спектри на усилване на трептенията на различни нива от конструкцията спрямо трептенията на земната среда. Направени са сравнения на експерименталните и числени изследвания. Резултатите са използвани за подобряване на механоматематичното моделиране при анализи на сеизмичната устойчивост. Изследването е част от програмата на Световната банка за оценка на сеизмичния риск за съоръжението [11].
15. Проведени са натурни експериментални изследвания за определяне на динамичните характеристики на бетонна гравитачна язовирна стена “Чаира” при условията на максимално водно ниво. Трептенията на конструкцията са възбуждани с микровзривове. Определени са следните основни динамични характеристики: поредица от честоти на свободни трептения на конструкцията; някои от формите на

свободни трептения; коефициенти на затихване; спектри на усилване на трептенията на различни нива от конструкцията спрямо трептенията на основата ѝ; спектри на усилване на трептенията на различни нива от конструкцията спрямо трептенията на земната среда. Резултатите са използвани за подобряване на механоматематичното моделиране при анализи на сеизмичната устойчивост. Изследването е част от програмата на Световната банка за оценка на сеизмичния риск за съоръжението [52].

16. Съвместният анализ на резултатите от натурните динамични експерименти на бетонна гравитачна стена “Чаира” при условията на празно водохранилище и максимално водно ниво дават възможност за моделиране на взаимодействиено “флуид – конструкция” [11, 52].
17. Проведени са натурни експериментални изследвания за определяне на динамичните характеристики на каменнонаситна язовирна стена “Белмекен”. Трептенията на конструкцията са възбуждани с микровзривове. Определени са следните основни динамични характеристики: поредица от честоти на свободни трептения; някои от формите на свободни трептения; коефициенти на затихване; спектри на усилване на трептенията на различни нива от конструкцията спрямо трептенията на земната среда. Направени са сравнения на експерименталните и числени изследвания. Резултатите са използвани за подобряване на механоматематичното моделиране при анализи на сеизмичната устойчивост. Изследването е част от програмата на Световната банка за оценка на сеизмичния риск за съоръжението [53].
18. Проведени са натурни експериментални изследвания за определяне на динамичните характеристики на бетонна дъгова язовирна стена “Кърджали”. Регистрирани са трептенията на конструкцията, предизвикани от микросеизмичен шум. Определени са следните основни динамични характеристики: поредица от честоти на свободни трептения; някои от формите на свободни трептения; коефициенти на затихване; спектри на усилване на трептенията на различни нива от конструкцията спрямо трептенията на основата ѝ. Направени са сравнения на експерименталните и числени изследвания. Резултатите са използвани за подобряване на механоматематичното моделиране при анализи на сеизмичната устойчивост [54].
19. Проведени са натурни експериментални изследвания за определяне на динамичните характеристики на бетонна дъгова язовирна стена “Цанков камък” при условията на празно водохранилище. Регистрирани са трептенията на конструкцията, предизвикани от микросеизмичен шум. Определени са следните основни динамични характеристики: поредица от честоти на свободни трептения; някои от формите на свободни трептения; коефициенти на затихване; спектри на усилване на трептенията на различни нива от конструкцията спрямо трептенията на основата ѝ [49].
20. Проведени са натурни експериментални изследвания за определяне на динамичните характеристики на бетонна дъгова язовирна стена “Цанков камък” при условията на средно водно ниво. Регистрирани са трептенията на конструкцията, предизвикани от микросеизмичен шум. Определени са следните основни динамични характеристики: поредица от честоти на свободни трептения; някои от формите на свободни трептения; коефициенти на затихване; спектри на усилване на трептенията на различни нива от конструкцията спрямо трептенията на основата ѝ [50].
21. Проведени са натурни експериментални изследвания за определяне на динамичните характеристики на бетонна дъгова язовирна стена “Цанков камък” при условията на

максимално водно ниво. Определени са следните основни динамични характеристики: поредица от честоти на свободни трептения; някои от формите на свободни трептения; коефициенти на затихване; спектри на усилване на трептенията на различни нива от конструкцията спрямо трептенията на основата ѝ [51].

22. Съвместният анализ на резултатите от натурните динамични експерименти на бетонна дъгова язовирна стена “Цанков камък” при условията на празно водохранилище, средно и максимално водно ниво дават възможност за моделиране на взаимодействието “флуид – конструкция” [49, 50, 51].
23. Проведен е комплексен анализ на рисковете за почвените слоеве, автомобилните пътища и строителните конструкции при провеждане на сеизмични проучвания [30].
24. Проведени са натурни експерименти за изучаване на въздействията от сеизмични вибратори върху строителни конструкции, най-съществените резултати от които са следните [16]:
 - 24.1. Изследвано е изменението на максималните стойности на трите компоненти на скоростта на трептенията на частиците от земната среда при едновременно синхронно действие на два, три и четири вибратора, в сравнение с максималните стойности при работа на един вибратор.
 - 24.2. Определени са функциите “максимална скорост на частиците от земната среда – разстояние до източника на вибрации” за трите компонента на въздействието при работа на един или синхронно действие на два, три и четири вибратора.
 - 24.3. Разработени са графики за определяне на минималните допустими разстояния между вибрационните машини и околното застрояване, така че ефектите от вибрационното въздействие върху конструкциите да не надвишават тези от предварително избрана максимално допустима сеизмична степен.
 - 24.4. Четвърта сеизмична степен се препоръчва за максимално допустима при нормални обстоятелства.
 - 24.5. При условието на т. 24.4, минималните допустими разстояния до околното застрояване при работа на един или синхронно действие на два, три или четири вибратора са съответно 7.5 m, 12.4 m, 15.7 m и 17.5 m.
 - 24.6. При провеждане на сеизмични проучвания в близост до сгради и съоръжения категория “А”, съгласно Нормите за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони, се препоръчва разстоянията съгласно т. 24.5 да се увеличат с 50%.
25. Определени са динамичните характеристики (основен период на свободни трептения и честотни спектри на усилване на трите компоненти на трептенията на конструкцията на кота 1157 m спрямо трептенията на земната основа (кота 1139 m)) на Централната манастирска сграда на Рилската Света Обител чрез анализ и сравнение на спектрално-временните функции на регистрации на действителни сеизмични събития. Използвани са записи на земетресенията от 03.07.1998 г. (магнитуд $M=3.7$ и географски координати на епицентъра $\varphi=41.09^\circ$ и $\lambda=23.19^\circ$) и от 10.09.1998 г. ($M=3.1$, $\varphi=41.75^\circ$ и $\lambda=23.60^\circ$) на свободна повърхност (кота 1139 m) и в пункт от конструкцията на кота

1157 т. Регистрациите са осъществени чрез системата за непрекъснат сеизмичен мониторинг (цифрови акселерографи GSR-12 на GeoSys) [18].

26. Проведени са натурни експериментални изследвания за оценка на изчислителните механоматематични модели на 440 МВ-овите първи и втори енергоблокове на АЕЦ “Козлодуй”. Изследвани са основната носеща конструкция, фундаментите на турбината и деаератора и взаимодействието им. Регистрирани са трептения, предизвикани от: микровзривове; инерционни сили от мостови кранове; отклоняване от равновесното положение. Определени са: някои от собствените честоти на конструкциите; спектри на усилване на трептенията за различни нива спрямо трептенията на основите на съоръженията; спектри на усилване на трептенията за различни нива спрямо трептенето на земната повърхност. Сравнени и анализирани са експерименталните и числени резултати при моделиране със ставни и кораво закрепени ригели. Направени са оценки и препоръки за различните изчислителни модели [56].
27. Проведени са натурни експерименти за определяне на основните динамични характеристики (периоди и форми на свободни трептения, усилващи функции и коефициенти на затихване) на сградата и съоръженията на ядрения изследователски реактор ИРТ-2000, София, за оценка на механоматематичните модели, използвани за изчисляване на праговете за включване на системите за сеизмична защита [57].
28. Проведени са натурни експериментални изследвания на разпространението на вибрации от подвижен състав в системата “земна среда – подземно линейно съоръжение”. За първи път по експериментален път е заснета амплитудно-честотната характеристика на този тип система. Определен е диапазона на преобладаващите честоти на въздействията от подвижен състав [58].
29. Проведени са натурни експерименти за определяне на основните динамични характеристики (периоди и форми на свободни трептения, усилващи функции и коефициенти на затихване) на паметници на културата (сградите на Българска народна банка в Пловдив и Варна). Резултатите са използвани за оценка на механоматематичното моделиране при анализ на сеизмичния риск [60, 61].

Научните и научно-приложни приноси в трудовете от III група “Сеизмичен мониторинг. Анализ на последствията от минали земетресения” са следните:

1. Разработен е проект за възстановяване и модернизация на Националната система за регистрация, анализ и оценка на силни земни движения (НС-СЗД), съдържащ следните основни модули: обосновка; информация за НС-СЗД; цел и основни етапи; концепция за диспозиция на апаратурата; програма за инструментiranje на сгради и инженерни съоръжения; основни характеристики на системата; основни елементи; конфигуриране на системата; проектиране на НС-СЗД; изграждане на НС-СЗД; икономическа обосновка [66].
2. Реализиран е проект за възстановяване и модернизация на Националната система за регистрация, анализ и оценка на силни земни движения. Проучен е световният опит и съвременните възможности за оборудване на системата. Разработени са критерии за

избор на доставчик. Реализирана е концепцията за диспозиция на апаратурата. Оборудван е център за съхранение и обработка на данни [14, 31, 33, 37, 39, 67].

3. Разработени са системи за непрекъснат сеизмичен мониторинг на паметници на културата (Рилската Света Обител, Скални църкви – Иваново, Русенско) и бетонна гравитачна язовирна стена “Искър”.
4. Разработена е методика за проектиране на автоматични системи за сеизмична защита на сгради, инженерни съоръжения и инфраструктура, включваща: комплексни сеизмологични и сеизмомеханични изследвания за определяне на очакваните земетръсни въздействия върху елементите на инструментирания обект; натурно експериментално изследване на инструментирания обект за верификация на изчислителните механоматематични модели; числени анализи на сеизмичното реагиране на системата “земна среда – конструкция – оборудване”; определяне на праговете за задействане на системата за сеизмична защита; подбор на подходящ апаратурен комплекс [38].
5. Разработен е каталог на земетресенията, регистрирани от НС-СЗД на свободна земна повърхност, в сгради и инженерни съоръжения на територията на България след 2007 г., представени в систематизиран вид и формат, съобразен с нуждите на противоземетръсното инженерство. Събитията са определени с дата и час на реализация, координати на епицентъра, дълбочината на огнището, магнитуд по Рихтер и наблюдавана интензивност (MSK/EMS). Съхраняват се масиви от данни със сеизмични параметри на оригиналните записи (трикомпонентни акселерограми) и масив от цифровани временни и честотни функции, получени след обработка и анализ на регистрациите. Поддържа се интегрирана банка данни, съдържаща комплекс от представителни характеристики, дефиниращи спецификата на сеизмичното въздействие в регистрационните пунктове.
6. Разработен е каталог на земетресенията, регистрирани от системите за сеизмичен мониторинг на Рилската Света Обител и Скалните църкви в с. Иваново, обл. Русе в периодите 1998-2002 и 2006-2007 г. Анализирани са регистрациите в 40 пункта (трикомпонентни акселерограми) на 21 земетресения. След предварителна обработка (инструментални корекции, дигитализиране, филтриране на високо и нискочестотни шумове и др.) са изчислени представителни 3-D функции във временната област (акселерограми, велосиграми и сеизмограми) и честотната област (спектри на Фурие, спектри на реагиране за ускорението, скоростта и преместването и спектри на динамичното усилване) [69].
7. От сеизмични наблюдения на територията на България и обработката и анализа на записите от системата за сеизмичен мониторинг на Рилската Света Обител за периода 1998 – 2002 г. и 2006 -2007 г. е определена обобщена спектрална характеристика ($\beta(T)$) на земетръсните въздействия за района на Рилски манастир. Направени са препоръки за използването ѝ при извършване на преустройства, реконструкции, усилване или други конструктивни намеси в сградите и съоръженията на обекта – паметник на културата, както и при мероприятия по укрепване и стабилизиране на земната основа и скални масиви в опасна близост [69].
8. От сеизмични наблюдения на територията на България и обработката и анализа на записите от системата за сеизмичен мониторинг на Скални църкви в с. Иваново, обл. Русе за периода 1998 – 2002 г. и 2006 -2007 г. е определена обобщена спектрална

характеристика ($\beta(T)$) на земетръсните въздействия за района скалните църкви. Направени са препоръки за използването ѝ при провеждане на мероприятия по укрепване и стабилизиране на скалния масив [69].

9. Разработен е каталог на земетресенията, регистрирани от системата за сеизмичен мониторинг на бетонна гравитачна язовирна стена “Искър”. Анализирани са трикомпонентните акселерограми на 14 земетресения. Събитията са характеризирани с дата и час на реализация, магнитуд по Рихтер, координати на епицентъра, дълбочина на огнището и идентификационен код. След предварителна обработка (инструментални корекции, дигитализиране, филтриране на високо и нисочестотни шумове и др.) са изчислени представителни 3-D функции във временната област (акселерограми, велосиграми и сеизмограми) и честотната област (спектри на Фурие, спектри на реагиране за ускорението, скоростта и преместването) [70].
10. Изследвани са характеристиките на земетресението от 20.02.2006 г. ($M_d=4.5$) в района на гр. Кърджали и последвалата афтершокова серия (осем събития). Обработени и анализирани са регистрациите от станциите в Кърджали и Димитровград. Определени са максималните стойности на ускорението, скоростта и преместването и спектрални характеристики (PSD и FFT). От коригираните функции на скоростта, ускорението и преместването са изчислени: спектри на реагиране за абсолютното ускорение (SA), релативната скорост (SV) и релативното преместване (SD); амплитудни спектри на Фурие; триразделни спектри на реагиране. Изследвано е разпределението на сеизмичната енергия в честотната област за районите на Кърджали и Димитровград. Определени са спектралните усилвания за NS и EW компонентите [21].
11. Изследвана е земетръсната серия в района на София през м. ноември 2008 г. Обработени и анализирани са регистрациите от станциите в Плана и локалната софийска мрежа. Определени са максималните стойности на ускорението, скоростта и преместването и спектрални характеристики (PSD и FFT). От коригираните функции на скоростта, ускорението и преместването са изчислени: спектри на реагиране за абсолютното ускорение (SA), релативната скорост (SV) и релативното преместване (SD); амплитудни спектри на Фурие; триразделни спектри на реагиране. Изследвано е разпределението на сеизмичната енергия в честотната област за различни ерицентрални разстояния. Определени са стойностите на спектралните усилвания [25].
12. Анализирана е сеизмичността на Софийския регион за последните две десетилетия. Представена е карта на епицентрите на около 420 земетресения в частта от територията на България, ограничена от географска ширина $42.30^\circ - 43.00^\circ$ N и дължина $23.00^\circ - 23.90^\circ$ E. Дадени са пространствени, времеви и енергетични разпределения на земетресенията. За земетресенията от 15 ноември 2008 г., 27 август 2010 и 10 септември 2010 г. е представена детайлна информация за макросеизмичните обследвания за различни квартали на София. Събитията от 15 ноември и 10 септември са характеризирани с допълнителни времеви и спектрални характеристики [6, 36].
13. Направен е анализ на сеизмичната обстановка в района на гр. Провадия от началото на миналия век до сега (разпределение във времето на земетресенията с магнитуд $M \geq 3$, характеристики на земетресенията с интензивност на въздействието $I \geq 5$ по МШК, разпределение на епицентрите, зависимости “магнитуд – брой земетресения” и “магнитуд – дълбочина на хипоцентъра”). Направено е предположението, че засилената сеизмична активност след 1970 г. е свързана пряко с експлоатацията на Мировското солно находище [5, 35].

14. Проведен е анализ на последствията от земетресението от 18.12.2003 г. (Провадия) в най-силно засегнатите райони - с. Манастир и с. Добриня. Направено е общо описание на авариралите конструкции. Описани са характерните повреди, а именно: разрушаване на двупластови каменни стени; разместване и разрушаване на подпокривни корнизи; срязване на фасадни стени; отделяне на напречни тухлени стени от двупластови каменни стени; срязване на преградни тухлени стени; напукване на локални зони от стените; пукнатини в контактните зони на носещи стоманобетонни елементи и тухлени преградни стени; частични разрушения на покривни конструкции; частични разрушения на тавани под покривните конструкции; отлепване и обрушване на мазилка от стени и тавани; локално напукване на мазилка. Разработена е скала за класификация на повредите по тежест (степен на увреденост): клас 1 – незасегнати конструкции; клас 2 – сгради с архитектурни повреди; клас 3 – сгради с леки конструктивни повреди; клас 4 – сгради със средни конструктивни повреди; клас 5 – сгради с тежки конструктивни повреди; клас 6 – напълно разрушени сгради. За всеки клас е направено подробно описание на характерните повреди и препоръчителните възстановителни дейности [5, 35, 68].

Научните и научно-приложни приноси в трудовете от IV група “Нормативни документи” са следните:

1. Разработена е концепция за определяне на националните параметри на България за Европейските противоземетръсни норми (EUROCODE 8).
2. Ръководство на тригодишен проект за определяне на националните параметри за ЕВРОКОД 8 “Проектиране на строителни конструкции за сеизмични въздействия” [73, 74].
3. Ръководство на изследванията по разработване на шест нормативни документа – национални приложения към шестте части на ЕВРОКОД 8, а именно [75]:
 - БДС EN 1998-1/NA ЕВРОКОД 8: ПРОЕКТИРАНЕ НА КОНСТРУКЦИИ ЗА СЕИЗМИЧНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ Част 1: Общи правила, сеизмични въздействия и правила за сгради;
 - БДС EN 1998-2+A1/NA ЕВРОКОД 8: ПРОЕКТИРАНЕ НА КОНСТРУКЦИИ ЗА СЕИЗМИЧНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ Част 2: Мостове;
 - БДС EN 1998-3/NA ЕВРОКОД 8: ПРОЕКТИРАНЕ НА КОНСТРУКЦИИ ЗА СЕИЗМИЧНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ Част 3: Оценка и усиление на сгради;
 - БДС EN 1998-4/NA ЕВРОКОД 8: ПРОЕКТИРАНЕ НА КОНСТРУКЦИИ ЗА СЕИЗМИЧНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ Част 4: Силози, резервоари и тръбопроводи;
 - БДС EN 1998-5/NA ЕВРОКОД 8: ПРОЕКТИРАНЕ НА КОНСТРУКЦИИ ЗА СЕИЗМИЧНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ Част 5: Фундаменти, подпорни конструкции и геотехнически аспекти;
 - БДС EN 1998-6/NA ЕВРОКОД 8: ПРОЕКТИРАНЕ НА КОНСТРУКЦИИ ЗА СЕИЗМИЧНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ Част 6: Кули, мачти и комини.

4. Основен принос в разработването на БДС EN 1998-5/НА ЕВРОКОД 8: ПРОЕКТИРАНЕ НА КОНСТРУКЦИИ ЗА СЕИЗМИЧНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ Част 5: Фундаменти, подпорни конструкции и геотехнически аспекти [75].
5. Направен е критичен анализ на геотехническите аспекти в нормите на балканските страни за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони [42].
6. Проведени са изследвания (числени решения и анализи) за дефиниране на параметрите, допуснати за национален избор съгласно БДС EN 1998-5:2004, Еврокод 8, Фундаменти, подпорни конструкции и геотехнически аспекти [73, 74].
7. За целите на проектирането на сгради и инженерни съоръжения по Европейските противоземетръсни норми (Еврокод 8) е определена стойността на коефициента на сигурност срещу втечняване при земетръсни въздействия на водонаситени несвързани литоложки разновидности [24, 34, 73].
8. За целите на проектирането на фундаменти на сгради и инженерни съоръжения по Европейските противоземетръсни норми (Еврокод 8) е определен аналитичен израз за редуциране на максималните сеизмични ускорения с увеличаване на дълбочината от земната повърхност [24, 34, 74].
9. Дефинирано е сеизмичното въздействие за целите на националното приложение на Еврокод 8 за територията на България. Параметрите, характеризиращи формата на проектния еластичен спектър на реагиране, са определени чрез сравнителен анализ на резултатите от три независими експертни оценки на честотния състав на сеизмичното натоварване – статистическа, неопределена и вероятностна. Сеизмичното въздействие е дефинирано със спектрални криви, отразяващи адекватно спецификата на сеизмичните огнища, имащи принос за сеизмичния hazard на територията на България. Специално внимание е отделено на огнище Вранча (Румъния), което има определящо значение за hazarda в голяма част от СИ България. Дефинирани са два спектъра на реагиране с различни гранични периоди (T_B , T_C и T_D), даващи възможност при необходимост да се отчитат специфичните спектрални характеристики на огнище Вранча. Определени са коефициентите, отчитащи влиянието на локалните геоложки условия за двата спектъра, съгласно квалификациите на Еврокод 8 [26].
10. Проведени са изследвания и анализи, на базата на които е обоснована необходимостта от актуализиране на Нормите за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони от 1987 г. в частта за стоманобетоновите конструкции. Направени са конкретни предложения за промяна на чл. 10, чл. 11 и таблица 2. Предложени са процедури за определяне и/или проверка на коефициента на реагиране R с прилагане на използваните в проектирането програмни продукти за моделиране и динамичен анализ на конструкциите [71].
11. Проведени са изследвания и анализи, на базата на които е обоснована необходимостта от актуализиране на Нормите за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони от 1987 г. в частта за зиданите конструкции. Направени са конкретни предложения за промяна на таблица 2 [72].

12. Направен е критичен анализ на Нормите за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони от 1987 г. Обоснована е необходимостта от хармонизиране на нормативната база с европейските противоземетръсни стандарти (EUROCODE 8) [29].

Научните и научно-приложни приноси в трудовете от V група “Общи въпроси на противоземетръсното инженерство” са следните:

1. Осъществен е анализ на поведението при сеизмични въздействия на модел на строителна конструкция с хибридна система за контрол на реагирането, състояща се от пасивна изолация в основата и устройство за активен контрол – регулируем демпфер. Доказано е, че този тип контролна система е ефикасна и осигурява надеждна защита както за конструкцията, така и за пасивната сеизмоизолация в основата ѝ [19].
2. Изследвано е влиянието на локалните геоложки условия - хоризонтална и вертикална нехомогенност на седиментни напластявания, върху сеизмичните характеристики на строителни площадки (максимални ускорения, спектри на реагиране, усилващи функции) [43].
3. Набелязани са основните аспекти на превантивната дейност в областта на противоземетръсното инженерство за намаляване на сеизмичния риск за страната. Посочени са приоритетните изследвания и дейности в следните насоки: усъвършенстване на нормативната база за проектиране и строителство на сгради и инженерни съоръжения в земетръсни райони; специализирано обучение на бъдещите инженерните кадри; обучение на действащи специалисти, имащи отношение към цялостния строителен процес – проектиране, строителство, производство на строителни материали, утвърждаване и разрешителен режим, контрол на строителството и др.; обучение на населението за действие преди, по време и след земетресение; специализиран контрол на проектирането и строителството на сгради и инженерни съоръжения в земетръсни райони; сформирание, обучение и оборудване на специализирани екипи за оценка на последиците от силни земетресения; анализ на сеизмичната уязвимост на отговорни обекти – АЕЦ, ТЕЦ, химически производства, големи язовири, паметници на културата, болници, училища, детски градини и др.; сеизмично микрорайониране на площадки за строителство на отговорни съоръжения; функциониране на съвременна надеждна система за регистрация, анализ и оценка на силни земни движения; сеизмичен мониторинг на отговорни обекти [29].

24.02.2012 г.
София



/доц. д-р инж. Светослав Симеонов/