Университет по Архитектура, Строителство и Геодезия
Факултет по Транспортно строителство
Катедра „Пътища и транспортни съоръжения“

инж. Теодора Христова Славчева-Семерджиева

ИЗСЛЕДВАНЕ НА МЕСТОПОЛОЖЕНИЕТО НА ШУМОЗАЩИТНИТЕ СЪОРЪЖЕНИЯ ОТ ГЛЕДНА ТОЧКА НА БЕЗОПАСНОСТТА НА ДВИЖЕНИЕ

АВТОРЕФЕРАТ

към дисертационен труд за присъждане на научна и образователна степен „Доктор“ в професионално направление 5.7. „Архитектура, строителство и геодезия“, научна специалност „Проектиране, строителство и поддържане на улици, автомобилни пътища и съоръжения“ / „Транспортни съоръжения“

Научен ръководител:
Проф. инж. Петър Стефанов

Научно жури:

1. Проф. д-р инж. Чавдар Колев;
2. Проф. д-р инж. Валентин Николов;
3. Проф. д-р инж. Руско Вълков;
4. Доц. д-р инж. Лазар Георгиев;
5. Проф. д-р инж. Милчо Лепоев;

гр. София, 2026 г.

Заглавие: Изследване на местоположението на шумозащитните съоръжения от гледна точка на безопасността на движение

Професионално направление: 5.7 „Архитектура, строителство и геодезия“

Научна специалност: „Проектиране, строителство и поддържане на улици, автомобилни пътища и съоръжения“ / „Транспортни съоръжения“

Катедра: „Пътища и транспортни съоръжения“

Автор: инж. Теодора Христова Славчева-Семерджиева

Научен ръководител: проф. инж. Петър Стефанов

Научно жури:

Вътрешни за УАСГ:

1. Доц. д-р инж. Лазар Георгиев;
2. Проф. д-р инж. Милчо Лепоев;

Резервен член: Доц. д-р инж. Петър Николов

Външни за УАСГ:

1. Проф. д-р инж. Чавдар Колев;
2. Проф. д-р инж. Валентин Николов;
3. Проф. д-р инж. Руско Вълков;

Резервен член: Доц. д-р инж. Стойна Костова

3. *Председател на първото заседание:* Доц. д-р инж. Лазар Георгиев;

Кандидатът е зачислен за докторант на редовна форма на обучение със Заповед 402/09.05.2018 г. на Ректора на УАСГ, на основание на решение на Факултетен съвет на Факултет по Транспортно строителство, протокол № 34 от 24.04.2018 г. на основание чл. 44 от ПУДПЗСДС.

Отчислен е с право на защита със Заповед 815/04.11.2021 г. на Ректора на УАСГ, на основание на решение на Факултетен съвет на Факултет по Транспортно строителство, протокол № 25/28.10.2021 г., по доклад на ръководителя на катедра „Пътища и транспортни съоръжения“, на основание чл. 59 от *Правилника за учебната дейност, правата и задълженията на студентите, докторантите и специализантите* и чл. 54 (1) от *Стандарта за обучение на докторантите в УАСГ*.

Данни за дисертационния труд:

Дисертационният труд е разработен в обем от 192 стр. като съдържанието е структурирано в 12 глави и е онагледено с 87 фигури и 11 таблици. Към тях са представени 3 бр. приложения с общ обем от 114 стр. Библиографията обхваща 92 източника, от които 35 на кирилица и 57 на латиница.

По темата на дисертационния труд са направени 4 самостоятелни публикации. Една от тях в международно издание. До момента не са известни цитирания на разработените публикации.

СЪДЪРЖАНИЕ

СЪДЪРЖАНИЕ 1
I. ОБОСНОВКА НА НЕОБХОДИМОСТТА / ВЪВЕДЕНИЕ 3
1. Актуалност на темата 3
2. Описание на проблема 3
3. Цел 4
4. Задачи на дисертационните изследвания 4
5. Методи на изследване 5
II. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР 5
1. Република България 5
1.1. Нормативна база 5
1.2. Опит в Р. България 6
2. Международен опит – Европа 8
2.1. CEDR програми 8
2.2. Дания 9
2.3. Германия 9
2.4. Австрия 9
2.5. Съединени американски щати 10
2.6. Хонконг и Русия 11
4. Алтернативни мерки за намаляване на шумовото замърсяване 12
4.1. Специализирани нискошумови настилки 12
4.2. Шуморазсейващи съоръжения 12
4.3. Административни мерки 13
4.4. Комбинирани системи и Фотоволтаични шумозащитни стени 13
5. Разпознаване на основните проблеми в прилаганата практика 14
5.1. Проблем при избора на материалите 14
5.2. Общи проблеми 15
III. ИЗВОДИ ОТ ИЗВЪРШЕН ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР 15
IV. ЦЕЛ И ОБХВАТ / ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ 16
V. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ 17
1. Звук и шум 17
2. Шум 18
3. Транспортен шум 18
4. Структурен шум 19

5. Мероприятия за редуциране на шумовото въздействие 19
5.1. Класификация на шумозащитните прегради 20
5.2. Мероприятия в урбанизирани и неурбанизирани територии 21
6. Конструктивни изисквания при планиране и проектиране на ШЗС 21
7. Влияние на ШЗС върху работата на ОСП и взаимовръзката с пътната безопасност 21
7.1. Ограничителни системи за пътища 21
7.2. Пътна безопасност 21
VI. ИЗВОДИ ОТ ТЕОРЕТИЧНАТА ЧАСТ 22
VII. ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКА ЧАСТ 23
1. Основни методически изисквания за извършване на обследвания на съществуващите ШЗС 23
2. Оценка на експлоатационното състояние на съществуващи ШЗС 24
2.1. Алгоритъм от гледна точка на безопасността за движение (Алгоритъм 1) 25
2.2. Алгоритъм от гледна точка на функционалността (Алгоритъм 2) 27
3. Теренни обследвания 29
3.1. АМ „Хемус“ А-2 29
3.2. АМ „Струма“ А-3 / АМ „Люлин“ А-2 31
3.3. АМ „Европа“ – Северна скоростна тангента 32
3.4. Републикански път II-18 „Околовръстен път София“ – Западна дъга 32
3.5. Републикански път II-57 – гр. Раднево 33
3.6. Републикански път III-5004 – Обход на гр. Габрово 35
3.7. Заключение от извършените обследвания 36
4. Анализ на мерките за възстановяване на съоръженията 37
5. Анализ на поведението и взаимодействието между ОСП и ШЗС 38
6. Проучване на влиянието на ШЗС върху възприятията на шофьорите и пътниците . 41
VIII. ОСНОВНИ ПРЕПОРЪКИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ И ИЗВОДИТЕ ОТ ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД 42
IX. ПРИНОСИ 43
X. ЗАКЛЮЧЕНИЕ 44
XI. НАСОКИ ЗА БЪДЕЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯ 45
XII. ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД 46
XIII. Списък на фигурите 47
XIV. Списък на ТАБЛИЦИ 49
XV. ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА 50

I. ОБОСНОВКА НА НЕОБХОДИМОСТТА / ВЪВЕДЕНИЕ

1. Актуалност на темата

Развитието на всички сектори на икономиката е неразривно свързано с нарастващия обем на автомобилния транспорт, което поставя пред транспортните инженери задачата да осигурят ефективна защита на населението от постоянно увеличаващото се шумово натоварване. Особено засегната е групата от жители, обитаваща територите, разположени в непосредствена близост до главните пътни артерии. Съгласно множество световни проучвания, шумовото замърсяване оказва доказано негативно въздействие върху човешкото здраве – от нарушаване на съня и повишено нервно напрежение до сърдечно-съдови заболявания – което налага разработването и последователното прилагане на целенасочени мерки за неговото ограничаване.

Съгласно ДИРЕКТИВА (ЕС) 2015/996 НА КОМИСИЯТА от 19 май 2015 г. за установяване на общи методи за оценка на шума в съответствие с Директива 2002/49/ЕО на Европейския парламент и на Съвета (24) се разпознават следните основни източници на шум: шум от пътното движение (от МПС, от двуколесни превозни средства и от контакта на гумите с пътната настилка), шум от железопътен трафик, от промишлени източници и от въздухоплавателни средства.

В Република България, при спазване на изискванията на действащата нормативна уредба за защита от автотранспортен шум, включително транспонираните европейски директиви и регламенти, се е наложила практиката шумозащитните съоръжения да се изграждат в непосредствена близост до пътното платно. Този подход е продиктуван от стремежа към максимална акустична ефективност и по-ниски инвестиционни разходи, но не отчита влиянието на ШЗС върху пътната безопасност – аспект, разглеждан в международен план като неразривна част от проектирането.

2. Описание на проблема

От гореизложеното произтича и основният технически проблем при реализирането на мерките за защита от шумово замърсяване, който обхваща няколко взаимосвързани аспекта:

- Акустичен – екраните да са акустично ефективни, т.е. след поставяне на съоръженията нивата на шум да са минимум в нормативните допустими граници за съответната територия, която предпазват;
- Естетичен – да не причиняват раздразнение при ползвателите на пътя и населението, обитаващо защитаваните прилежащи територии;
- Транспортен – обхваща два отделни проблема: а) Конструктивен – избор на конструктивните елементи на съоръженията; б) Въздействие върху пътната безопасност – взаимодействие между две съоръжения с коренно различно предназначение.

Проблемът придобива допълнителна значимост предвид факта, че Р. България е сред държавите в Европейския съюз с най-висока смъртност при пътнотранспортни произшествия на глава от населението. Според официалните данни на Европейската комисия (65), за 2024 г. в страната са отчетени 74 смъртни случая на милион жители, а за 2025 г. – 71, което е близо два пъти над средните за Съюза стойности (съответно 45 и 43 загинали на милион жители). Всяка мярка, насочена към подобряване на безопасността на пътната инфраструктура – включително правилното позициониране на шумозащитните съоръжения спрямо ограничителните системи – има потенциала да допринесе за намаляване на тежестта на последствията при настъпване на инцидент.

3. Цел

Целта на настоящия дисертационен труд е да се проведе задълбочено изследване на различните видове шумозащитни съоръжения, като се направи сравнителен анализ на теоретичния и практическия опит на държавите с утвърдена практика в тази област – страните членки на Европейския съюз (Дания, Германия и Австрия), Съединените американски щати, Хонконг и Русия. Особен акцент в изследването е поставен върху влиянието на местоположението на шумозащитните съоръжения върху безопасността на движение – аспект, който до момента не е разглеждан систематично в българската практика.

Настоящият дисертационен труд е мотивиран от убеждението, че шумозащитата и пътната безопасност не трябва да се разглеждат като конкуриращи се цели, а като взаимно допълващи се аспекти на проектирането на пътната инфраструктура. Международният опит, разгледан в литературния обзор, недвусмислено потвърждава, че интегрираният подход е не само възможен, но и необходим.

4. Задачи на дисертационните изследвания

За постигане на поставените цели са определени следните задачи:

1) Проучване на теоретичния и практическия опит на държавите с утвърдена практика в областта на шумозащитата;
2) Проучване на влиянието на шумозащитните съоръжения върху възприятията на водачите, пътниците и населението зад съоръженията — формиране на сенки (оптична илюзия), тунелен ефект поради лош подбор на типа ШЗС (монотонен пейзаж в дълъг участък), загуба на концентрация;
3) Разработване на основни методически изисквания за извършване на обследвания на съществуващите шумозащитни съоръжения;
4) Оценка на експлоатационното състояние на съществуващите ШЗС чрез разработване на алгоритми за оценяване на състоянието (от гледна точка на пътната безопасност и функционалността) на обследвани съоръжения;
5) Анализ на мерките за възстановяване на съоръженията поради нарушена цялост от настъпило ПТП или друго;
6) Изготвяне на варианти за изпитване на ограничителни системи за пътища и ШЗС (краш-тест) чрез използване на специализиран софтуерен продукт;

7) Формулиране на изводи и препоръки.

5. Методи на изследване

Използваните методи включват: литературен анализ на нормативни документи и научни публикации на български, английски, немски, датски и руски език; сравнителен анализ на международните практики; теренни обследвания с измерване на нива на шум и геометрични параметри на конкретни участъци от Републиканската пътна мрежа; количествена оценка чрез авторски алгоритми; математически анализ при разпределението на тежестите в алгоритмите; статистически метод, изведен от извършените огледи на участъци от транспортната мрежа на Р. България.

II. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

1. Република България

1.1. Нормативна база

1.1.1. Контрол върху намаляването на шума в околната среда

В действащата нормативна уредба на Р. България не е наличен самостоятелен нормативен документ, който да обхваща цялостно планирането, проектирането, изграждането и поддържането на шумозащитни съоръжения. Документите, релевантни към темата на дисертационния труд, се отнасят главно към идентифициране на причините и източниците на шумово замърсяване, дефиниране на граничните стойности на нивата на шум и определяне на методите за измерване.

Съгласно Закон за защита от шум в околната среда (25) шумът е дефиниран като *„нежелан или вреден звук, причинен от човешка дейност (Допълнителни разпоредби § 1, т. 1)“*. Наредба № 6 от 26 юни 2006 г. (26) регламентира граничните стойности на нивата на шум в различните типове територии, представени в Таблица II-1.

Таблица II-1: Гранични стойности на нивата на шума в различните територии и устройствени зони в урбанизираните територии и извън тях (26)

№	Територии и устройствени зони	Ден	Вечер	Нощ
1	Жилищни зони и територии	55	50	45
2	Централни градски части	60	55	50
3	Територии, подложени на въздействието на интензивен автомобилен трафик	60	55	50
4	Територии, подложени на въздействието на релсов железопътен и трамваен трафик	65	60	55
5	Територии, подложени на въздействието на авиационен шум	65	65	55

6	Производствено-складови територии и зони	70	70	70
7	Зони за обществен и индивидуален отдих	45	40	35
8	Зони за лечебни заведения и санаториуми	45	35	35
9	Зони за научноизследователска дейност	45	40	35
10	Тихи зони извън агломерациите	40	35	35

С Наредба №6 от 26.06.2006 г. (26) се определят показателите за шум в околната среда, отчитащи степента на дискомфорт през различните части на денонощието; граничните стойности на показателите за шум; методите за оценка и на вредните ефекти от шума върху човешкото здраве. С Наредба № РД-02-20-2 от 28 август 2018 г. (29) за проектиране на пътища е въведен терминът „зона за безопасност“, предполагащ разполагането на ШЗС след нея.

1.1.2. Стратегически карти за шум

НАРЕДБАТА за изискванията към разработването и съдържанието на стратегическите карти за шум и към плановете за действие (27) урегулира изработването на задължителните Стратегически карти за шум и Планове за действие. За целите на дисертационния труд тези карти са от особена значимост: именно на база установените в тях превишени нива на шум се стартира процедурата по изграждане на ШЗС. Следователно пропуските в нормативното уреждане на местоположението на ШЗС пряко засягат ефективността на предвидените мерки.

1.1.3. Нормативна база – БДС EN стандарти

Проектирането и изграждането на ШЗС в България се извършва в съответствие с редица европейски стандарти, транспонирани като БДС EN. Сред основните са: БДС EN 14388:2015 (23) – изисквания към съоръженията; БДС EN 1793-1:2017 (20) и БДС EN 1793-2:2018 (21) – методи за изпитване на акустичните показатели; БДС EN 1794-1:2024 (22) – неакустични характеристики, изрично посочващ, че ШЗС не са проектирани да устоят на удар от МПС. В нито едно от анализираните задания за проектиране на АПИ – ОП №686/2016 (18) и ОП №1428/2020 (17) – не е включена проектна задача, свързана с пътната безопасност.

1.2. Опит в Р. България

Прегледът на практиката в Р. България разкрива съществен структурен проблем: акустичният проект и проектът за ОСП се изготвят независимо един от друг, от различни изпълнители, по различни договори и в различни времеви рамки. В практиката, констатирана при обследванията по АМ „Тракия“ (5) и АМ „Марица“ (6), монтираните системи N2W5 или H1W3 са със зона на действие съответно 1,7 м и 1,0 м. При разстояние от 37–60 см между двете съоръжения тези системи не могат да разгърнат предвидената деформация и на практика функционират като твърда опора, вместо като амортизираща система.

1.2.1. АМ „Тракия“ А-1

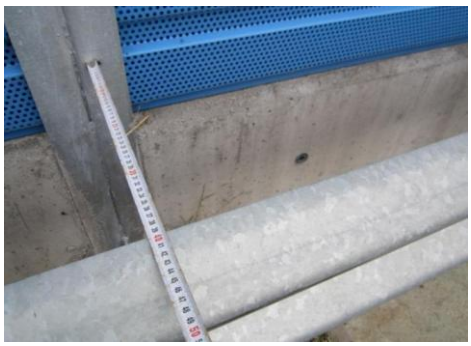
Одитът на пътната безопасност по АМ „Тракия“ (5) е установил монтирани шумозащитни стени на четири места по трасето. Конструктивното решение е еднотипно: алуминиеви панели с каменна вата, монтирани на стоманени профили HE160A с височина 3,0 м, върху стоманобетонен цокъл с открита височина 50 см. Одиторите установяват разстояние между ОСП и цокъла на ШЗС от 37,5 см. За сравнение – монтираната ОСП е от тип N2W5 със зона на действие 1,7 м, т.е. почти пет пъти повече от наличното разстояние.



Фигура II-1: Разстояние между шумозащитно съоръжение и ОСП – 37,5 см (5)

1.2.2. АМ „Марица“ А-5

При обследването на АМ „Марица“ (6) са констатирани сходни конструктивни решения и измерено разстояние около 40 см между ШЗС и ОСП от тип H1W3. Тези констатации очертават по-обща тенденция: при проектирането на инфраструктурните елементи въпросите на пътната безопасност не са разглеждани интегрирано.



Фигура II-2: Шумозащитна стена при км 60+000, измерено разстояние между съоръженията – 40 см (6)

1.2.3. АМ „Струма“ А-3

Шумозащитните съоръжения по АМ „Струма“ не са предмет на официален одит по пътна безопасност, аналогичен на тези за АМ „Тракия“ и АМ „Марица“. Представените наблюдения са направени при посещение на място в процеса на подготовка на дипломната работа, разработена от автора, послужила за основа на настоящия дисертационен труд.



Фигура II-3: Дървена шумозащитна стена при км 306+000 (посока Благоевград–София), монтирана върху стоманобетонен цокъл



Фигура II-4: Шумозащитна стена – АМ „Струма“, ЛОТ 2 (Дупница–Благоевград)

Установеното разминаване между националната практика и изискванията за безопасност поставя необходимостта от задълбочен анализ на международния опит. Следващата секция разглежда подходите на страни с утвърдена практика в проектирането и поддържането на ШЗС, с особено внимание към аспектите на пътната безопасност.

2. Международен опит – Европа

Основаната през 2003 г. Конференция на европейските директори на пътища – *Conference of European Directors of Roads (CEDR)* – обединява 29 държавни администрации, отговарящи за националните пътища в страните членки на ЕС. Цялостен преглед на изследванията в областта на шумозащитните бариери е представен в труда на **Екиджи и Бугда** (Ekici & Bougdah) – „Наръчник по мерки за безопасност на движението по пътищата“ (41), които систематизират четири десетилетия изследователска работа върху различните форми на съоръженията – от традиционните плоски екрани до Т-образните, цилиндричните и множествените ръбови конструкции.

2.1. CEDR програми

В публикуваните и общодостъпни технически доклади се правят наблюдения в страните участнички и се анализират методите за измерване, нормативните документи и изградените съоръжения. За целите на дисертационния труд са разгледани четири основни доклади: Съвременни постижения в управление на шума от транспортен трафик: заключителен доклад (30) – управление на шума, обобщен доклад; Технически доклад за съвременни постижения в управление на шума от транспортен трафик: ниско шумови пътни настилки (31) – нискошумови настилки; Технически доклад за съвременни

постижения в управление на шума от транспортен трафик: шумозащитни съоръжения (33) – шумозащитни стени (Технически доклад 2017-02), съдържащ категоризация на най-честите проблеми при проектирането и изпълнението на ШЗС; Технически доклад за съвременни постижения в управление на шума от транспортен трафик: анализ на разходите и ползите и анализ на разходите и ефективността (32) – анализ на разходи и ползи.

2.2. Дания

Подобно на други държави с по-богат опит в областта на шумозащитата, Дания е изработила собствени ръководства: „Планиране и проектиране на шумозащитни екрани“ (48) и „Експлоатация и поддържане на шумозащитни съоръжения“ (49). В тях особено внимание се обръща на: акустичните характеристики на материалите; естетическото вписване в околната среда; видимостта в кръстовища и криви; авариен достъп; зимно почистване; конкретните действия по поддържане.



Фигура II-5: Шумозащитни съоръжения – Дания

2.3. Германия

Германия прилага строга нормативна рамка, основана на Федералния закон за контрол на емисиите (BImSchG), стандарта DIN 18005 и изчислителния метод RLS-19 (61). Характерна за германската практика е прецизната архитектурна интеграция на ШЗС в градската среда и задължителното включване на критерия за визуална ориентация на водача (15).



Фигура II-6: Шумозащитни съоръжения – Германия

2.4. Австрия

Австрийската практика е регламентирана в RVS 04.02.12 – ръководство за пътна безопасност при ШЗС, в което изрично са определени минималните разстояния между ШЗС и ОСП, изискванията за авариен достъп и минималният експлоатационен живот от

25 години (59). Австрия е сред малкото европейски страни, в чиято нормативна база е систематизирана пряката връзка между местоположението на ШЗС и пътната безопасност.



Фигура II-7: Шумозащитни съоръжения – Австрия

2.5. Съединени американски щати

Направеният сравнителен преглед на практиките в щатите Вашингтон, Калифорния, Минесота, Тексас и Флорида позволява извличането на представителна извадка от специфични инженерни решения:

- Калифорния (Caltrans) (52, 53) – еталон за акустична прецизност и сеизмична устойчивост; правило „10 към 1“ при двустранно монтирани съоръжения; задължително валидиране на компютърния модел с реални измервания;
- Вашингтон – иновации в екологичния дизайн и нискошумовите настилки;
- Минесота (MnDOT) (54) – проектиране при тежки зимни условия; бетонни панели с устойчивост на над 100 цикъла замръзване/размразяване;
- Тексас (55) – решения за сложни геотехнически условия и експанзивни почви;
- Флорида (56) – съоръжения за екстремни вятърни натоварвания и корозивна среда.

С цел оглед на постигнатата аналитична наситеност, фокусът се насочва към систематичен анализ на „Наръчника за проектиране на шумозащитни стени“ *(Noise Barrier Design Handbook)* на Федералната магистрална администрация на САЩ (FHWA) (47). Съгласно наръчника (47), следните фактори се считат за наложителни при оценяване на безопасността при проектирането:

- Местоположение на съоръженията – позицията може да бъде модифицирана, за да е по-малко уязвима на удар от МПС;
- Прикрепителни и/или монтажни елементи – компонентите на стената трябва да позволяват изменения в детайлите за закрепване и/или армиране;
- Вид на съоръжението – типът може да се промени от гледна точка на материал и/или конфигурация;
- Защитни средства – пред съоръжението да се поставят ограничителни системи;
- Изисквания за видимост – съоръженията да не пречат на хоризонталната видимост в криви;

– Влияние на светлина и сянка – редуващи се светли/тъмни зони повишават риска; в зимни условия може да се формира заледяване;
– Изисквания за ориентация – стените не трябва да създават монотонен визуален фон;
– Влияние върху изискванията за авариен достъп;
– Поддържане на съоръженията.



Фигура II-8: FHWA – застъпване на ШЗС, с цел осигуряване на авариен изход

а)  б) 

Фигура II-9: Авариен достъп: а) отвор за авариен достъп; б) отвор за авариен достъп



Фигура II-10: Пример за отблясък от шумозащитен панел

2.6. Хонконг и Русия

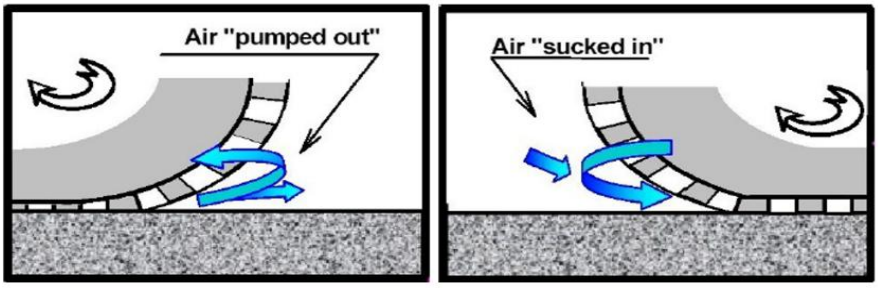
Хонконг прилага изискванията на Наръчника за проектиране на шумозащитните бариери *(Guidelines on Design of Noise Barriers)* (46), с особено внимание върху архитектурната интеграция на ШЗС в плътно застроената градска среда. В Русия нормативната рамка е регламентирана от ОДМ 218.2.013-2011 (62) и СТО АВТОДОР 2.9-2014 (63), като практиката е насочена предимно към акустичната ефективност, без систематично разглеждане на аспектите на пътната безопасност при позиционирането.

4. Алтернативни мерки за намаляване на шумовото замърсяване

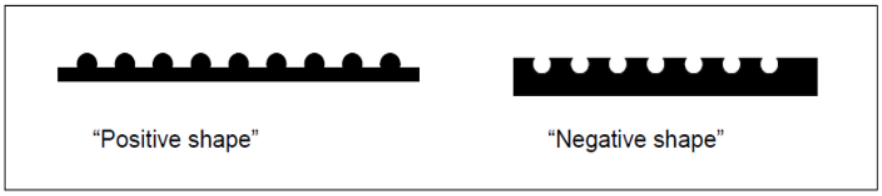
Освен чрез монтиране на шумозащитни съоръжения в близост до източника на шумово замърсяване, страните с по-богата практика прилагат и алтернативни методи за намаляване на шумовото натоварване.

4.1. Специализирани нискошумови настилки

Един от основните източници на шумово замърсяване е контактът на гумите на МПС с пътната настилка. При скорост над 35 км/ч шумът от гумите е доминиращият за леките автомобили, при над 60 км/ч – за тежките МПС (43). Нискошумовите настилки могат да намалят шума с 3–5 dBA. Практиката разпознава: тънкослойна настилка, шумонамалящ сплит-мастик-асфалт, двуслоен порьозен асфалт и настилка с модифицирана полимерна смес.



Фигура II-11: Генериране на шум от контакт между автомобилни гуми и пътна настилка



Фигура II-12: Принципна схема на пътни настилки с позитивна и негативна форма на повърхностната текстура

4.2. Шуморазсейващи съоръжения

В рамките на международния преглед на алтернативните мерки е разгледано иновативното холандско решение за шуморазсейващи съоръжения (57), основано не на поглъщане, а на дифракция на звуковите вълни. Разработените и тествани от нидерландски инженери три типа съоръжения – Whisstone, WhissWall и WhissTop – представляват дифрактори, които отклоняват звуковите вълни от праволинейното им разпространение. Бетонният елемент Whisstone се монтира непосредствено до пътното платно и намалява шума от гума/път с приблизително 3–4 dB, като е съвместим с нискошумови настилки и бариери. Металната конструкция WhissWall, монтирана върху П-образна рамка с височина 1 метър, може да намали шума с до 8 dB. Съоръжението WhissTop, приложено върху шумозащитни стени, осигурява допълнителни 4–5 dB – резултат, еквивалентен на удължаване на бариерата с 2 метра. От особено значение за темата на настоящата дисертация е обстоятелството, че тези съоръжения предлагат акустична ефективност, без да предполагат изграждане на масивна конструкция на

значително разстояние от пътното платно, което ги прави особено подходящи при участъци с ограничена зона за безопасност.

4.3. Административни мерки

Административните мерки – преди всичко ограничаването на скоростта на движение – предлагат бързо приложимо решение без инвестиции в инфраструктура. Намаляването от 130 на 110 км/ч може да доведе до намаление на шума с 2–3 dBA. Прилага се предимно като краткосрочно решение поради ограниченото въздействие върху пропускателната способност на пътя.

4.4. Комбинирани системи и Фотоволтаични шумозащитни стени

Сред разгледаните алтернативни мерки с особена практическа и стратегическа значимост се открояват два иновативни подхода. Първият са интегрираните комбинирани системи, при които шумозащитните панели/стени се проектират и монтират в единна конструкция с ограничителните системи за пътища – решение, насочено специално към участъци с ограничен терен, при които отделното позициониране на двете системи е невъзможно или нецелесъобразно. От гледна точка на централната теза на дисертацията, тази концепция е особено важна: тя представлява институционалното признание, вградено в самия продукт, че шумозащита и пътна безопасност не са независими функции, а трябва да се решават съвместно.

Вторият подход са фотоволтаичните шумозащитни бариери (PVNB) – съоръжения, съчетаващи акустична защита с производство на възобновяема енергия. Приложени за първи път в Швейцария (1989 г.), днес те функционират в редица европейски държави, включително Германия, Италия, Австрия и Нидерландия. Реализацията на нидерландския проект LIFE Solar Highways по магистрала A50 (2014–2020 г.) демонстрира финансовия мащаб на подобни решения – обща инвестиция от близо 4,74 млн. евро, частично финансирана по програма LIFE на ЕС.

И двата подхода потвърждават ясна тенденция в международната практика: шумозащитната инфраструктура еволюира от еднофункционален акустичен елемент към многофункционална система, интегрираща безопасност, устойчивост и енергийна ефективност – ценен ориентир при разработването на препоръчвания в дисертацията нормативен документ за България.

Таблица II-2: Сравнителна таблица

Критерий	Конвенционален подход (ШЗС + ОСП поотделно)	Интегрирана комбинирана система
Необходима ширина на банкета	По-голяма — изисква отделно пространство за всяка система	По-малка — двете функции в единна конструкция
Сложност на проектиране	По-висока — две независими части от проекта, различни проектанти	По-ниска — единно техническо решение

Приложимост при ограничен терен	Ограничена — съществуват случаи, при които комбинацията не се побира	Висока — специално предназначена за такива случаи
Поведение при удар от МПС	Непредвидено и нестандартизирано взаимодействие между двете системи	Предварително изпитани характеристики като единна система
Нормативна уредба в РБ	Двете системи се регулират от различни нормативни документи	Не е регламентирано — липсва правно основание за прилагане

5. Разпознаване на основните проблеми в прилаганата практика

В рамките на Техническия доклад 2017-02 на CEDR – „Управление на шума на транспортен трафик: шумозащитни стени“ (33) – са категоризирани най-честите проблеми и лоши примери при проектирането и изпълнението на ШЗС, водещи до повреди в конструкцията и/или акустична неефективност. В долупосочените примери, освен от европейската практика, са представени и примери от практиката на Р. България.

5.1. Проблем при избора на материалите

Металните съоръжения са засегнати от поява на ръжда при нарушаване на горния слой на панела; дървените са склонни към изкривяване, свиване и напукване; съоръженията с прозрачни платна губят прозрачност вследствие на прах и вандализъм.

а)  б) 

Фигура II-13: Повреди по метални панели а) и б) (33)

а)  б) 

Фигура II-14: Повреди по дървени панели а) (33); в) АМ „Хемус“ от км 7+000 до км 7+140

5.2. Общи проблеми

Шумозащитните съоръжения са податливи на вандализъм; при избора на конструкция и материал трябва да се вземе предвид този фактор. По време на монтирането е важно да няма процепи, през които шумът да може да мине. Не е осигурен авариен изход при съоръжения със значителна дължина – или е предвиден, но не е акустично запечатан.

а) 

б) 

Фигура II-15: б) вандализъм – Северна скоростна тангента, км 11+330 до км 11+845; в) вандализъм – СОП Западна дъга, км 0+941,35 до км 1+217,35



Фигура II-16: акустична пролука – СОП Западна дъга, км 0+941,35 до км 1+217,35

Необходимостта от интегриран подход, обединяващ акустичния и визуалния дизайн, е обоснована подробно в Екологични шумозащитни екрани: Ръководство за акустично и визуално проектиране (38), които подчертават, че визуалното вписване на съоръжението е от ключово значение за общественото приемане и за дългосрочното му функциониране. Представените международни проблеми потвърждават, че повредените или деградирали ШЗС са едновременно акустичен и потенциален проблем за пътната безопасност.

III. ИЗВОДИ ОТ ИЗВЪРШЕН ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

Въз основа на извършения литературен обзор и във връзка с основната цел на дисертационния труд – изследване на влиянието на шумозащитните съоръжения върху пътната безопасност – може да се направи следната оценка на световния опит и практики: В повечето случаи европейските страни не се ограничават само до акустичните

изисквания, а разглеждат и неакустичните аспекти: приемане, естетично вписване и възприемане от всички ползватели.

Откроява се следната повторяемост на факторите, влияещи конкретно върху пътната безопасност при проектирането на съоръженията:

1. Изисквания за видимост и странична дистанция – съоръженията трябва да са позиционирани, без да пречат на видимостта между автомобили, знаци и при кръстовища;
2. Влияние на ефектите на светлината и сянката – редуващи се светли и тъмни участъци са рискови; в зимни условия от сянката може да се формира заледяване;
3. Блъскане от автомобил – екраните не са предпазни огради, следователно трябва да са на достатъчно разстояние от платното, за да позволяват на ОСП да действат ефективно;
4. Изисквания за ориентация – стените не трябва да създават монотонен визуален фон, водещ до загуба на концентрация;
5. Влияние върху изискванията за авариен достъп;
6. Поставяне на безопасно разстояние от въздушните електропроводи;
7. Поддържане на съоръженията – задължително осигуряване на достъп за ежегодни или периодични инспекции;
8. Вписване в околната среда.

Сравнителният анализ разкрива, че в Р. България съществува системна нормативна празнина: акустичният проект и проектът за ОСП се изготвят независимо, без задължителна проверка на взаимодействието между двете съоръжения. В международния опит тази интеграция е правило, а не изключение. Преодоляването на това разминаване чрез разработване на цялостен нормативен документ е основното практическо предизвикателство, което настоящата дисертация поставя и адресира.

IV. ЦЕЛ И ОБХВАТ / ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

За постигане на поставените цели на настоящия дисертационен труд се определиха следните задачи за изпълнение:

1. Проучване на теоретичен и практичен опит;
2. Проучване на влиянието на шумозащитните съоръжения върху възприятията на водачите, пътниците и населението зад съоръженията – формиране на сенки (оптична илюзия), тунелен ефект поради лош подбор на типа ШЗС (монотонен пейзаж в дълъг участък), загуба на концентрация;

3. Разработване на Основни методически изисквания за извършване на обследвания на съществуващите шумозащитни съоръжения /ШЗС/ – необходими за оценяването на експлоатационното им състояние;
4. Оценка на експлоатационното състояние на съществуващите ШЗС, чрез разработване на алгоритми за оценяване на състоянието (от гледна точка на пътната безопасност и функционалността) на обследвани съоръжения. В резултат на обследването е възможно определянето на действителното експлоатационно състояние – конструктивна цялост на всички елементи; акустични „пролуки“; следи от вандалски прояви; настъпили деформации вследствие на удар от МПС. Методиката дава възможност за категоризиране на установените дефекти и повреди;
5. Анализ на мерките за възстановяване на съоръженията, поради нарушена цялост от настъпило ПТП или друго;
6. Изготвяне на варианти за изпитване на ограничителни системи за пътища и ШЗС (краш-тест), чрез използване на специализиран софтуерен продукт при няколко прецизно избрани варианта;
7. Формулиране на изводи и препоръки.

Изследователската част на дисертационния труд е структурирана в три основни направления. Първото обхваща разработването на методически инструменти – авторски „Чек лист“ и два Алгоритъма за количествена оценка. Второто включва теренни обследвания на конкретно избрани участъци. Третото обхваща анализа на резултатите – мерки за възстановяване, взаимодействие между ОСП и ШЗС, и влияние върху възприятията на водачите.

Подборът на участъците е извършен целенасочено, с оглед осигуряване на максимално разнообразие. Включени са участъци от три автомагистрали (АМ „Хемус“, АМ „Струма“/АМ „Люлин“ и АМ „Европа“ – ССТ), два участъка от пътища II клас (II-18 „Западна дъга“ и II-57, гр. Раднево) и един участък от път III клас (обход на Габрово).

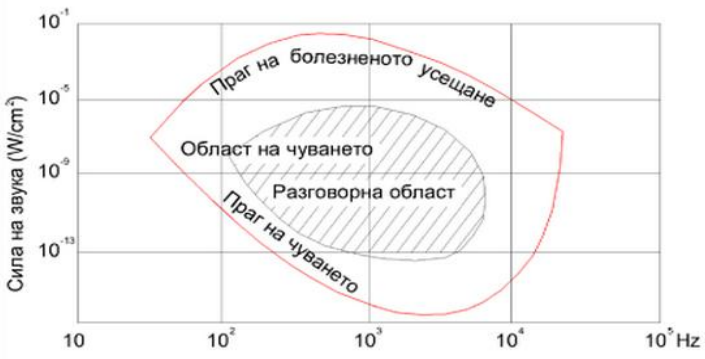
До момента в Р. България не е публикуван научен труд, акцентиращ върху взаимовръзката между ШЗС и другите прилежащи елементи на пътното платно и факторите, влияещи на пътната безопасност. Практическото приложение е насочено към подпомагане на създаването на нормативна рамка за планиране, проектиране, строителство и поддържане на ШЗС.

V. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ

1. Звук и шум

За да се разбере действието на шумозащитните стени, е необходимо да се познават основните характеристики на звука и шума. Шумът произлиза от звука, но от психологична гледна точка се възприема като вреден и неприятен, поради което е

необходимо да се търсят ефективни мерки за защита от него. Основният ефект на намаляване на шума с помощта на шумозащитен екран се достига благодарение на звуковата сянка, вследствие на дифракцията на звука на свободния ръб на екрана. Ефективността зависи от: височината на екрана спрямо линията на видимост; разстоянието до източника; разстоянието до защитавания обект; акустичните свойства на материала.



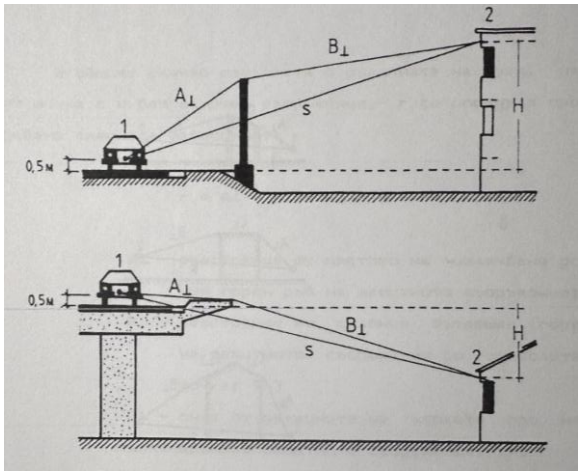
Фигура V-1: Праг на чуване

2. Шум

Шумът е свързан с техническия прогрес, урбанизацията и някои други особености на живота на съвременния човек. Няма да е преувеличено, ако определим шума като един от най-сериозните отрицателни фактори на околната среда в нашето време (24). Продължителното излагане на наднормени нива на шум засяга множество системи на човешкия организъм. Съгласно данните на Европейската агенция за околната среда (34), дългосрочното излагане причинява 12 000 преждевременни смъртни случаи и допринася за 48 000 нови случая на исхемична болест на сърцето годишно в Европа. Нарушения на съня, повишено нервно напрежение, намалена работоспособност и увреждания на слуховия апарат са сред доказаните ефекти. Тези данни категорично обосновават необходимостта от ефективни мерки за шумозащита, при едновременно гарантиране на безопасното им интегриране в пътната инфраструктура.

3. Транспортен шум

> *„За източник на автотранспортния шум се приема оста на пътното платно за движение при двулентови пътища и оста на крайните ленти за движение при четирилентови пътища и автомагистрали. Височината на източника се приема на 0,5 м от нивото на настилката (4), стр. 2, т. 2.4.“*



Фигура V-2: Източник за шум. 1 – място на излъчване; 2 – изчислителна точка на въздействие; A – разстояние до ШЗС; B – разстояние от ШЗС до точката; S – най-късото разстояние (7), стр. 49, фиг. 7.4

> *„Защитаван обект се нарича населеното място, курорт или друг район, попадащ в зона с автотранспортен шум над допустимите норми и за който се налага осъществяване на мероприятие за намаляване на шума (4), стр. 2, т. 2.5.“*

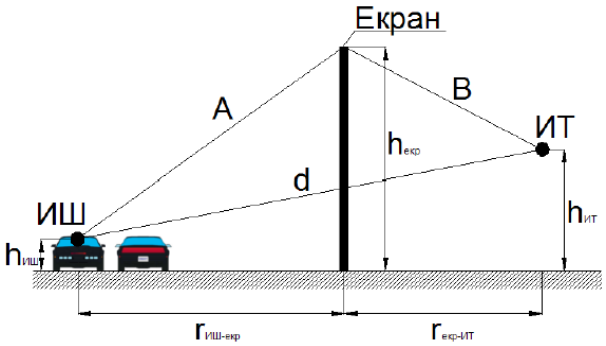
4. Структурен шум

Под понятието структурен шум се подразбира нежеланият звук, образуван от всеки железопътен транспорт и вибрациите, които се създават. Структурният шум, генериран от железопътния транспорт, има различна природа и механизъм на възникване в сравнение с въздушния транспортен шум, поради което изисква собствен методологичен подход. Обоснованото ограничаване на обхвата на настоящата дисертация до шума от автомобилния трафик позволява задълбочено и фокусирано изследване на влиянието на местоположението на ШЗС върху пътната безопасност – проблематика, специфична именно за пътната инфраструктура.

5. Мероприятия за редуциране на шумовото въздействие

Прегледът на разнообразните мерки за шумозащита – от земни насипи и зелени пояси до конвенционалните шумозащитни стени – показва, че изборът на подходящо мероприятие зависи от множество фактори: характера на територията (урбанизирана или неурбанизирана), наличното пространство, разстоянието до защитавания обект, климатичните условия и бюджетните ограничения (9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16).

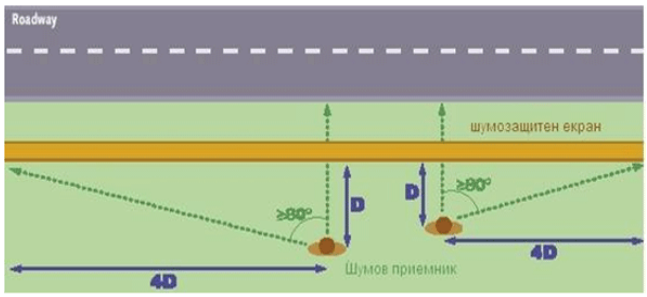
$$\Delta L_{Aекр} = f\left(h_{екр}, \ell_{екр}, r_{ИШ-екр}, r_{екр-ИТ}, h_{ИТ}, h_{ИШ}\right).$$



Фигура V-3: Схема на действие на шумозащитна бариера



Фигура V-4: Минимална изискуема височина на стените



Фигура V-5: Ефективна дължина на бариерата

5.1. Класификация на шумозащитните прегради

В Р. България се наблюдава използването на едни и същи конструкции и материали – изграждане на стоманобетонен цокъл с височина между 0,50–1,00 м, върху който се полагат шумопоглъщащи панели от алуминий с каменна вата или фибростъкло, или дървени панели, закрепени с помощта на стоманени профили НЕ 140–160, с различна височина, съобразно акустичното оразмеряване. По принцип на действие ШЗС биват: шумоотразяващи и шумопоглъщащи; по материал: бетонни, метални, дървени, стъклени и комбинирани.

5.2. Мероприятия в урбанизирани и неурбанизирани територии

В урбанизираните територии са предпочитани шумозащитните стени поради ограниченото налично пространство. Допълнителна мярка е замяната на износващия пласт на настилката с нискошумова, особено при скорости 40–50 км/ч. Извън населените места, при достатъчно пространство, земните насипи и зелените пояси са предпочитани. При автомагистрали с висока скорост изборът на мярка трябва задължително да отчита взаимодействието с ОСП и зоната на безопасност. (1)

6. Конструктивни изисквания при планиране и проектиране на ШЗС

Конструктивното оразмеряване на шумозащитните стени е засегнато в контекста на статичните и динамичните натоварвания. Основните натоварвания включват: собствено тегло; натоварване от вятър (основно проектно натоварване); аеродинамични сили от преминаващи МПС; натоварване от сняг; и въздействие от удар. Стандартът БДС EN 1794-1 (22) изрично посочва, че ШЗС не са проектирани да издържат на удар – именно поради това трябва да бъдат защитени с ОСП на достатъчно разстояние.

В настоящия труд конструктивното оразмеряване на шумозащитните стени е засегнато само обзорно, без претенции за изчерпателност или за принос в тази област. Причината е, че дисертацията няма за цел да предложи иновативни решения или усъвършенстване на методите за конструктивно оразмеряване — това е самостоятелна инженерна материя със собствена нормативна база и утвърдени изчислителни подходи. Фокусът на изследването е насочен към влиянието на местоположението на шумозащитните съоръжения върху безопасността на движението, а конструктивното оразмеряване само по себе си не оказва пряко въздействие върху пътната безопасност. По тази причина този аспект е разгледан единствено доколкото е необходимо за общото разбиране на съоръженията като елемент от пътната инфраструктура, без да навлиза в детайли, които биха изместили тематичния акцент на дисертацията.

7. Влияние на ШЗС върху работата на ОСП и взаимовръзката с пътната безопасност

7.1. Ограничителни системи за пътища

Ограничителните системи са част от пасивната безопасност на движение. Съгласно Наредба РД-02-20-1 от 01.04.2024 г. (28) и БДС EN 1317-2:2010 (19), ОСП се характеризират със: степен на задържане, клас на зона на действие и степен на сила на удара. Зоната на действие трябва да бъде по-малка или равна на разстоянието между страната на предпазното съоръжение и ръба на опасното място. Именно тази зона е компрометирана от монтирането на ШЗС в непосредствена близост.

7.2. Пътна безопасност

Идеята за разработването на дисертационния труд е наложилата се практика в Р. България: мерките за намаляване на шума от транспортен трафик се изпълняват на по-късен етап, налагайки позиционирането на ШЗС в банкета на пътя, на разстояние 30–70

см от монтираната ОСП. При настъпване на ПТП в такъв участък ОСП не може да изпълни функцията си, а участниците в произшествието се сблъскват с неподвижно твърдо тяло – предпоставка за многократно по-тежки последствия.

Съгласно действащата Наредба за ОСП (28), шумозащитните стени попадат в категорията „опасност от III-та степен“. Следователно всеки проект за ШЗС трябва да включва проверка дали монтираната ОСП е с параметри, адекватни на новата опасност. Тази стъпка обаче не е предвидена нито в заданието за проектиране на ШЗС, нито в Техническите правила за ОСП – тя пада в нормативна празнина между две самостоятелни инженерни дисциплини.

VI. ИЗВОДИ ОТ ТЕОРЕТИЧНАТА ЧАСТ

Въз основа на разгледаните в теоретичната част аспекти на шумовото замърсяване и мерките за неговото ограничаване, могат да се формулират следните изводи:

1. По отношение на физичната природа на звука и шума: шумовото замърсяване е комплексно явление, чието въздействие зависи от физичните параметри (честота, интензивност, продължителност) и от психо-физиологичното възприемане. Разбирането на тези характеристики е от основна важност за правилното оразмеряване на ШЗС и за избора на подходящи материали.
2. По отношение на влиянието на шума върху човешкото здраве: продължителното излагане засяга множество системи на организма – от централната нервна и сърдечно-съдовата система до слуховия апарат. Тези негативни ефекти обосновават ефективни мерки за шумозащита, но едновременно поставят въпроса за баланса между акустична ефективност и безопасно интегриране в пътната инфраструктура.
3. По отношение на транспортния шум: нормативната база се е развивала предимно в посока акустично оразмеряване – от Указанията за защита от автотранспортен шум (1996 г.) (7) до действащата Наредба №РД-02-20-2 (29) – без достатъчно обхват на аспектите на пътната безопасност.
4. По отношение на структурния шум: обоснованото ограничаване на обхвата до шума от автомобилния трафик позволява задълбочено и фокусирано изследване на специфична за пътната инфраструктура проблематика.
5. По отношение на мероприятията за редуциране и конструктивните изисквания: класификацията на прегради по материал, форма и принцип на действие е от пряко значение за определяне на оптималното местоположение. Стандартът БДС EN 1794-1 (22) изрично посочва, че ШЗС не са проектирани да издържат на удар – следователно трябва да се защитят с ОСП на достатъчно разстояние, покриващо пълната зона на действие на системата.

VII. ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКА ЧАСТ

1. Основни методически изисквания за извършване на обследвания на съществуващите ШЗС

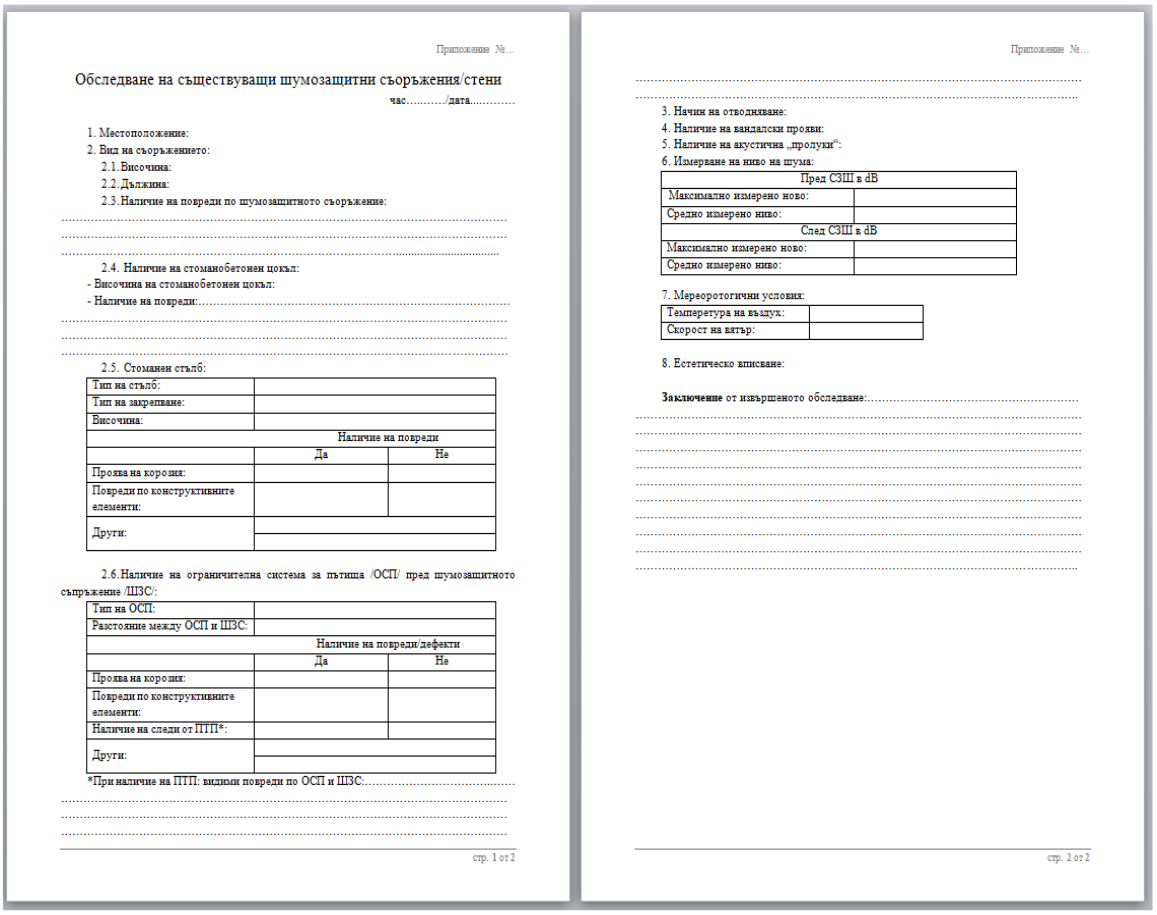
Една от целите на дисертационния труд е да се представят основните насоки при разработването на подходящ нормативен документ (ръководство, насоки, препоръки) за проектиране, строителство и поддържане на шумозащитните съоръжения. Основен пункт, върху който следва да се акцентира, е задължителното извършване на периодично обследване, във връзка с доказване на експлоатационната пригодност на монтираните ШЗС.

За да бъде подсигурена акустичната ефективност на съоръженията, е важно те да бъдат ежегодно обследвани. В тази връзка е създаден „чек лист“, обхващащ следните елементи:

- Местоположение на съоръжението;
- Вид на съоръжението – Височина и дължина; Наличие на повреди по обследваното съоръжение;
- Наличие на цокъл – Честа шумозащитните панели са монтирани върху стоманобетонни цокли/фундаменти – важно е да се отбелязва височината и наличието на видими дефекти;
- Стоманени стълбове НЕА профил – тип профил; начин на закрепване – анкериран в предварително излят пилот; наличие на корозия/ръжда;
- Наличие на ОСП – отбелязва се дали ШЗС е защитено с ОСП; измерва се осигуреното разстояние между двата елемента;
- Начин на отводняване на пътното платно;
- Наличие на вандалски прояви – графити, волево повреждане по ШЗС;
- Наличие на „акустични пролуки“;
- Измерване на шума преди и след ШЗС – по възможност: максимално измерено ниво и осреднена стойност;
- Метеорологични условия – температура на въздуха и скорост на вятъра;
- Дали ШЗС е естетически вписано в околната среда;
- Заключение от извършеното обследване.

Измервателни средства и точност. Геометричните измервания (разстояние ОСП–ШЗС, височина на цокъла, дължина на съоръженията) са извършени с ръчни измервателни уреди на място. Акустичните измервания не са реализирани с калибриран шумомер, тъй като резултатите са само за онагледяване на общата акустична обстановка, но са извършени при стандартизирани метеорологични условия, в дневния период 7:00–19:00 ч., с продължителност от порядъка на минута за всяка точка. Измерванията имат контролен, а не проектен характер – те потвърждават наличието и приблизителния порядък на акустичния ефект на съоръжението, но не заместват пълноценно денонощно (Lden)

акустично картографиране. Сезонните и денонощни вариации остават извън обхвата на настоящото изследване и са посочени като насока за бъдещи изследвания.



Приложение №...

Обследване на съществуващи шумозащитни съоръжения/стени

час...../дата.....

1. Местоположение:
2. Вид на съоръжението:
   2.1. Височина:
   2.2. Дължина:
   2.3. Наличие на повреди по шумозащитното съоръжение:

.....
.....
.....

2.4. Наличие на стоманобетонен цокъл:
- Височина на стоманобетонен цокъл:
- Наличие на повреди:.....

.....
.....
.....

2.5. Стоманен стълб:

Тип на стълб:		
Тип на закрепване:		
Височина:		
	Наличие на повреди	
	Да	Не
Проява на корозия:		
Повреди по конструктивните елементи:		
Други:		

2.6. Наличие на ограничителна система за пътища /ОСП/ пред шумозащитното съпръжение /ШЗС/:

Тип на ОСП:		
Разстояние между ОСП и ШЗС:		
	Наличие на повреди/дефекти	
	Да	Не
Проява на корозия:		
Повреди по конструктивните елементи:		
Наличие на следи от ПТП*:		
Други:		

*При наличие на ПТП: видими повреди по ОСП и ШЗС:.....

.....
.....
.....

стр. 1 от 2

Приложение №...

.....
.....

3. Начин на отводняване:
4. Наличие на вандалски прояви:
5. Наличие на акустична „пролуки“:
6. Измерване на ниво на шума:

Пред СЗШ в dB	
Максимално измерено ново:	
Средно измерено ниво:	
След СЗШ в dB	
Максимално измерено ново:	
Средно измерено ниво:	

7. Мереоротогични условия:

Температура на въздух:	
Скорост на вятър:	

8. Естетическо вписване:

Заключение от извършеното обследване:.....

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

стр. 2 от 2

Фигура VII-1: „Чек лист“ за извършване на обследване

Разработения „Чек лист“ е неразделна част от дисертационния труд като Приложение №1.

2. Оценка на експлоатационното състояние на съществуващи ШЗС

Оценката на експлоатационното състояние на съществуващи ШЗС се извършва чрез разработени алгоритми за оценяване на състоянието от гледна точка на пътната безопасност и функционалността. Във всеки алгоритъм максималният брой точки е 100 – колкото повече точки, толкова по-лошо е състоянието. Разпределението е извършено на базата на литературния обзор, теоретичната част и опита на автора, верифицирано чрез статистически метод, изведен от извършените огледи.

За разпределението на точките е използван статистически метод, който е изведен от извършените огледи на разгледаните по-долу участъци от транспортната мрежа на Р. България и извършен математически анализ при разпределение на точките за конкретния Алгоритъм във връзка с преценката на автора за важността на повреди по ШЗС или експлоатационните му качества.

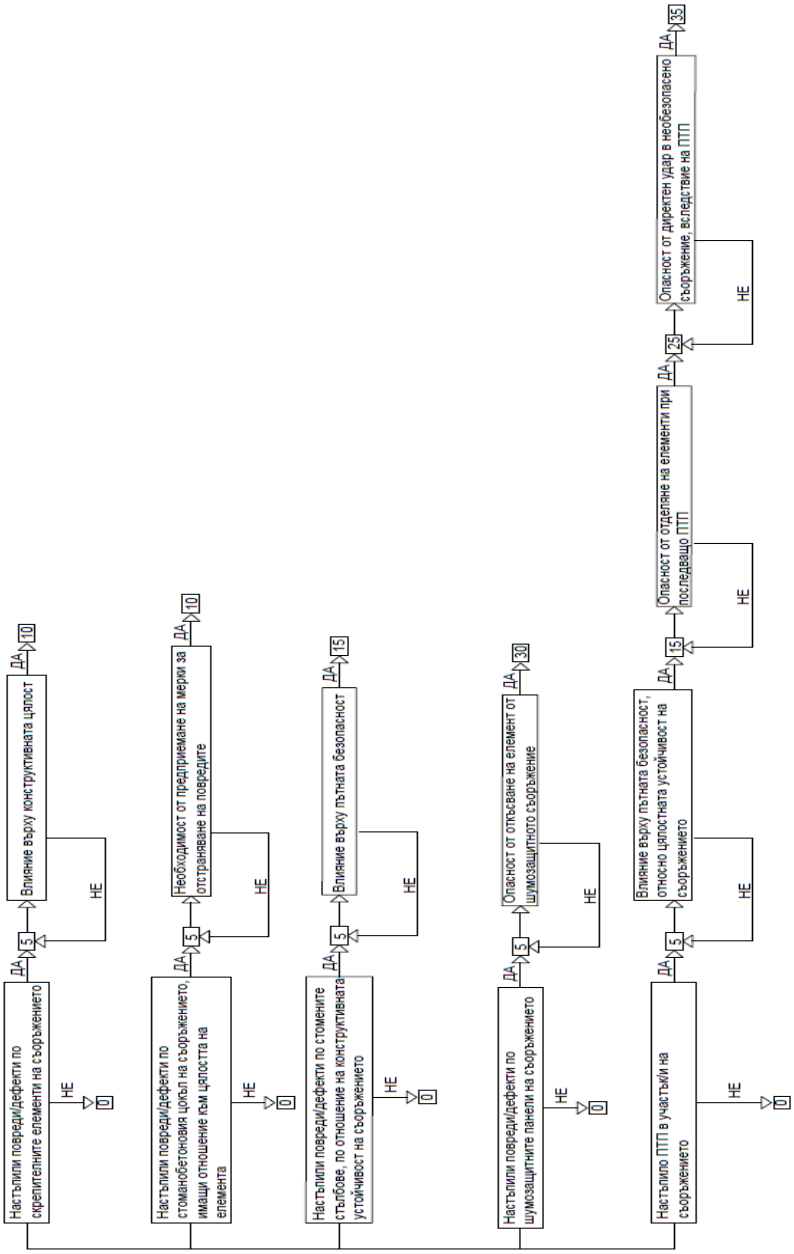
2.1. Алгоритъм от гледна точка на безопасността за движение (Алгоритъм 1)

Алгоритъм 1 е създаден с цел оценка на влиянието на монтирано ШЗС върху безопасността на движението. Повредите са систематизирани в пет категории:

1. Повреди по скрепителните елементи – до 10 точки;
2. Повреди по стоманобетоновия цокъл – до 10 точки;
3. Повреди по стоманените стълбове – до 15 точки;
4. Повреди по шумозащитните панели с опасност от откъсване на елемент – до 30 точки;
5. Настъпили пътнотранспортни произшествия в участъка на съоръжението – до 35 точки.

Разпределението на тежестите е съобразено с принципа на нарастваща опасност за участниците в движението. Всяка категория започва с базова оценка от 0 точки (при липса на констатиран дефект) и се увеличава стъпаловидно в зависимост от тежестта на последствията. Категориите с най-ниска тежест — повреди по скрепителните елементи и по стоманобетоновия цокъл — носят до 10 точки всяка, тъй като тези повреди засягат предимно конструктивната цялост на съоръжението, без непосредствена заплаха за движещите се превозни средства. Повредите по стоманените стълбове носят до 15 точки, тъй като нарушената конструктивна устойчивост на стълбовете може да доведе до нестабилност на цялото съоръжение. Най-висока тежест имат повредите по шумозащитните панели с опасност от откъсване на елемент (до 30 точки) и настъпилите ПТП (до 35 точки), тъй като при тези ситуации съществува пряка заплаха за живота и здравето на участниците в движението — откъснат панел може да навлезе в пътното платно, а настъпило ПТП с директен удар в необезопасено съоръжение може да доведе до тежки последствия.

АЛГОРИТЪМ
от гледна точка на безопасността за движение



Фигура VII-2: Алгоритъм от гледна точка за безопасността за движение

<u>Скалата за оценка</u> е дефинирана в пет степени:

- **Отлично** – ≤ 30 т.: не се предприемат действия;
- **Много добро** – ≤ 40 т.: не се предприемат действия;
- **Задоволително** – ≤ 50 т.: Краткосрочни или Средносрочни мерки;
- **Лошо** – > 50 т.: задължителни Незабавни мерки;
- **Много лошо** – ≥ 70 т.: задължителни Незабавни мерки.

Типове **реактивни мерки** от гледна точка на пътната безопасност:

- **Незабавни** – ремонтиране на повреден елемент, панел или на ОСП, компрометираща безопасността на движение;
- **Краткосрочни** – цялостен оглед и подмяна на увредените панели, крепежни елементи и носещи конструкции с намалено, но непосредствено неопасно качество;
- **Средносрочни** – ремонтни дейности в по-широк обхват, включително корекция на геометрията и монтиране на ОСП пред съоръжението при неотговарящо решение;
- **Дългосрочни** – подмяна на ОСП с по-висока степен на защита и по-малка зона на действие, ако не е осигурено необходимото разстояние.

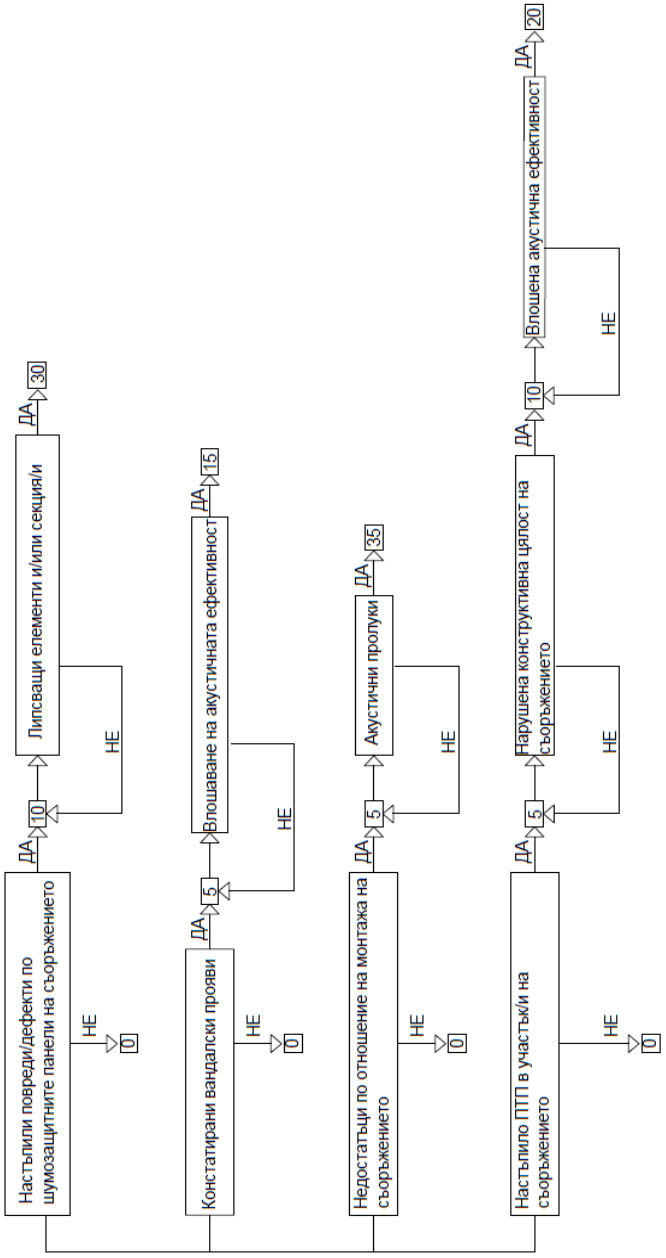
2.2. Алгоритъм от гледна точка на функционалността (Алгоритъм 2)

Алгоритъм 2 е създаден с цел оценка на функционалността на шумозащитното съоръжение – доколко то изпълнява основното си предназначение за намаляване на шума. Повредите са в четири категории:

1. Повреди по шумозащитните панели с липсващи елементи или секции – до 30 точки;
2. Вандалски повреди – до 15 точки;
3. Недостатъци по отношение на монтажа, водещи до акустични пролуки – до 35 точки;
4. Настъпили пътнотранспортни произшествия, ако са довели до влошена акустична ефективност – до 20 точки.

Разпределението на тежестите при този алгоритъм следва принципа на нарастващо влошаване на акустичната ефективност. Най-висока тежест имат недостатъците по монтажа, водещи до акустични пролуки (до 35 точки), тъй като те компрометират звукоизолиращата функция на съоръжението по най-директен начин — звукът преминава през неуплътнените фуги и пролуки, като ефектът е пропорционален на площта на отвора. Повредите по панелите с липсващи елементи или секции носят до 30 точки, тъй като отсъствието на цели панели създава значителен отвор, който обезсмисля работата на съоръжението. Вандалските повреди носят до 15 точки, а настъпилите ПТП — до 20 точки допълнително, ако са довели до влошена акустична ефективност.

АЛГОРИТЪМ
от гледна точка на функционалността на съоръжението



Фигура VII-3: Алгоритъм от гледна точка на функционалността на съоръжението

<u>Скалата за оценка</u> на Алгоритъм 2: **Отлично** ≤ 30 т.; **Много добро** ≤ 40 т.; **Задоволително** ≤ 50 т.; **Лошо** > 50 т.; **Много лошо** ≥ 80 т.

Типове **<u>реактивни мерки</u>** от гледна точка на функционалността:

– **Незабавни** – запечатване на акустични пролуки, подмяна на откъснати или липсващи панели;

- **Краткосрочни** – почистване, запечатване на фугите и монтиране на липсващи панели;
- **Средносрочни** – цялостен ремонт на засегнати секции, проверка и корекция на монтажа;
- **Дългосрочни** – подмяна на системата с акустично по-ефективна конструкция при установена необратима деградация.

Скалата за оценка на Алгоритъм 2 е умишлено сравнително еднаква с тази на Алгоритъм 1, освен прагът за „Много лошо“ по Алгоритъм 1, който е по-нисък (≥70 т. срещу ≥80 т., тъй като повредите с пряка заплаха за живота и здравето налагат незабавни мерки при по-ниско ниво на натрупване от акустичните дефекти), с цел да се създаде възможност за по-адекватно съпоставяне на оценките за безопасност на движението и функционалност на съоръжението.

3. Теренни обследвания

Разгледаните участъци в настоящата Експериментална част са избрани след извършване на анализ на участъците от републиканската пътна мрежа, на които има монтирани шумозащитни съоръжения, които се експлоатират от известен период от време – над 6 месеца. Разглежданите участъци са така подбрани, че да има разнообразие в участъците: класа на републикански път; дължината; разположение в неурбанизирана територия; преминаване през границите на населени места; разнообразие в разположението на източника на шум до защитаваните обекти. За целите на дисертационния труд е определено да се разгледат следните участъци „представителна извадка“, част от републиканската пътна мрежа:

- Автомагистрални участъци;
- Пътища от II и III клас, като част от тях преминават директно през населени места;
- Транспортни артерии, които обслужват интензивен тежкотоварен трафик.

За всеки един от долу изброените участъци е попълнен „чек лист“ при извършване на обследването, както и е приложен Алгоритъм за оценка на влиянието на монтирано шумозащитно съоръжение върху безопасността на движението и Алгоритъм за оценка на функционалността на шумозащитното съоръжение:

3.1. АМ „Хемус“ А-2

Обследването е извършено в 4 (четири) участъка: от км 6+750 до км 6+802; от км 6+884 до км 7+000; от км 7+000 до км 7+140; от км 7+140 до км 7+492. Избраната конструкция се състои от дървени панели с изолация от вата, монтирани върху стоманобетонов фундамент с височина 40 см. Констатирани са значителни конструктивни повреди по панелите – секции, в които изцяло липсваха. Предвиденото отводняване е компрометирано поради лошо поддържане.

Измерено разстояние между ОСП и ШЗС – между 30 и 35 см. Максималното измерено ниво на шум пред съоръжението е до 104 dB, а нивото на шум зад съоръженията достигна максимална стойност от 55 dB, със средна стойност 48 dB. Въпреки физическото състояние на съоръженията, акустичната ефективност е много добра.



ФигураVII-4: Шумозащитно съоръжение, монтирано на АМ „Хемус“



Фигура VII-5: Шумозащитно съоръжение, монтирано на АМ „Хемус“

От гледна точка на безопасността за движение:

- от км 6+750 до км 6+802 – 40 т.: много добро;
- от км 6+884 до км 7+000 – 35 т.: много добро;
- от км 7+000 до км 7+140 – 35 т.: много добро;
- от км 7+140 до км 7+492 – 35 т.: много добро.

От гледна точка на функционалността:

- от км 6+750 до км 6+802 – 30 т.: отлично;
- от км 6+884 до км 7+000 – 30 т.: отлично;
- от км 7+000 до км 7+140 – 30 т.: отлично;
- от км 7+140 до км 7+492 – 30 т.: отлично.

Обследването на участъците по АМ „Хемус“ потвърждава, че въпреки задоволителната акустична ефективност (намаление от максимална стойност 104 dB до спад от 54-56 dB), от гледна точка на пътната безопасност се наблюдават проблеми. Малкото разстояние между ОСП и ШЗС (30–35 см) не осигурява пълноценното разгъване на зоната на действие. Разминаването между двете оценки – „много добро“ по безопасност

и „отлично“ по функционалност – илюстрира основната теза на дисертацията: акустично ефективно съоръжение може едновременно да компрометира пътната безопасност.

3.2. АМ „Струма“ А-3 / АМ „Люлин“ А-2

Извършено е обследване на 3 участъка с монтирани ШЗС: от км 1+989,50 до км 2+421,50; от км 5+455,90 до км 5+951,90; от км 13+452,08 до км 13+872,08. Съоръженията са съставени от панели от фибростъкло и алуминий, монтирани директно върху бетоновата тротоарна конзола на пътното съоръжение.

В първия участък разстоянието ОСП–ШЗС е 120 см; максималното ниво на шум – 110 dB. Съоръжението е в задоволително състояние, с образуване на корозия по панелите. Във втория участък е констатирано компрометиране в конструкцията – вероятно вследствие на подмяна на ОСП без съответна промяна в позицията на ШЗС. Разстояние ОСП–ШЗС – 130 см; максималното ниво на шум – 105 dB. В третия участък са установени деформирани панели от удар от МПС и неакустично запечатани отводнителни улеи, водещи до акустично „изтичане“. Разстояние ОСП–ШЗС – 96 см; максималното ниво на шум – 104 dB.



Фигура VII-6: Шумозащитно съоръжение, монтирано на АМ „Струма“

От гледна точка на безопасността за движение:

- от км 1+989,50 до км 2+421,50 – 10 т.: отлично;
- от км 5+455,90 до км 5+951,90 – 5 т.: отлично;
- от км 13+452,08 до км 13+872,08 – 5 т.: отлично.

От гледна точка на функционалността на съоръженията:

- от км 1+989,50 до км 2+421,50 – 20 т.: отлично;
- от км 5+455,90 до км 5+951,90 – 15 т.: отлично;
- от км 13+452,08 до км 13+872,08 – 45 т.: много добро.

Участъците по АМ „Струма“ се отличават с по-голямо разстояние между ОСП и ШЗС (96–130 см), което е отразено в по-добрите оценки по критерия за безопасност. Дори при по-добро позициониране обаче, деформираните панели и незапечатаните улеи показват, че липсата на цялостен подход при проектирането и изпълнението води до пропуски.

3.3. АМ „Европа“ – Северна скоростна тангента

Обследването е извършено на участъците: от км 11+330 до км 11+845 и от км 13+800 до км 14+161. От извършеното обследване е видно, че ШЗС е съставено от алуминиеви панели с пълнеж от каменна вата, поставени върху стоманобетонен цокъл с височина 50 см, има наличие на акустични „пролуки“, вандалски прояви. За 876 м имаше следи от общо 3 пътнотранспортни произшествия. Измереното разстояние между ШЗС и ОСП е от 26 до 40 см. Максималното измерено ниво на шум – 98 dB; средното – 71 dB.



ФигураVII-7: Шумозащитно съоръжение, монтирано на Северна скоростна тангента

От гледна точка на безопасността за движение:

- от км 11+330 до км 11+845 – 15 т.: отлично;
- от км 13+800 до км 14+161 – 45 т.: задоволително.

От гледна точка на функционалността на съоръженията:

- от км 11+330 до км 11+845 – 35 т.: много добро;
- от км 13+800 до км 14+161 – 90 т.: много лошо.

Обследването на Северната скоростна тангента разкрива най-тревожните констатации от целия изследователски обхват. Разстоянието между ШЗС и ОСП от едва 26–40 см е най-малкото от всички обследвани участъци, а наличието на следи от 3 пътнотранспортни произшествия в рамките на 876 м е показателно за реалния риск от сблъсък на МПС с шумозащитното съоръжение. Оценката от 45 точки – „задоволително“ по Алгоритъм 1 – е единствената под „много добро“ по критерия за безопасност в цялата извадка, а по Алгоритъм 2 за функционалност същият участък получава 90 точки – „много лошо“. Съвпадането на най-ниските оценки по двата критерия в един и същ участък подкрепя основната теза на дисертационния труд.

3.4. Републикански път II-18 „Околовръстен път София“ – Западна дъга

Обследването е извършено на участъците: от км 0+941,35 до км 1+217,35 и от км 1+400 до км 2+580. Пред монтираните ШЗС не е поставена ОСП, освен на съоръжението при кръговото кръстовище. При обследването са установени: вандалски прояви, акустични „пролуки“, повреди по панелите и по стоманобетонните фундаменти. Максималното ниво на шум преди ШЗС – 91 dB.



ФигураVII-8: Шумозащитно съоръжение – СОП Западна дъга, км 0+941,35 до км 1+217,35



Фигура VII-9: Шумозащитно съоръжение – СОП Западна дъга, км 1+400 до км 2+580

От гледна точка на безопасността за движение:

- от км 0+941,35 до км 1+217,35 – 0 т.: отлично;
- от км 1+400 до км 2+580 – 15 т.: отлично.

От гледна точка на функционалността на съоръженията:

- от км 0+941,35 до км 1+217,35 – 10 т.: отлично;
- от км 1+400 до км 2+580 – 50 т.: задоволително.

Обследването на път II-18 представлява специфичен случай – пред монтираните ШЗС не е поставена ОСП. Оценката от 0 точки за безопасност е формално „отлично“, но поради липса на ОСП, а не поради добро проектиране.

3.5. Републикански път II-57 – гр. Раднево

Всички разгледани участъци на път II-57 се намират в урбанизираната територия на гр. Раднево (10 участъка от км 25+538 до км 27+478). Обследваните съоръжения са монтирани през 2019 г. след рехабилитация, финансирана от ОП „Региони в растеж“ 2014–2020. Използвани са два типа панели – прозрачни и алуминиеви с пълнеж – монтирани върху стоманобетонов цокъл 45–50 см с профили HE160A. Отводняването е компрометирано. В участъка има автобусна спирка, пространството зад нея не е защитено – необходимо е преразглеждане на проектното решение. В участъците с монтирана ОСП

разстоянието е 40–50 см. Предвид скоростта от 40 км/ч монтирането на ОСП не е задължително. Максималното ниво на шум – 63 dB.



Фигура VII-10: Шумозащитно съоръжение, монтирано на път II-57



Фигура VII-11: Шумозащитно съоръжение, детайл от монтажа – път II-57, гр. Раднево

От гледна точка на безопасността за движение:

- от км 25+538 до км 25+918 – 10 т.: отлично;
- от км 26+032 до км 26+174 – 5 т.: отлично;
- от км 26+185 до км 26+235 – 0 т.: отлично;
- от км 26+350 до км 26+456 – 0 т.: отлично;
- от км 26+556 до км 26+608 – 5 т.: отлично;
- от км 26+670 до км 26+830 – 0 т.: отлично;
- от км 36+908 до км 27+036 – 0 т.: отлично;
- от км 27+120 до км 27+272 – 0 т.: отлично;
- от км 27+284 до км 27+380 – 0 т.: отлично;
- от км 27+390 до км 27+478 – 0 т.: отлично.

От гледна точка на функционалността на съоръженията:

- от км 25+538 до км 25+918 – 10 т.: отлично;
- от км 26+032 до км 26+174 – 15 т.: отлично;

- от км 26+185 до км 26+235 – 0 т.: отлично;
- от км 26+350 до км 26+456 – 0 т.: отлично;
- от км 26+556 до км 26+608 – 10 т.: отлично;
- от км 26+670 до км 26+830 – 35 т.: много добро;
- от км 36+908 до км 27+036 – 0 т.: отлично;
- от км 27+120 до км 27+272 – 0 т.: отлично;
- от км 27+284 до км 27+380 – 0 т.: отлично;
- от км 27+390 до км 27+478 – 0 т.: отлично.

Обследването на път II-57 представя специфичен контекст – урбанизирана територия с ниска разрешена скорост (40 км/ч). Идентифицираният проблем с автобусната спирка илюстрира необходимостта от интегриран подход при проектирането на ШЗС в урбанизирани територии.

3.6. Републикански път III-5004 – Обход на гр. Габрово

Шумозащитните съоръжения на обходния път на гр. Габрово са въведени в експлоатация през 2020 г. Обследвани са шест участъка от км 7+430 до км 19+656. Целта е извършване на контрол на строително-монтажните дейности. Установени са следните недостатъци: монтажът не е извършен качествено – в начален етап на експлоатация са допуснати акустични пролуки; позиционирането на съоръженията затруднява видимостта в кръстовище при пресичане с обслужваща улица; не е осигурено подходящо „зануляване“ на стената.



Фигура VII-12: Шумозащитно съоръжение – Обходен път на гр. Габрово (път III-5004), км 7+430 до км 7+652

От гледна точка на безопасността за движение:

- от км 7+430 до км 7+642 – 0 т.: отлично;
- от км 10+980 до км 11+200 – 0 т.: отлично;
- от км 11+423 до км 11+680 – 0 т.: отлично;
- от км 15+382 до км 15+481 – 0 т.: отлично;
- от км 15+512 до км 15+656 – 0 т.: отлично;
- от км 19+000 до км 19+656 – 0 т.: отлично.

От гледна точка на функционалността на съоръженията:

- от км 7+430 до км 7+642 – 35 т.: много добро;
- от км 10+980 до км 11+200 – 5 т.: отлично;
- от км 11+423 до км 11+680 – 0 т.: отлично;
- от км 15+382 до км 15+481 – 0 т.: отлично;
- от км 15+512 до км 15+656 – 0 т.: отлично;
- от км 19+000 до км 19+656 – 0 т.: отлично.

Обследването на обходния път на Габрово е особено ценно, тъй като е извършено непосредствено след въвеждане в експлоатация на съоръженията (2020 г.). Констатираните акустични пролуки още в начален етап свидетелстват за недостатъчен контрол при строителството. Особено тревожни са позиционирането на съоръженията, което затруднява видимостта в обхвата на кръстовище, и липсата на подходящо „зануляване“ на стената. Тези констатации директно подкрепят препоръката за въвеждане на задължителен контрол при строителството и въвеждането в експлоатация на ШЗС.

3.7. Заключение от извършените обследвания

От извършеното обследване и оценяване се прави следното заключение:

От гледна точка на безопасността за движение: 22 бр. участъка са в отлично състояние; 4 бр. участъка – в много добро и 1 бр. – в задоволително.

От гледна точка на функционалността на съоръженията: 21 бр. участъка са в отлично; 4 бр. – в много добро; 1 бр. – в задоволително; 1 бр. – в много лошо.

Количественото обобщение на оценките – 21 участъка с оценка „отлично“ по безопасност – само по себе си не разкрива цялостната картина. Данните придобиват смисъл едва когато се разгледат в контекста на конкретните условия, при които са получени тези оценки, и на разпределението на резултатите между шестте обследвани обекта. Най-значимата зависимост, установена при обследванията, е ясната взаимовръзка между разстоянието ОСП–ШЗС и оценката по Алгоритъм 1 за безопасност. Северната скоростна тангента, с измерено разстояние от 26–40 см – най-малкото от всички обследвани обекти – е единственият участък с оценка „задоволително“ по безопасност, и единственият със следи от 3 пътнотранспортни произшествия, установени при обследването на място в рамките на 876 м. АМ „Струма“, с разстояние 120 см, получава оценка „отлично“ и по двата критерия. АМ „Хемус“, с разстояние 30–35 см, се установява в категория „много добро“ по безопасност, въпреки „отлична“ акустична ефективност. Тази зависимост, макар и изведена от ограничена изследователска извадка, е последователна и подкрепя основната теза на дисертационния труд.

Обследванията разкриват и важен парадокс, свързан с методологичната граница на разработения алгоритъм. Участъците по Западна дъга (път II-18) получават оценка 0 точки по Алгоритъм 1 — формално „отлично“ — не защото са безопасно проектирани, а защото пред тях изобщо не е монтирана ОСП. Алгоритъмът не може да санкционира отсъствието

на нещо, което е трябвало да бъде налице. При тази констатация е необходима качествена оценка, надхвърляща числовия резултат: липсата на ОСП пред шумозащитно съоръжение, позиционирано в зоната за безопасност, представлява проблем, нерефлектиран от алгоритъма, но идентифициран при самото обследване.

Съпоставени, трите категории констатации – компрометирана ОСП поради малко разстояние (СТ, АМ „Хемус“), липсваща ОСП (Западна дъга) и некачествено изпълнение (Габрово) – очертават системен, а не случаен характер на проблема. Той не е локализиран в един обект или един вид грешка, а произтича от липсата на интегриран подход при планирането, проектирането, изграждането и приемането на шумозащитните съоръжения. Именно тази системна природа прави невъзможно разрешаването на проблема чрез точкови поправки и обосновава необходимостта от разработване на цялостен нормативен документ.

Таблица VII-1: Обобщение на резултатите от обследванията

Участък	**Бр.**	**Тип панели**	**Разстояние ОСП–ШЗС**	**Макс. ниво пред ШЗС (dB)**	**Безопасност**	**Функционалност**
АМ Хемус	4	дървени панели	30–35 см	104 dB	Мн. добро	Отлично
АМ Струма	3	комбиниран (алум.+вата/фибро)	120 см	92 dB	Отлично	Отлично–Много добро
СОП–СТ	2	Алум./вата	26–40 см	98 dB	Отлично–Задоволителн о	Много добро-Много лошо
Път II-18	2	Алум./вата	Без ОСП	92 dB	Отлично	Отлично-Задоволително
Път II-57	10	комбиниран/алуминиеви	42–50 см (само Прил.24); ост. без ОСП	87 dB	Отлично	Отлично–Много добро
Път III-5004	6	Алум./вата	0,95–1,00 м	88 dB	Отлично	Отлично–Задоволително

От обобщените данни се открояват няколко ключови зависимости. Първо, съществува ясна взаимовръзка между разстоянието ОСП–ШЗС и оценката за безопасност – участъците с най-малко разстояние (СОП–СТ: 26–40 см) получават най-ниските оценки. Второ, акустичната ефективност не е гаранция за добро състояние от гледна точка на безопасността – АМ „Хемус“ демонстрира отлична акустична ефективност при едновременно наличие на проблеми с безопасността. Трето, новопостроените съоръжения (път III-5004) показват пропуски още при въвеждане в експлоатация, което подчертава необходимостта от контрол на качеството на строително-монтажните дейности.

4. Анализ на мерките за възстановяване на съоръженията

По информация на Агенция „Пътна инфраструктура“, при настъпване на ПТП с разрушаване на конструктивната цялост на ШЗС, ремонтно-възстановителните работи се изпълняват по Програма „Поддържане на републиканските пътища“. Необходимият

ресурс се отчита за 1 метър линеен. При проведеното проучване не бе установено наличието на детайлна информация за конкретните процедури и срокове при възстановяване. Не е наличен регистър на повредите, нито систематизирана информация за причините – дали от ПТП, метеорологични въздействия, вандализъм или конструктивни дефекти.

Този пропуск е в контраст с международната практика: в Дания (49), Германия и Австрия (59) поддържането е регламентирано с конкретни процедури, ясно дефинирани критерии и предписания в зависимост от типа и степента на повредата. Разработените авторски инструменти – Чек лист и двата Алгоритъма – са стъпка към запълването на тази празнина.

5. Анализ на поведението и взаимодействието между ОСП и ШЗС

В настоящата практика основание за предприемане на мерки за намаляване на шумовото замърсяване са установени повишени нива на шум. За да бъде акустично ефективна предприетата мярка, съоръженията в общия случай се монтират в непосредствена близост до пътното платно – след ОСП в зоната на банкета.

Във връзка с всичко изложено до тук, се обуславя следното: необходимо ли е да се изследва работата и взаимодействието между ОСП и ШЗС, предвид наложилата се практика за монтирането им в непосредствена близост?

Софтуерният продукт LS-DYNA се използва от множество индустрии – автомобилни и производители на ОСП, за определяне на поведението на произвежданите от тях превозни средства и ОПС.

Чрез пресъздаване на методи за изпитване на ОСП – краш-тестове, може да анализираме и оценим горепосоченото взаимодействие между ОСП и ШЗС. Компютърната симулация би дала отговор на следните въпроси:

A. Какво е поведението на ОСП, което не може да изпълни предназначението си?;

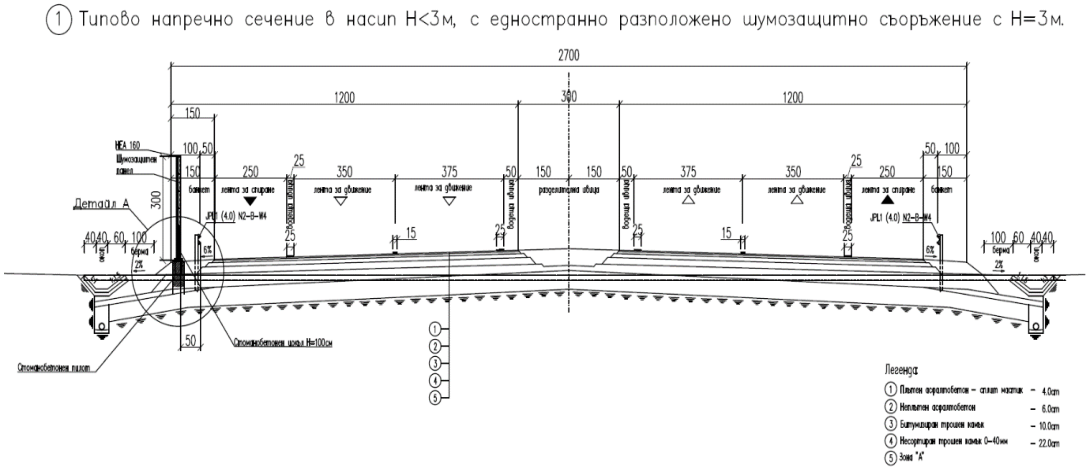
B. Какво е поведението на ШЗС, което се явява като неподвижно твърдо тяло, с минимално до нулеви еласто-пластични характеристики, при настъпване на сблъсък?;

Тук е необходимо да се уточни, че в общия случай практиката използва шумозащитни панели (начин на действие – шумопоглъщащи или шумоотблъскващи) монтирани с помощта на стоманени стълбове и положени върху стоманобетонов цокъл. Какво ще е поведението и какви ще са нанесените щети по ШЗС и превозното средство при сблъсък с панелите или в стоманените стълбове; възможно ли е наличието на цокъла да предизвика преобръщане на МПС, породено от предизвикване на повреда по ходовата част на автомобила – предна ос.

C. Какво е поведението на МПС при удар – ще се причинят ли повече щети по средството и пътниците?

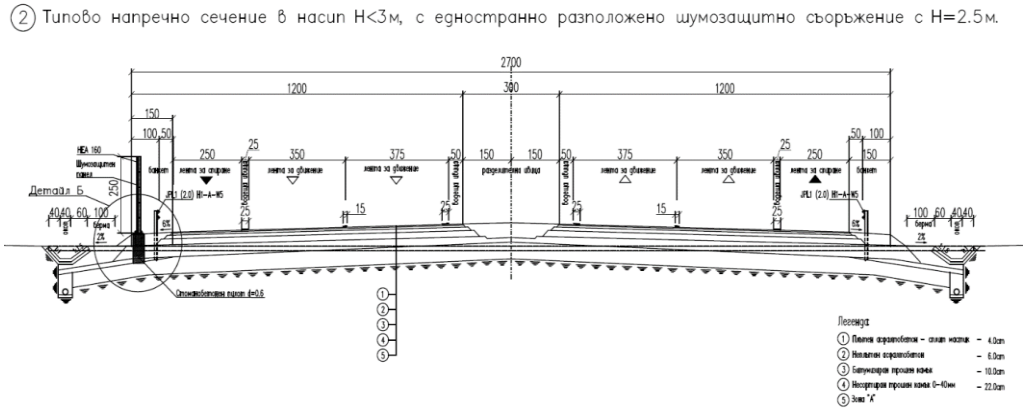
Чрез пресъздаване на методи за изпитване на ОСП – краш-тестове – може да се анализира взаимодействието между ОСП и ШЗС. С реализирането на настоящата Експериментална част са изработени три варианта, доближаващи се до съществуващите примери:

1) Пътно сечение в насип под 3 м с монтирани ОСП N2W4 и ШЗС с височина 3 м – стоманобетонен цокъл с височина 50 см, стоманени стълбове HE160A и стоманобетонни фундаменти с 1,50 м. Разстоянието между съоръженията е избрано 50 см.



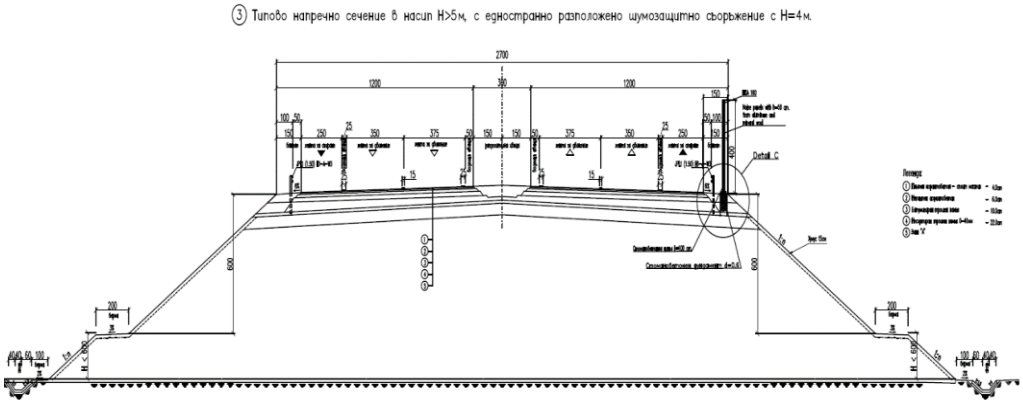
Фигура VII-13: Пътно сечение в насип под 3 м с монтирани ОСП N2W4 и ШЗС с височина 3 м.

2) Пътно сечение в насип под 3 м с монтирани ОСП H1W5 и ШЗС с височина 2,5 м, стоманени стълбове HE160A и стоманобетонни фундаменти с 1,50 м. Разстоянието между съоръженията е избрано 50 см.



Фигура VII-14: Пътно сечение в насип под 3 м с монтирани ОСП H1W5 и ШЗС с височина 2,5 м.

3) Пътно сечение в насип над 5 м с монтирани ОСП H1W3 и ШЗС с височина 4 м, стоманобетонен цокъл с височина 100 см, стоманени стълбове HE160A и стоманобетонни фундаменти с 2,00 м. Разстоянието между съоръженията е избрано 40 см.



Фигура VII-15: Пътно сечение в насип над 5 м с монтирани ОСП H1W3 и ШЗС с височина 4 м

За реализиране на опита бе потърсена помощта на белгийското дружество GDTech – водеща компания в изпълнението на пълния процес на разработване на продукт, включващ проектирането (CAD), валидирането на дизайна с помощта на числена симулация, производствените методи и проектирането на свързани инструменти и приспособления, производството (CAM), тестването на продукта, сертифициране на продукти. Компанията прояви интерес към темата на дисертацията, предвид оригиналността на проблема и липсата на подобни провеждани проучвания. Предложението, което бе предоставено, във финансово отношение, бе напълно непосилно – за възпроизвеждане само на Вариант 1, при използването на критерии за изпитване ТВ 32, стойността на симулацията е калкулирана на 3 600,00 евро. За да се реализират всички варианти общата стойност на проучването е 19 200,00 евро.

Предвид финансовата неосъществимост на симулацията, отговорите на поставените въпроси се извеждат въз основа на теоретичните познания от дисертационния труд и констатациите от извършените обследвания:

А. Какво е поведението на ОСП, което не може да изпълни предназначението си?

Предвид, че не е осигурено необходимото място за развиване на действителната зона на действие на системата, тя не може да изпълни основната си функция – безопасно задържане на отклонило се превозно средство. В тази връзка следва да приемем, че по-големи материални щети ще се нанесат, както на превозното средство и на ШЗС, така и по-големи нематериални щети (възможно е инцидентът да приключи с фатален край за пътниците в МПС);

Б. Какво е поведението на ШЗС, което се явява като неподвижно твърдо тяло, с минимално до нулеви еласто-пластични характеристики, при настъпване на сблъсък?

ШЗС се явява твърдо, неподвижно тяло с минимални еласто-пластични характеристики. При сблъсък с панелите – риск от откъсване и навлизане на пътното платно; при сблъсък в стоманения стълб – риск от пробив и тежки щети по МПС. Наличието на стоманобетонния цокъл може да предизвика повреда на ходовата част и преобръщане на МПС;

В. Какво е поведението на МПС при удар – ще се причинят ли повече щети по средството и пътниците?

При удар в ШЗС при неизпълнена функция на ОСП ще се причинят значително повече щети по превозното средство и пътниците, отколкото при коректно функциониращa ограничителна система.

6. Проучване на влиянието на ШЗС върху възприятията на шофьорите и пътниците

Нарастващият обем на товарния и пътническия трафик, свързан с икономическото развитие, води до непрекъснато повишаване на нивата на шум от транспорта. Към момента в Р. България не е извършено проучване, представящо представителна извадка на възприемането на прилаганите мерки от страна на ползвателите на пътя и защитаваното население.

Утвърдилата се практика в Р. България се доказа с недостатъци относно: избора на различни материали, конструкции и геометрия; насоките за най-подходящо местоположение в напречно сечение; естетическото вписване в заобикалящата среда; изследването на зрителното възприятие на непрекъсната „визуална преграда“ от ползвателите; оценката на рисковете при прозрачни панели – образуване на отблясъци и светлосенки по пътното платно, влошаване на зимното почистване и образуване на лед.

Сред идентифицираните проблеми с особена значимост е влиянието на ШЗС върху зрителното възприятие на водачите. Монотонният и продължителен визуален фон на дългите шумозащитни стени може да предизвика специфичен ефект на умора и дезориентация. Съгласно (8), при проектирането на едно значително дълго инженерно съоръжение визуално може да се обхване и възприеме в три степени:

1) Възприемане изцяло от близко разстояние;

2) Ограничено от едната страна;

3) Възприемане като „безкрайно“.

Последният вариант е с най-изявено присъствие – при неархитектурно интегрирани съоръжения може да се прояви „тунелно виждане“, при което периферното поле на зрението се стеснява и реакционното време на водача намалява.

Изведените констатации от теренните обследвания, анализа на взаимодействието ОСП–ШЗС и проучването на влиянието върху водачите очертават системен, а не случаен характер на идентифицираните проблеми. Тяхното преодоляване изисква цялостен нормативен отговор. В следващия раздел са формулирани основните препоръки, насочени към запълване на установените пропуски в българската практика и нормативна уредба.

Влияние на ефектите на светлината и сянката – възможно е съоръженията да образуват „шарка“ по пътното платно, което може да бъде много рисковано, защото времето, в което човешкото око се приспособява от силна, ясна слънчева светлина, към по-слаба, т.е. способността на водача на МПС да види обект, от различен характер, на пътното платно, се намалява значително.

В териториите с по-изразен климат, от сянката, образувана от ШЗС, може да се формира лед и поради намалената способност на зрението да се приспособи към околната среда, водачът може да не отчете образувания лед.

VIII. ОСНОВНИ ПРЕПОРЪКИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ И ИЗВОДИТЕ ОТ ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Разгледаните теоретични и практически аспекти създават предпоставки резултатите и приносите на дисертационния труд да бъдат използвани при разработването на ефективна, пълноценна и съвременна нормативна уредба, регламентираща шумозащитните мероприятия. Нормативната рамка (ръководство, насоки, указания) следва да обхване:

1. **Прецизиране на шумозащитните мерки** – гранични стойности; методи за измерване; изисквания към показателите на използваните материали, включително акустична ефективност, конструктивни и геометрични решения;
2. **Активна защита: монтиране на шумозащитни съоръжения** – подмяна на износващия пласт на пътната настилка с такава с по-добри акустични характеристики; изграждане на обходен маршрут; ограничаване на скоростта за движение;
3. **Пасивна защита**: подмяна на врати и прозорци с висока звукоизолация; изолация на фасади и покриви; ограничаване на строителство на жилищни сгради на по-малко от 1000 м от трасета на републикански пътища;
4. **Архитектурно-естетическа интеграция** на избраните съоръжения в околната среда – с акцент върху възприемането от ползвателите на пътя и жителите на защитената зона;
5. **Специални изисквания при проектиране**: отводняване; изисквания за видимост и странична дистанция; влияние на ефектите на светлината и сянката; защита от блъскане от автомобил и отломки; изисквания за ориентация; осигуряване на авариен достъп;
6. **Механизми за поддържане** – конкретни дейности по поддържането; период за извършване на инспекции; критерии за оценка; механизъм за определяне на пригодността.

Концепцията за „Чиста зона“ (Clear Zone), разработена в AASHTO „Ръководството за крайпътен дизайн“ (51), следва да бъде адаптирана и въведена в българската нормативна уредба. При проектирането на нови участъци да се осигури минимално разстояние между ОСП и ШЗС, гарантиращо пълноценното разгъване на зоната на действие на ограничителната система. За съществуващи участъци с недостатъчно разстояние да се предвиди поетапна подмяна на ОСП с системи с по-малка зона на действие или преместване на ШЗС на безопасно разстояние.

IX. ПРИНОСИ

Въз основа на извършения и представен Литературен обзор, анализ върху Теоретичната част и Експерименталните изследвания, проведени в Р. България, може да се направят следните изводи:

1. **Представена е принципно нова гледна точка при планирането, проектирането и изграждането на шумозащитните съоръжения (фактори, които не са взимани предвид в досегашната практика в Р. България) във връзка с достигане на максимално ниво на пътната безопасност, при което се съблюдават не само установените принципи за проектиране и строителство на шумозащитни съоръжения, но и принципите за безопасност;**

2. **Изработена е Методика за обследване, въз основа на която могат да се препоръчат мерки за модифициране и оптимизиране на съоръженията, с цел спазване на основните принципи на безопасността;**

3. **Изработена е Методика за анализ на експлоатационното състояние на шумозащитно съоръжение при извършване на обследване и е изработен авторски „Чек лист“, по който се извършва обследването;**

4. **Разработени са за първи път в Р. България Алгоритъм от гледна точка за безопасността за движение и Алгоритъм от гледна точка на функционалността на съоръжението, с които да се извърши количествена оценка за качеството от гледна точка на безопасността на движението. Предложени са и въвеждане на точно дефинирани реактивни мерки за подобряването на експлоатационното и техническо състояние на шумозащитните съоръжения;**

5. **В резултат на извършената експериментална работа са разработени препоръки за внедряване на резултатите от дисертационния труд в изработване на нормативен документ, регламентиращ проектирането, строителството и поддържането на шумозащитните съоръжения от гледна точка на безопасността, които препоръки са дадени на Работната група, разработила актуализирането на Техническа спецификация на Агенция „Пътна инфраструктура“, влязла в сила през 2025 г.**

X. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеният дисертационен труд е в съответствие с първоначално заложената цел: извършване на изследване на теоретичния и практичния опит на утвърдили се държави от Европейския съюз, Съединените американски щати, Азия (Хонконг) и Русия. Представени са основите за интегрирането и транспонирането на добрите им практики в практиката на Р. България.

Чрез литературния обзор е постигнато задълбочено разбиране на работата на шумозащитните съоръжения и е включен анализ на международната практика. Въз основа на данните от извършените обследвания е установена връзка между правилния избор на местоположение на ШЗС и правилното функциониране на ОСП, както и влиянието им върху възприятията на ползвателите на пътя и населението, защитавано със съоръженията, обитаващо териториите зад него.

Резултатите от дисертационния труд са представени на Работната група, актуализирала Техническата спецификация на Агенция „Пътна инфраструктура“, влязла в сила през 2025 г. Участието потвърди, че темата е разпозната като актуална и въпросите са значими за практиката.

Разработените инструменти – Чек листът и двата Алгоритъма за оценка – са приложими в практиката независимо от нормативния им статут: проектант, одитор по пътна безопасност или инспектор може да ги използва при всяко следващо обследване или нов проект.

Участъкът от Северната скоростна тангента (от км 13+800 до км 14+161), с най-малкото измерено разстояние ОСП–ШЗС от всички обследвани обекти (26–40 см), получава едновременно най-ниската оценка по безопасност в цялата извадка – 45 точки, „задоволително“ по Алгоритъм 1 – и оценка 90 точки, „много лошо“ по Алгоритъм 2 за функционалност. Съвпадането на най-ниските оценки по двата критерия в един и същ участък, при установени на място следи от три пътнотранспортни произшествия в рамките на 876 м, е показателно за непосредствената връзка между позиционирането на ШЗС и пътната безопасност. Разработените авторски инструменти предоставят на практиката структуриран и измерим подход за преодоляване на установените пропуски. Настоящият дисертационен труд може да бъде основа за продължаващо развитие на изследователската дейност в тази актуална и недостатъчно изследвана в България област.

XI. НАСОКИ ЗА БЪДЕЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Въз основа на откроените в дисертационния труд проблеми, ограничения и открити въпроси се предлагат следните насоки за бъдещи изследвания:

1. Компютърна симулация (краш-тест) на взаимодействието ОСП–ШЗС по разработените три варианта чрез продукта LS-DYNA при финансово осигуряване на изследването, с критерии за изпитване ТВ 32 и ТВ 42;
2. Мащабно обследване на всички ШЗС по Републиканската пътна мрежа с приложение на разработения авторски Чек лист и двата Алгоритъма за оценка, с цел получаване на цялостна национална картина на проблема;
3. Провеждане на представително социологическо проучване на нагласите и възприятията на ползвателите на пътя и жителите на защитаваните зони спрямо изградените ШЗС;
4. Разработване на методология за сезонно сравнение на акустичната ефективност на ШЗС, включително измервания при различни метеорологични условия;
5. Анализ на влиянието на различни геометрии и материали на ШЗС върху формирането на светлосенки и образуването на лед по пътното платно при климатичните условия на Р. България;
6. Изследване на икономическата ефективност на алтернативните мерки (нискошумови настилки, земни насипи) спрямо конвенционалните ШЗС в контекста на Р. България.

XII. ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. *Славчева – Семерджиева, Т.* Алтернативни методи/подходи и съоръжения при избора на шумозащита. XII Национална конференция по транспортна инфраструктура с международно участие, 2019, ISSN 2683-0752.
2. *Славчева – Семерджиева, Т.* Европейски опит при избор на стандартни шумозащитни съоръжения – шумозащитни стени. XII Национална конференция по транспортна инфраструктура с международно участие, 2019, ISSN 2683-0752.
3. *Славчева – Семерджиева, Т.* Обследване на съществуващи шумозащитни съоръжения и анализ на тяхното състояние. XIII Национална конференция по транспортна инфраструктура с международно участие, 2020, ISSN 2683-0752, ISBN 978-619-7573-02-2.
4. *Slavcheva – Semerdzhieva, T.* Location of noise barriers and their effect on road safety. The 48th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, Inter-noise 2019, ISBN 9781713800279.

XIII. СПИСЪК НА ФИГУРИТЕ

Фигура III-1: Разстояние между шумозащитно съоръжение и ОСП – 37,5 см (5).....7
Фигура III-2: Шумозащитна стена при км 60+000, измерено разстояние между съоръженията – 40 см (6).....7
Фигура III-3: Дървена шумозащитна стена при км 306+000 (посока Благоевград–София), монтирана върху стоманобетонен цокъл.....8
Фигура III-4: Шумозащитна стена – АМ „Струма“, ЛОТ 2 (Дупница–Благоевград).....8
Фигура III-5: Шумозащитни съоръжения – Дания.....9
Фигура III-6: Шумозащитни съоръжения – Германия.....9
Фигура III-7: Шумозащитни съоръжения – Австрия.....10
Фигура III-8: FHWA – застъпване на ШЗС, с цел осигуряване на авариен изход.....11
Фигура III-9: Авариен достъп: а) отвор за авариен достъп; б) отвор за авариен достъп 11
Фигура III-10: Пример за отблясък от шумозащитен панел.....11
Фигура III-11: Генериране на шум от контакт между автомобилни гуми и пътна настилка 12
Фигура III-12: Принципна схема на пътни настилки с позитивна и негативна форма на повърхностната текстура.....12
Фигура III-13: Повреди по метални панели а) и б) (33).....14
Фигура III-14: Повреди по дървени панели а) (33); в) АМ „Хемус“ от км 7+000 до км 7+140 14
Фигура III-15: б) вандализъм – Северна скоростна тангента, км 11+330 до км 11+845; в) вандализъм – СОП Западна дъга, км 0+941,35 до км 1+217,35.....15
Фигура III-16: акустична пролука – СОП Западна дъга, км 0+941,35 до км 1+217,35....15
Фигура VI-1: Праг на чуване.....18
Фигура VI-2: Източник за шум. 1 – място на излъчване; 2 – изчислителна точка на въздействие; A – разстояние до ШЗС; B – разстояние от ШЗС до точката; S – най-късото разстояние (7), стр. 49, фиг. 7.4.....19
Фигура VI-3: Схема на действие на шумозащитна бариера.....20
Фигура VI-4: Минимална изискуема височина на стените.....20
Фигура VI-5: Ефективна дължина на бариерата.....20
Фигура VIII-1: „Чек лист“ за извършване на обследване.....24
Фигура VIII-2: Алгоритъм от гледна точка за безопасността за движение.....26

Фигура VIII-3: Алгоритъм от гледна точка на функционалността на съоръжението 28
ФигураVIII-4: Шумозащитно съоръжение, монтирано на АМ „Хемус“ 30
Фигура VIII-5: Шумозащитно съоръжение, монтирано на АМ „Хемус“ 30
Фигура VIII-6: Шумозащитно съоръжение, монтирано на АМ „Струма“ 31
ФигураVIII-7: Шумозащитно съоръжение, монтирано на Северна скоростна тангента 32
ФигураVIII-8: Шумозащитно съоръжение – СОП Западна дъга, км 0+941,35 до км 1+217,35.....33
Фигура VIII-9: Шумозащитно съоръжение – СОП Западна дъга, км 1+400 до км 2+58033
Фигура VIII-10: Шумозащитно съоръжение, монтирано на път II-57 34
Фигура VIII-11: Шумозащитно съоръжение, детайл от монтажа – път II-57, с. Раднево34
Фигура VIII-12: Шумозащитно съоръжение – Обходен път на гр. Габрово (път III-5004), км 7+430 до км 7+652.....35
Фигура VIII-13: Пътно сечение в насип под 3м. с монтирани ОСП N2W4 и ШЗС с височина 3 м.....39
Фигура VIII-14: Пътно сечение в насип под 3м. с монтирани ОСП H1W5 и ШЗС с височина 2,5 м.....39
Фигура VIII-15: Пътно сечение в насип над 5 м с монтирани ОСП H1W3 и ШЗС с височина 4 м.....40

XIV. СПИСЪК НА ТАБЛИЦИ

Таблица III-1: Гранични стойности на нивата на шума в различните територии и устройствени зони в урбанизираните територии и извън тях (26) 5

Таблица III-2: Сравнителна таблица 13

Таблица VIII-1: Обобщение на резултатите от обследванията 37

XV. ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

Учебници, Статии и Материали на български език

1. Иванова, Е., Койчева, А. Зелените шумозащитни прегради като част от комуникационно транспортното озеленяване на урбанизираните територии. Проектиране и строителство на сгради и съоръжения. II Младежка научна конференция с международно участие, 09–10 ноември, 2023 г. [Дис. №1]

2. Николов, Н., Бенов, Д., Шубин, И. Акустично проектиране на транспортни шумозащитни екрани. АСМО Academic Press. [Дис. №2]

3. Писарски, А. Архитектурни аспекти на транспортните шумозащитни екрани. Теория, методика, практика. София: УАСГ, 2012 г. [Дис. №3]

4. Поцков, М., Трайков, Здр., Пътпроект ЕООД. Указания за защита от автотранспортен шум. Главно Управление на пътищата, 1996. [Дис. №4]

5. Спасова, Р., Миланов, Р., Славчев, Хр. Одит по Пътна Безопасност, етап – начална експлоатация, АМ „Тракия“, ЛОТ 4 „Ямбол – Карнобат“, от км 277+597 до км 325+580. 2012 г. [Дис. №5]

6. Станчева, Д., Спасова, Р., Амбил, М., Славчев, Хр. Одит по Пътна Безопасност, етап – преди въвеждане в експлоатация, АМ „Марица“, ЛОТ 2 „Димитровград – Харманли“, от км 36+400 до км 70+620. Май 2015 г. [Дис. №6]

7. Главно управление на пътищата. Методика с приложения за определяне нивото на автотранспортен шум при проектиране на пътища. 1995. [Дис. №7]

8. УАСГ, Катедра „Пътища и транспортни съоръжения“. Лекционен курс „Организация и безопасност на пътното движение“. [Дис. №8]

9. Иванова, Ев., Бояджиева, Д. Зелените шумозащитни стени, добра идея как проектирането да си „партнира“ с природата. XI международна научна конференция ВСУ, 02–03 юни 2011, Сборник с доклади том 2, ISSN 1314-071X, София 2011, III – 239–244. [Дис. №58]

10. Иванова, Ев. Оптимизиране на ефективността на екодуктите чрез „зелени“ екологични шумозащитни стени. Международна юбилейна научно-приложна конференция УАСГ, 15–17 ноември 2012, Сборник с доклади том 3, ISBN 978-954-724-049-0, София 2012, 217–222. [Дис. №59]

11. Иванова, Е., Бояджиева, Д., Георгиев, Л. Класификация на екологичните решения за шумозащитни преградни съоръжения. Годишник на УАСГ, том XLV 2011–2012, Свитък VIII, ISSN 1310-814X, София 2012, 177–184. [Дис. №60]

12. Иванова, Ев., Сулай, И., Стайков, Ил. Снегозащита на автомобилните пътища. Оценка на проблема в Р. България. Международна юбилейна научна конференция „75 години УАСГ“, Годишник том 51 (7), ISSN 2534-9759, София 2017, 15–34. [Дис. №61]

13. Угорелска, И., Генадиев, М., Симинкович, Н. Специфики на ландшафтното планиране с приложение в транспортната инфраструктура в зоните на неурбанизираните територии. XII Международна научна конференция „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 08–10 септември 2022, Варна, ISSN 2603-4255, 2022, 278–292. [Дис. №62]

14. Славчева – Семерджиева, Т. Алтернативни методи/подходи и съоръжения при избора на шумозащита. XII Национална конференция по транспортна инфраструктура с международно участие, 2019, ISSN 2683-0752. [Дис. №63]

15. Славчева – Семерджиева, Т. Европейски опит при избор на стандартни шумозащитни съоръжения – шумозащитни стени. XII Национална конференция по транспортна инфраструктура с международно участие, 2019, ISSN 2683-0752. [Дис. №64]

16. Славчева – Семерджиева, Т. Обследване на съществуващи шумозащитни съоръжения и анализ на тяхното състояние. XIII Национална конференция по транспортна инфраструктура с международно участие, 2020, ISSN 2683-0752, ISBN 978-619-7573-02-2. [Дис. №65]

Нормативни документи на български език

17. Агенция „Пътна инфраструктура“. Изработване на Акустични и конструктивни проекти за изграждане на шумозащитни съоръжения. ОП Ид.№1428. [Дис. №9]

18. Агенция „Пътна инфраструктура“. Изработване на акустичен и конструктивен проект за шумозащитни стени по Е-79. ОП Ид.№686. [Дис. №10]

19. БЪЛГАРСКИ ИНСТИТУТ ЗА СТАНДАРТИЗАЦИЯ. БДС EN 1317-2:2010 Ограничителни системи за пътища. Класове на действие, критерии за приемане от изпитвания на удар и методи за изпитване. 2010. [Дис. №11]

20. БЪЛГАРСКИ ИНСТИТУТ ЗА СТАНДАРТИЗАЦИЯ. БДС EN 1793-1:2017 Устройства за намаляване на шума от движението по пътищата. Методи за изпитване. Част 1. 2017. [Дис. №12]

21. БЪЛГАРСКИ ИНСТИТУТ ЗА СТАНДАРТИЗАЦИЯ. БДС EN 1793-2:2018 Устройства за намаляване на шума от движението по пътищата. Метод за изпитване. Част 2. 2018. [Дис. №13]

22. БЪЛГАРСКИ ИНСТИТУТ ЗА СТАНДАРТИЗАЦИЯ. БДС EN 1794-1:2024 Съоръжения за намаляване на шума от движението по пътищата. Неакустични експлоатационни характеристики. 2024. [Дис. №14]

23. БЪЛГАРСКИ ИНСТИТУТ ЗА СТАНДАРТИЗАЦИЯ. БДС EN 14388:2015 Съоръжения за намаляване на шума от движение по пътищата. Спецификации. 2015. [Дис. №17]

24. ДИРЕКТИВА (ЕС) 2015/996 НА КОМИСИЯТА от 19 май 2015 г. за установяване на общи методи за оценка на шума. ISSN 1977-0618. [Дис. №19]

25. МИНИСТЕРСТВО НА ОКОЛНАТА СРЕДА И ВОДИТЕ. Закон за защита от шум в околната среда. [Дис. №20]

26. МИНИСТЕРСТВО НА ОКОЛНАТА СРЕДА И ВОДИТЕ. НАРЕДБА №6 от 26.06.2006 г. за показателите за шум в околната среда. [Дис. №22]

27. МИНИСТЕРСТВО НА ОКОЛНАТА СРЕДА И ВОДИТЕ. НАРЕДБА за изискванията към разработването и съдържанието на стратегическите карти за шум и към плановете за действие. [Дис. №24]

28. МИНИСТЕРСТВО НА РЕГИОНАЛНОТО РАЗВИТИЕ И БЛАГОУСТРОЙСТВОТО. Наредба РД-02-20-1 от 01.04.2024 г. за условията и реда за използване на ограничителни системи за пътища. [Дис. №25]

29. МИНИСТЕРСТВО НА РЕГИОНАЛНОТО РАЗВИТИЕ И БЛАГОУСТРОЙСТВОТО. НАРЕДБА №РД-02-20-2 от 28 август 2018 г. за проектиране на пътища. [Дис. №26]

Статии на английски език

30. Alberts, W., et al. State of the art in managing road traffic noise: summary report. Conference of European Directors of Roads, 2017. [Дис. №28]

31. Bendtsen, H., Gspan, K., CEDR Task Group Road Noise. Technical Report 2017-1 State of the art in managing road traffic noise: noise-reducing pavements. CEDR, 2016. [Дис. №29]

32. Fryd, J., et al. Technical Report 2017-3 State of the art in managing road traffic noise: cost-benefit analysis. CEDR, 2017. [Дис. №31]

33. Vanhooreweder, B., et al. Technical Report 2017-2 State of the art in managing road traffic noise: noise barriers. CEDR, 2017. [Дис. №35]

34. European Environment Agency. Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe. EEA Report No 21/2019. Luxembourg, 2020. [Дис. №36]

35. Slavcheva – Semerdzhieva, T. Location of noise barriers and their effect on road safety. The 48th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, Inter-noise 2019, ISBN 9781713800279. [Дис. №66]

36. Maekawa, Z. Noise reduction by screens. Applied Acoustics, 1(3), 157–173, 1968. [Дис. №67]

37. Kurze, U.J., Anderson, G.S. Sound attenuation by barriers. Applied Acoustics, 4(1), 35–53, 1971. [Дис. №68]

38. Kotzen, B., English, C. Environmental Noise Barriers: A Guide to Their Acoustic and Visual Design. 2nd ed. Taylor & Francis, 2009. [Дис. №69]

39. Basner, M., Babisch, W., Davis, A., et al. Auditory and non-auditory effects of noise on health. The Lancet, 383(9925), 1325–1332, 2014. [Дис. №70]

40. Elvik, R., Høye, A., Vaa, T., Sørensen, M. The Handbook of Road Safety Measures. 2nd ed. Emerald Group Publishing, 2009. [Дис. №71]

41. Ekici, I., Bougdah, H. A review of research on environmental noise barriers. Built Environment Research in Theory & Practice (BERTP), Vol. 4, Issue 1, 2008. [Дис. №72]

42. Thiffault, P., Bergeron, J. Monotony of road environment and driver fatigue: a simulator study. Accident Analysis & Prevention, 35(3), 381–391, 2003. [Дис. №74]

43. Sandberg, U., Ejsmont, J. Tyre/Road Noise Reference Book. Informex, Kisa, Sweden, 2002. [Дис. №75]

44. Pigasse, G., Kragh, J. Optimised noise barriers: a state-of-the-art report. Danish Road Institute, Report 194, 2011. [Дис. №76]

45. Zhang, M., Bu, Q. Research on finite element simulation and full-scale-vehicle crash test of B750HL bridge barrier. Scientific Reports, 14, 17240, 2024. [Дис. №90]

Нормативни документи на английски език

46. Environmental Protection Department, Highways Department, Government of Hong Kong SAR. Guidelines on Design of Noise Barriers. 2022. [Дис. №37]

47. Federal Highway Administration. Noise Barrier Design Handbook. 2017. [Дис. №38]

48. Nielsen, Y. P., et al. Планиране и проектиране на шумозащитни екрани (Planlægning og projektering af støjskærme – Håndbog). Копенхаген: Vejdirektoratet, 2024 г. [Дис. №39]

49. Rambøll, Vejregelgruppe Bygværker. Експлоатация и поддържане на шумозащитни съоръжения (Drift og vedligehold af støjskærme – Håndbog). Копенхаген: Vejdirektoratet, 2024 г. [Дис. №40]

50. World Health Organization. Burden of Disease from Environmental Noise. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 2011. [Дис. №77]

51. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Roadside Design Guide. 4th ed. Washington, D.C., 2011. [Дис. №78]

52. California Department of Transportation (Caltrans). Traffic Noise Analysis Protocol for New Highway Construction. Sacramento, 2020. [Дис. №80]

53. California Department of Transportation (Caltrans). Highway Design Manual (HDM): Chapter 1100 – Soundwalls. Sacramento, 2024. [Дис. №82]

54. Minnesota Department of Transportation. MnDOT Noise Requirements and Guidelines. [Дис. №84]

55. Texas Department of Transportation. Design Guide for Highway Noise Barriers. FHWA/TX-04/0-1471-4. [Дис. №87]

56. Florida Department of Transportation (FDOT). FDOT Design Manual (FDM), Chapter 264. Tallahassee, FL, 2024. [Дис. №88]

Интернет източници

57. 4Silence. [Онлайн] https://www.4silence.com/ [Дис. №41]

58. SWOV Institute for Road Safety Research. [Онлайн] https://swov.nl/en/fact-sheet/sustainable-road-safety [Дис. №48]

65. Министерство на здравеопазването, Национален център по обществено здраве и анализи (НЦОЗА). Обобщен годишен доклад за шумовото натоварване в урбанизираните територии, изготвен по данни на РЗИ за регистрираните шумови нива в градовете на страната през 2022 година. София, 2023;https://ncpha.government.bg/uploads/pages/103/%D0%9E%D0%B1%D0%BE%D0%B1%D1%89%D0%B5%D0%BD%20%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%20%D0%B7%D0%B0%20%D0%B2%D0%BB%D0%B8%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B5%D1%82%D0%BE%20%D0%BD%D0%B0%20%D1%88%D1%83%D0%BC%D0%B0.pdf [Дис. №91]

Източници на други езици

59. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Австрия. Dienstanweisung Lärmschutz bei neu zu errichtenden Bundesstraßen. 2014 г. [Дис. №50]

60. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), Германия. Lärmschutz an bestehenden Bundesstraßen – Autobahnen und Schnellstraßen. Берлин, 2021 г. [Дис. №51]

61. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – RLS-19. Кьолн, 2019 г. FGSV-Nr. 052. [Дис. №53]

62. ОДМ 218.2.013-2011 „Методически насоки за защита от транспортен шум за територии в близост до автомобилни пътища“. Федерална агенция по пътищата, 2011. [Дис. №54]

63. СТО АВТОДОР 2.9-2014 „Насоки при проектиране, строителство и експлоатация на шумозащитни екрани“. 2014. [Дис. №56]

64. Шубин, И., Цукернуков, И., Николов, Н., Писарски, А. Основи на проектирането на шумозащитни съоръжения. Москва: Бастет, 2015. [Дис. №57]