XIV Международна научна конференция
„Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 10-12 септември 2026 г, Варна
XIV International Scientific Conference
„Civil Engineering Design and Construction“, Sept. 10 - 12, 2026, Varna, Bulgaria
ISSN 2683-071X (online) ISSN 2738-7879 (CD)

РАЗРУШЕНИЕТО НА МНОГОЕТАЖНА ЖИЛИЩНА СГРАДА В МАЯМИ – СЦЕНАРИИ, ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИ АНАЛИЗИ И ПРЕПОРЪКИ КЪМ ЗАКОНОДАТЕЛСТВОТО

Иван Павлов[1], Дария Михалева[2]

COLLAPSE OF A MULTI-STORY RESIDENTIAL BUILDING IN MIAMI – SCENARIOS, FORENSIC ENGINEERING ANALYSES, AND LEGISLATIVE RECOMMENDATIONS

Ivan Pavlov, Dariya Mihaleva

Abstract:
On June 24, 2021, the partial collapse of the 12-story Champlain Towers South residential building in Surfside, Florida, resulted in the loss of 98 lives and shocked both the public and the engineering community. This analysis synthesizes the official findings from the investigation conducted by the National Institute of Standards and Technology (NIST) under the National Construction Safety Team (NCST) Act, as well as conclusions from independent forensic engineering and academic research. The collapse is found to be the result of a complex interaction of design defects, construction non-conformities, maintenance failures, and structural degradation, with the most probable initiation scenario being a localized failure of a slab-column connection in the pool deck area. This analysis confirms that the disaster cannot be attributed to a single factor but represents a systemic failure across the building's life cycle – from design and construction to inspections and maintenance.

Keywords:
Champlain Towers South, Surfside collapse, forensic engineering, punching shear, flat plate construction, structural failure, corrosion, progressive collapse

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Частичното срутване на сградата Champlain Towers South (CTS) в Сърфсайд, Флорида, на 24 юни 2021 г., е едно от най-смъртоносните разрушения на сгради в съвременната американска история [1, 5]. Разследването, ръководено от NIST съгласно Закона за Националния екип за строителна безопасност (NCST Act), предоставя най-

[1] Иван Павлов, доц. д-р инж., катедра Строителство на сгради и съоръжения, Архитектурен факултет, ВСУ „Черноризец Храбър“ - Варна, ivanpavlov@vfu.bg;
Ivan Pavlov, assoc. prof. PhD Eng., Construction of Buildings and Facilities Department, Faculty of Architecture, Varna Free University, ivanpavlov@vfu.bg
[2] Дария Михалева, доц. д-р инж., катедра Строителство на сгради и съоръжения, Архитектурен факултет, ВСУ „Черноризец Храбър“ - Варна, dariya.mihaleva@vfu.bg;
Dariya Mihaleva, assoc. prof. PhD Eng., Construction of Buildings and Facilities Department, Faculty of Architecture, Varna Free University, dariya.mihaleva@vfu.bg

изчерпателния научно обоснован анализ на причините за този инцидент [1, 2]. В допълнение, множество независими съдебни инженери и академични изследователи са допринесли за разбирането на механизмите на разрушението [1, 2, 4, 5, 7, 9]. Този доклад обобщава рецензирани източници, за да представи консенсусната научна картина за причините за тази трагедия.

Въпреки множеството спекулации в медиите, единствено систематичният научен подход, приложен от NIST, може да даде надеждни отговори. Настоящият доклад се стреми да представи именно този обективен поглед върху причините, като същевременно очертае уроците, които строителната индустрия и законодателите трябва да извлекат от тази катастрофа.

Докато хронологията на събитията и конструктивните характеристики на сградата очертават предпоставките за срутването, определянето на точния механизъм на инициране изисква задълбочен анализ на множество хипотези, подкрепени от материални доказателства, лабораторни изпитвания и компютърни симулации. Именно този анализ е в центъра на настоящото изследване.

2. СЦЕНАРИИ ЗА ИНИЦИИРАНЕ НА СРУТВАНЕТО

Въз основа на събраните материални доказателства, резултатите от лабораторните изпитвания и компютърните симулации, екипът на NIST разработва над две дузини хипотетични сценария за това как може да е започнало срутването. Всеки от тях е подложен на строга проверка чрез сравнение с действителните видео записи, свидетелските показания и физическите следи върху отломките. По-долу са представени четирите основни сценария, класифицирани според тяхната вероятност, като се започне с най-вероятния механизъм [1, 4, 6].

Сценарий 1: Отказ на връзка плоча-колона в плочата при басейна

Това е сценарият с най-висока вероятност според настоящите констатации на NIST [1, 4, 6]. Механизмът включва (Фигура 1):

- Инициране: Продънване (punching shear) на плочата при басейна в зоната на една от колоните. Това се дължи на комбинацията от проектни несъвършенства, строителни отклонения и деградация на материалите [1, 8].
- Разпространение: След първоначалния отказ, натоварването се преразпределя към съседните връзки, които също са компрометирани [1].
- Каскаден ефект: Последователен отказ на няколко връзки плоча-колона в зоната на плочата при басейна [1, 7].

Ключови фактори, допринасящи за този сценарий [1, 6, 8, 9]:

- Недостатъчна якост на плочата спрямо нормативните изисквания
- Неправилно разположена армировка във връзките (вложени по-малко от 25% от необходимите по план пръти в надколонната ивица)
- Увеличено разстояние между армировъчните пръти в надколонните ивици (20-40% повече от проектното)
- Корозия на армировката поради проникване на влага
- Добавени натоварвания (тежки саксии, павета, пясъчен слой)
- Студени фуги между отделните бетонови изливания [1]

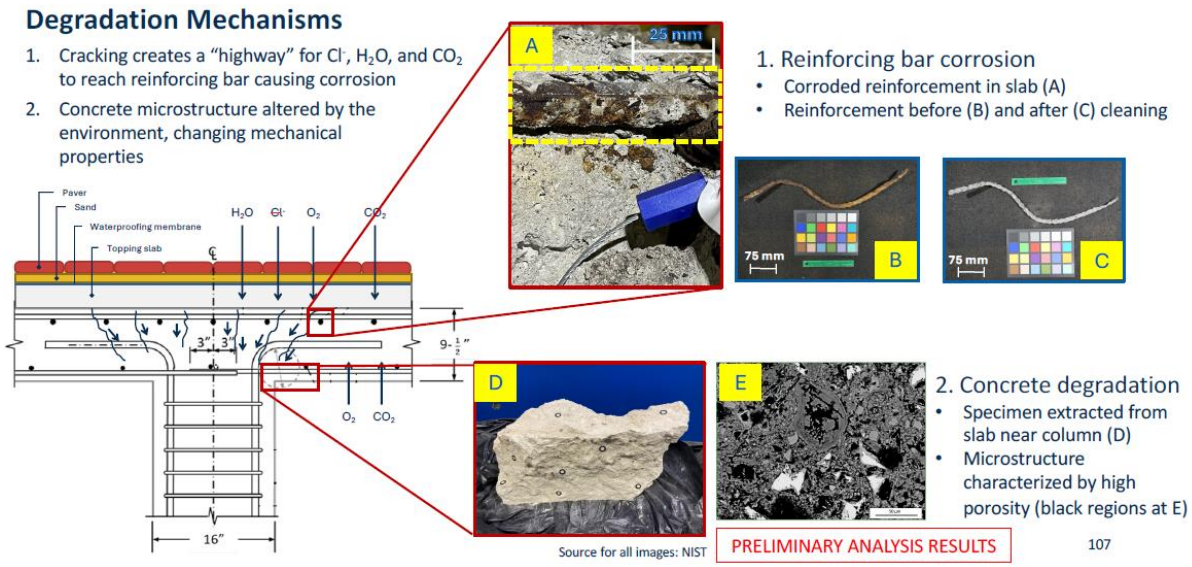
Сценарий 2: Отказ на колони в кулата

Въпреки че плочата при басейна се срутва преди кулата, това не изключва възможността за инициращо събитие в самата кула [1, 4]. Разглеждат се два под-сценария:

2a. Отказ на колони в сутеренния паркинг: Някои колони в сутерена са били подложени на продължително излагане на вода поради наводнения и застояла вода, което

води до корозия на армировката и влошаване на бетона. Това отслабва колоните и може да доведе до локален отказ [1, 4].

2б. Отказ на връзка плоча-греда-колона: В южната колонна линия на източната кула, близо до съединението с плочата при басейна, са установени подобни несъвършенства в армировката. Отказ на това съединение би могъл да инициира срутването [1, 6].



Фигура 1: Механизъм на продънване на плочата на басейна *[8]*

<u>Сценарий 3: Карстови кухини под фундирането</u>

Според NIST този сценарий е с **по-ниска вероятност** [1, 4]. Основните аргументи срещу него са:

- Сателитни данни не показват слягане или потъване на терена в района в петте години преди срутването [1, 4].
- Не са открити доказателства за карстови кухини във варовиковата скала, върху която е изградено фундирането [1, 4].
- Проучванията показват, че скалата има характеристики, които възпрепятстват формирането на карстови кухини [1].
- Носимоспособността на пилотите, посочена в проектните чертежи, е била достатъчна за поемане на натоварванията [1].
- Сутеренната плоча не показва признаци на деформация, пукнатини или слягане, които биха били индикатори за проблеми с фундирането [1].

<u>Сценарий 4: Отделяне на плочата при басейна от южната сутеренна стена</u>

Този сценарий също се счита за **по-малко вероятен** според NIST [1].

С цел систематизиране на разгледаните хипотези и улесняване на тяхното сравнение, по-долу е представена обобщаваща таблица, която групира сценариите според тяхната вероятност и посочва основните доказателства в подкрепа на всяко от твърденията. Таблицата синтезира резултатите от анализа на NIST и позволява на читателя бързо да прецени кои механизми са най-значими от гледна точка на инженерната практика и законодателните промени.

Таблица 2: Обобщение на сценариите.

Сценарий	Вероятност	Основание
Отказ на връзка плоча-колона в плочата при басейна	**По-висока**	Множество доказателства за проектни несъвършенства, строителни отклонения, корозия и добавени натоварвания [1, 6, 8, 9]
Отказ на колони в сутеренния паркинг	**По-висока**	Доказателства за продължително излагане на вода и корозия на армировката в някои колони [1, 4]
Отказ на връзка плоча-греда-колона в източната кула	**По-висока**	Сходни несъвършенства в армировката в тази зона [1, 6]
Карстови кухини под фундирането	**По-ниска**	Липса на доказателства за слягане, карстови кухини или деформации на сутеренната плоча [1, 4]
Отделяне на плочата при басейна от южната стена	**По-ниска**	Недостатъчно доказателства в подкрепа на този сценарий [1]

Анализът на сценариите потвърждава, че най-правдоподобният механизъм е свързан с отказа на връзка плоча-колона в плочата при басейна и произтичащия от това отказ на връзка плоча-греда-колона в източната кула, като останалите хипотези, макар и не напълно изключени, са подкрепени от значително по-слаба доказателствена база.

3. ОБСЛЕДВАНИЯ И АНАЛИЗИ ЗА ПРИЧИНИТЕ ЗА СРУТВАНЕТО

Разследването на NIST представлява най-изчерпателното съдебноинженерно проучване в историята на американските строителни катастрофи. То включва шест основни направления: събиране и каталогизиране на над 600 материални доказателства, дистанционно наблюдение чрез LIDAR и сателитни данни, лабораторни изпитвания на бетонови ядки и стоманена армировка, компютърно моделиране на конструкцията и симулации на прогресивно срутване, както и структурирани интервюта с очевидци и експерти [1, 2].

В резултат на тези комплексни изследвания, екипът на NIST достига до следните ключови констатации [1, 4, 6]:

- **Проектни и строителни несъвършенства:** Сградата е била компрометирана от самото начало – недостатъчна якост на плочата при басейна, неправилно разположена армировка и липса на контрол на качеството [1, 6, 8].
- **Структурна деградация:** Корозия на армировката, влошаване на бетона и добавени натоварвания (тежки саксии, павета) са увеличили значително усилията в плочата [1, 4, 9].
- **Най-вероятен сценарий:** Отказ на връзка плоча-колона в плочата при басейна поради комбинацията от горните фактори [1, 4].
- **Признаци на структурно напрежение:** В седмиците преди срутването са били видими множество признаци – заклещена врата, пукнатини, течове [4].
- **Времева линия:** Срутването на плочата при басейна започва поне седем минути преди срутването на кулата [1, 4].

След като е иницииран локален отказ (най-вероятно в плочата при басейна), сградата се срутва прогресивно. Сложни числени симулации, използващи метода на приложните елементи (Applied Element Method), показват, че този сценарий е съвместим с наблюденията от видеозаписите на действителното срутване [1, 7].

- **Верижна реакция:** Локалният отказ на плочата при басейна и нейните връзки води до претоварване и последващ отказ на съседни елементи. Това предизвиква верижна реакция, която прогресивно обхваща центъра на сградата и впоследствие източното крило [1, 7].
- **Времева линия:** Свидетелските показания, видео и аудио доказателства сочат, че срутването на плочата при басейна е започнало поне седем минути преди срутването на кулата [1, 4]. Новаторски анализ на звуковите вълни от различни видеозаписи помага да се синхронизират събитията и да се установи точна времева линия на колапса [1].

Таблица 3: Резюме на факторите, допринесли за разрушението

Категория на причината	**Конкретни фактори**	**Източници на доказателства**
Проектни и строителни дефекти	Недостатъчна якост на плочата при басейна спрямо нормативните изисквания.	Сравнение на проектните чертежи с кодовите изисквания [1, 6, 8].
	Неправилно разположение на стоманената армировка в плочи и колони.	Анализ на строителни чертежи и разследване на място [1, 6, 8].
	Липса на записи за качествен контрол и инспекции по време на строежа.	Анализ на наличната документация [1].
Структурна деградация	Корозия на стоманената армировка, особено в плочата при басейна и гаража.	Лабораторни тестове на образци от сградата [1, 2, 4].
	Влошаване на бетона поради продължително излагане на вода.	Наблюдения на пукнатини и изветряне [1, 4, 9].
Добавени натоварвания	Поставяне на тежки саксии и павета върху плочата при басейна, които не са били в първоначалния проект.	Исторически досиета и анализ на извършените ремонти [1, 4, 9].
Поддръжка и управление	Забавени ремонти и неефективна поддръжка на структурни елементи.	Свидетелски показания и анализ на доклади за инспекции [1, 4, 9].
	Доклад от 2018 г., идентифициращ "големи структурни повреди" (major structural damage), включително пукнатини в колони и	Доклад на инженера Франк Морабито от октомври 2018 г., цитиран в [11].

Категория на причината	Конкретни фактори	Източници на доказателства
	разрушаващ се бетон, които не са били своевременно отстранени.	
	Неразпознати или пренебрегнати признаци на предстоящ колапс (пукнатини, заклещена врата, течове).	Видео и аудио доказателства, свидетелски интервюта [1, 4, 9].
	Слабости в управлението на етажната собственост.	Академичен анализ на модела на управление [9].
Проектни грешки в плочата при басейна	Премахване на греди в зоната на плочата при басейна.	Сравнение на последователни версии на проектни чертежи [9].
	Недостатъчен брой и дълбочина на греди.	Структурен анализ от инженери [9].
	Липса на адекватен наклон за отводняване на плочата при басейна.	Инженерни доклади от 2018 г. [9].
	Прекалено голямо разстояние между колоните (около 8.5 метра / 28 фута).	Анализ на проектни чертежи [9].

Интегрирането на резултатите от всичките шест направления позволява да се изгради цялостна картина на събитията, която не само обяснява конкретния случай, но и предоставя ценни насоки за бъдещи инспекции и поддръжка на подобни сгради. Тези констатации, представени по-горе, формират основата на заключенията и препоръките, които следват.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разрушението на сградата Champlain Towers South е резултат от трагично стечение на обстоятелства, които разкриват системни слабости в целия жизнен цикъл на сградата – от проектирането и строителството до поддръжката, инспекциите и управлението [1, 9]. Окончателните констатации на официалното разследване, ръководено от NIST, сочат, че най-вероятната причина е комбинация от:

- **Първоначални несъвършенства:** Проектни и строителни дефекти, които създават структурни елементи с малък запас на безопасност [1, 6, 8].
- **Прогресивна деградация:** Корозия на армировката, утежнена от пропуски в поддръжката и добавени натоварвания [1, 4, 9].
- **Локален отказ:** Срутването най-вероятно е инициирано в зоната на плочата при басейна, където са концентрирани множество от тези проблеми [1, 4, 6].
- **Прогресивен колапс:** Локалният отказ предизвиква верижна реакция, довела до частичното срутване на цялата сграда [1, 7].

Това разследване подчертава критичната необходимост от подобряване на контрола на качеството по време на строителството, задължително поддържане на документация, редовни и задълбочени инспекции на съществуващи сгради, както и преосмисляне на моделите за управление и финансиране на поддръжката в етажната собственост [1, 9]. Както отбелязва водещият разследващ на NIST, Джудит Митрани-Райзер, *"това трагично събитие разкри пропуски в нашите системи, и качеството е в основата на всичко"* [1].

В заключение, трагедията в Сърфсайд служи като мощен катализатор за промяна в подхода към инспекциите, поддръжката и управлението на остаряващия сграден фонд. Уроците, извлечени от това събитие, следва да бъдат интегрирани в строителните норми не само във Флорида, но и в целия свят, за да се гарантира, че подобна катастрофа няма да се повтори.

5. ПРЕПОРЪКИ ЗА ЗАКОНОДАТЕЛНИ ИЗМЕНЕНИЯ

Резултатите от разследването не само хвърлят светлина върху конкретните причини за срутването, но и разкриват съществени пропуски в съществуващата законодателна и регулаторна рамка, които правят подобни инциденти потенциално възможни в бъдеще. В отговор на това, редица държавни и федерални органи, както и професионални организации, предприемат конкретни стъпки за подобряване на безопасността. Препоръките, които следват, са групирани според нивото на тяхното приложение – от федерални стандарти до местни практики на управление.

5.1. Препоръки на NIST (федерално ниво)

Процесът на издаване на официални препоръки от страна на NIST все още тече, но се очаква те да доведат до значителни промени в строителните норми и практики [1]. Съгласно Закона за Националния екип за строителна безопасност (NCST Act), NIST е длъжен да види своите препоръки, които ще бъдат включени в цялостния доклад от разследването, планиран за 2026 г., бъдат въведени в практиката [1]. Докладът ще съдържа конкретни предложения за промени в строителните норми, стандарти и практики [1]. Разследванията на NIST имат доказан принос за подобряване на безопасността – разследването на срутването на Световния търговски център доведе до над 40 промени в Международния строителен кодекс (International Building Code), а разследването на торнадото в Джоплин през 2011 г. доведе до първите в историята разпоредби за проектиране срещу торнадо в американските строителни стандарти [1].

5.2. Действия на щата Флорида

В отговор на трагедията, щатът Флорида предприе бързи законодателни действия, които вече са в сила [9]. Още през 2022 г. Флорида прие нови закони (законопроект SB 4D), които въведоха изисквания за:

- "Етапни инспекции" (milestone inspections): Задължителни структурни инспекции на сгради с три или повече етажа, които навършват 30 години (за крайбрежните сгради) или 40 години (за вътрешните) [9].
- Проучвания за структурна цялост (Structural Integrity Reserve Studies - SIRS): Изисквания за оценка на необходимите резерви за бъдещи големи ремонти, за да се гарантира, че асоциациите на собствениците разполагат с необходимите средства [9].

Първоначалните закони доведоха до значителни финансови затруднения за някои собственици, поради което през 2025 г. бяха приети промени, които удължават сроковете за извършване на проучванията, предоставят гъвкавост при финансирането на резервите и увеличават прага за задължително отчитане на разходите за отложена поддръжка [9].

Инженерният доклад от 2018 г., изготвен от консултанта Франк Морабито, вече идентифицира "големи структурни повреди" (major structural damage) в сградата, включително пукнатини в колони и разрушаващ се бетон [11]. Докладът посочва, че хидроизолацията под плочата на басейна и входния път се е провалила, "причинявайки големи структурни повреди на бетонната конструктивна плоча под тези зони" [11]. Морабито предупреждава, че "неуспехът да се замени хидроизолацията в близко бъдеще ще доведе до експоненциално разширяване на обхвата на бетоновата деградация" [11]. Той определя полагането на хидроизолацията наравно, без наклон за отвеждане на водата, като "голяма грешка" в първоначалния проект [11]. Въпреки тези констатации, ремонтите не са били извършени своевременно, като адвокат на асоциацията на собствениците заявява, че "те тъкмо са щели да започнат" работа по тях по време на срутването [11]. Това допълнително подчертава пропуските в управлението на поддръжката [9, 11].

5.3. Нови стандарти и насоки

Успоредно с държавните и федералните органи, професионални организации също разработват нови стандарти за безопасност [8]. Международният съвет по кодекси (International Code Council - ICC) работи по създаването на нов стандарт за инспекции на съществуващи сгради – ICC Standard 1500 – Standard for Existing Building Safety Inspections [8]. Този стандарт, изграден върху насоките (Guideline 7), създадени след трагедията, има за цел да въведе единни технически критерии за редовни оценки на всички основни системи в сградите – от конструкцията и пожарната безопасност до електрическите и ВиК инсталации [8]. Стандартът се очаква да бъде включен като опция в Международните кодекси от 2027 г. [8].

Въпреки че някои от предложените промени срещат съпротива поради финансови и административни причини, общата насока е недвусмислена – бъдещето на сградния фонд изисква по-строг контрол, по-добра информираност на собствениците и по-активна роля на държавата. Успехът на тези мерки ще зависи не само от тяхното законодателно приемане, но и от културната промяна в отношението към поддръжката на съществуващите сгради.

ЛИТЕРАТУРА

[1] J. Izquierdo-Encarnación, K. Shoaf, and D. Dusenberry, "Champlain Towers South NCST Investigation Leaders," *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, Apr. 2025.
[2] National Institute of Standards and Technology (NIST), "NIST NCST FY23 Annual Report to Congress," *NIST*, Feb. 2024.
[3] S. Nikolaou et al., "CTS Investigation: June 2023 Advisory Committee Meeting," *NIST*, Jun. 2023.
[4] National Institute of Standards and Technology (NIST), "NIST Releases Extensive Video Update on Champlain Towers South Investigation," *NIST News*, Jun. 2025.
[5] B. M. Cornelius and J. E. Simpson, "The Collapse of Champlain Towers South: Review of a Forensic Engineering Investigation," in *Forensic Engineering 2024*, ASCE, Oct. 2024, pp. 487–498. doi: 10.1061/9780784485798.050.
[6] L. Millman, L. Cao, J. Abruzzo, N. Saenz, and E. A. Malsch, "Surfside Collapse Investigation Initial Findings," in *Forensic Engineering 2024*, ASCE, Oct. 2024, pp. 499–506. doi: 10.1061/9780784485798.051.
[7] C. Pellecchia et al., "Progressive Collapse Analysis of the Champlain Towers South in Surfside, Florida," *Journal of Structural Engineering*, vol. 150, no. 1, 2024, doi: 10.1061/JSENDH.STENG-12485.
[8] M. Fadden and A. Shear, "Champlain Towers South Collapse Part 2: Identifying and Addressing Punching Shear Deficiencies in Flat Plate Construction," *ASCE*, 2024.

[9] A. Alshami, H. Jalloul, D. Merrick, L. Hart, J. Choi, D. Manheim, and N. Yesiller, "SUMMEER - 24 June 2021 Surfside Building Collapse Virtual Assessment Report," 2023, doi: 10.17603/ds2-337d-h485

[10] New York Post, "Shocking before-and-after photos show destruction of deadly Florida condo collapse," NYPost.com, Jun. 2021. [Online]. Available: https://nypost.com/2021/06/24/before-and-after-photos-show-deadly-florida-condo-collapse/

[11] Islander News, "Surfside collapse: 2018 report found 'Major Structural Damage' and recommended repairs to cracked columns and crumbling concrete be completed," IslanderNews.com, Jun. 2021