

ХИДРОДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НА ПОЖАРИ В МОРСКА И РЕЧНА АКВАТОРИЯ: СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ, ИНФРАСТРУКТУРНИ ЩЕТИ И УСТОЙЧИВО ПРОЕКТИРАНЕ (ЧЕРНО МОРЕ И РЕКА ДУНАВ)

Доц. д-р Али Чакър

Варненски свободен университет „Черноризец Храбър“ – Варна

Резюме: Настоящият доклад изследва комплексната динамика на корабните пожари в отговорния район за търсене и спасяване на Северна България. Анализирани са хидродинамичните рискове (загуба на плаваемост и остойчивост), спецификите на Черно море и река Дунав, както и новите заплахи от превоз на електромобили. Докладът разширява обхвата към взаимодействието между горящия кораб и брега, оценявайки щетите върху пътната инфраструктура и предлагайки модели за устойчиво строителство, способно да издържи на термичен шок и химическа ерозия.

Ключови думи: динамика на корабен пожар, загуба на плаваемост, остойчивост

HYDRODYNAMICS AND FIRE MANAGEMENT IN MARINE AND RIVER AQUATORIA: COMPARATIVE ANALYSIS, INFRASTRUCTURE DAMAGES AND SUSTAINABLE DESIGN (BLACK SEA AND DANUBE RIVER)

Assoc. Prof. Dr. Ali Cakar

Varna Free University "Chernorizets Hrabar" – Varna

Abstract: This report examines the complex dynamics of ship fires in the search and rescue area of Northern Bulgaria. The hydrodynamic risks (loss of buoyancy and stability), the specificities of the Black Sea and the Danube River, as well as the new threats from the transport of electric vehicles are analyzed. The report extends the scope to the interaction between the burning ship and the shore, assessing the damage to the road infrastructure and proposing models for sustainable construction capable of withstanding thermal shock and chemical erosion.

Key words: ship fire dynamics, loss of buoyancy, stability

1. Въведение: корабът като затворена термодинамична система

Пожарът в открито море или река е уравнение с много променливи. За разлика от бреговите инциденти, тук липсва "път за отстъпление". Основният физичен парадокс е, че **агентът за гасене (водата) е най-голямата заплаха за целостта на съда**. Вкарването на големи обеми вода води до риск от загуба на плаваемост (потъване) или остойчивост (преобръщане) [1,2,3,4]. Остойчивост (stability) е термин, който се отнася **само за плавателни съдове** (кораби, лодки, платформи и представлява способността на плавателния съд да се върне в изправено положение (на равен кил), след като е бил наклонен от външна сила (вятър, вълна или натрупана вода при гасене). Идва от старата терминология за „остояване“ срещу стихията – корабът да „остои“ (да остане прав).

2. Морска среда (Черно море): динамика на откритите води

Гасенето на пожари *на кораб* се отличава с пълна изолация и зависимост от **хидростатичния парадокс**, при който масираното използване на вода застрашава остойчивостта на кораба чрез ефекта на „свободните повърхности“. Ситуацията се усложнява допълнително от движението на съда, което генерира „**видим вятър**“ (apparent wind) – мощен въздушен поток, действащ като принудителна вентилация, която нагнетява кислород в огнището и интензифицира горенето. Това налага капитаните да извършват сложни тактически маневри за позициониране на кораба така, че вятърът да отнася дима и пламъците зад борда (подветрено), за да се запазят жилищните надстройки и пътищата за евакуация чисти. В допълнение, високата топлопроводимост на стоманената конструкция изисква постоянно „охлаждане на границите“, за да се спре разпространението на топлина към съседни отсеци.

Гасенето на пожар на *офшорна платформа* (за добив на нефт и газ) се различава фундаментално от това на кораб, главно поради **стационарния характер** на съоръжението и природата на горивото. Тук основната заплаха не е потъването (както при кораба), а структурният колапс и експлозията.

При пожар на кораб целта обикновено е огънят да се загаси максимално бързо. На платформа, ако гори газ под налягане, гасенето на пламъка е **забранено**, преди да е

спрян течът. Ако се загаси пламъка, но газът продължи да изтича, се образува експлозивен газов облак, който може да взриви цялата платформа при случайна искра. Затова е необходимо факелът да гори контролирано, докато системата **ESD (Emergency Shutdown)** спре притока от кладенеца.

Корабът може да промени курса си, за да застане така, че вятърът да отнася дима и пламъците далеч от надстройката и екипажа. Платформата обаче е неподвижна. Ако вятърът духа към жилищния модул или спасителните лодки, екипажът е в капан. Затова платформите разчитат на мощни „водни стени“ (Water Curtains/Deluge Systems), които да създадат изкуствена бариера срещу лъчистата топлина и дима.

Корабът има ограничено количество гориво в резервоарите или товара. Платформата е свързана директно към земните недра – източникът на гориво е теоретично безкраен, докато не бъде "отрязан" от клапаните на морското дъно (Subsea Safety Valves).

Палубите на корабите са от плътна стомана. При разлив на гориво се образува разлив, който гори на едно ниво. Палубите на платформите често са решетъчни за да не задържат вода и вълни. При разлив, горящата течност **пада през решетката** върху долните етажи, създавайки „Огнен водопад“ и триизмерен пожар, който обхваща оборудването на няколко нива едновременно.

Офшорните платформи са стоманени конструкции. Стоманата губи 50% от носимоспособността си при 500-600°C. Затова основната задача на водните оръдия не е да гасят пламъка, а да обливат носещите колони, за да не преминат в пластично състояние и съоръжението да не рухне в морето.

3. Речна среда (река Дунав): течения и маневреност

Гасенето на пожар в речна среда (като река Дунав) е хибридна дисциплина, която стои между морското и бреговото пожарогасене. Тук основният диктуващ фактор не е вълнението, а **течението и ограничената дълбочина**.

В морето спасителният кораб обикновено захожда от наветрената страна. В реката обаче, хидродинамиката доминира над аеродинамиката. Спасителните катери винаги подхождат от **горната страна на течението**. Ако има разлив на гориво или токсични

химикали, течението ги носи надолу. Ако спасителят е "под" горящия кораб, той ще попадне директно в петното от горящо гориво или токсичен облак. Речните пожарни кораби трябва да имат мощни двигатели, за да поддържат "нулева скорост" спрямо дъното, борейки се с течението, докато подават вода.

При гасене на пожар в река се прилага уникална речна маневра, неприложима в открито море, наречена „насочено засядане“. Ако корабът губи плаваемост или устойчивост и има риск да потъне наред плавателния път (фарватера), блокирайки трафика за месеци (както би се случило при Русе или Свищов), капитанът или спасителите умишлено избутват кораба към плитчина (пясъчна коса) или полегат бряг. Корабът "ляга" на дъното и спира да се клати – елиминира се рискът от преобръщане. Превръща операцията от "морска" в "брегова" – позволява на пожарните коли от сушата да подават вода/пяна от брега. Спира се движението на кораба по течението.

Ако горящ кораб загуби управление в реката, той се превръща в неуправляем снаряд, носен от течението със скорост 5-10 км/ч. Основният страх на властите не е загубата на кораба, а сблъсъкът му с **мостови подпори** (напр. Дунав мост) или пристанищни терминали с горива (напр. Булмаркет). Ако горящ шлеп заседне под мост, акумулираната топлина (над 800-1000°C) може да разкали стоманената конструкция на моста и да предизвика срутване за минути.

В морето под кила има стотици метри дълбочина. В река Дунав, особено при ниски води, под кила може да има само 30-50 см. Вкарването на вода за гасене увеличава теглото на кораба. Всяко натежаване увеличава газенето. Спасителите могат успешно да загасят пожара, но корабът да натежи толкова, че да "седне" на дъното в средата на канала, превръщайки се в скъпоструващ паметник, който изисква сложна операция по изваждане. Затова изпомпването по време на гасене в река е още по-критично, отколкото в морето.

Речните кораби са плоскодънни и имат много нисък надводен борд. Те са изключително чувствителни към наличие на вода на палубата. Докато един морски кораб може да понесе известен ъгъл на наклон, речната баржа може да се преобръне изключително бързо и внезапно при наличие на свободни водни повърхности.

При речното гасене фокусът се измества от **"оцеляване на вълните"** към **"контрол на позицията"** (да не ударим мост) и **"хибридно взаимодействие"** (използване на брега като активна платформа за гасене).

4. Хидродинамичен конфликт: остойчивост и плаваемост

В условията на пожар качествата на кораба **остойчивост и плаваемост** често влизат в противоречие: **действията за спасяване на едното често унищожават другото.**

Плаваемост е способността на кораба да носи тежестта си. Това е **вертикална битка**. Загубата ѝ означава, че корабът потъва в "нормална" позиция (на равен кил), докато водата погълне надстройките.

Остойчивост е способността на кораба да се изправи. Това е **ротационна битка**. Загубата ѝ означава, че корабът се преобръща – често внезапно и катастрофално, преди да е потънал напълно.

При гасене на пожар, се вкарва **допълнителна маса (вода)** в системата. Тази маса атакува кораба по два различни вектора едновременно:

- **Атака срещу плаваемостта:** Водата тежи. Всяка минута работа на противопожарните помпи добавя тонове към водоизместването. Корабът газе все по-дълбоко. Когато нивото на водата достигне първите незатворени отвори (вентилация, илюминатори), запасната плаваемост се изчерпва. Трябва да се спре водата или да се изпомпва;
- **Атака срещу остойчивостта:** Водата не е закрепен товар – тя се движи. Когато водата се разлее широко (напр. в гараж на ферибот или голям трюм), при най-малкия наклон тя се устремява към ниския борд. Ако водата се натрупа на високи палуби (както при гасене на електромобили на горна палуба), центърът на тежестта на кораба се качва нагоре. Метацентричната височина става отрицателна. Корабът губи способност да се изправи.

Тук възниква дилемата на капитана. Често мерките за спасяване на едното влошават другото (таблица 1) [5,6,7]:

Най-коварната проява на конфликта е т.нар. „Ъгъл на застои“. Когато устойчивостта е загубена, корабът не се преобръща веднага. Той се накланя на една страна (напр. 15 градуса) и остава там, сякаш е намерил ново равновесие. Екипажът мисли, че товарът се е разместил и се опитва да изравни кораба, прехвърляйки баласт. При опит за изправяне, корабът рязко се премества на другата страна (flopping) с още по-голям ъгъл, което често води до пълно преобръщане.

Таблица 1

Действие	Ефект върху плаваемостта	Ефект върху устойчивостта	Конфликт
Наводняване на трюма (за да се загаси огънят долу)	Критично: Рязко увеличава газенето. Риск от потъване.	Положително (първоначално): Сваля центъра на тежестта ниско долу.	Подобрява се устойчивостта, но има риск да се потопи кораба от тежест.
Гасене на високи палуби (Спринклери/Дренчери)	Умерено: Водата се отича през шпигатите (ако не са запушени).	Катастрофално: Водата високо горевдига центъра на тежест	Пази се плаваемостта, но има риск от мигновено преобръщане.
Изпомпване на водата	Положително: Олеква.	Рисковано: Ако помпата засмуква от една страна, създава асиметрия.	Докато се маха водата, може да се дестабилизира кораба.

В съвременната морска наука решението на конфликта е в **прецизността, а не в обема**. Вместо "наводняване" (което убива плаваемостта), се използва **водна мъгла** (която пести тегло). Вместо "широко обливане", което убива устойчивостта, се използва **секционизиране** (прегради, които не позволяват на водата да се разлее по цялата ширина).

Този конфликт е причината, поради която в чек-листите на капитаните основният въпрос е: **"Можем ли да позволим на огъня да гори (контролирано), за да спасим кораба от водата?"**

5. Новият конфликт: електромобили

Превозът на електромобили въвежда критичния риск от **„термично бягство“**, при което литиево-йонните батерии генерират собствен окислител и развиват температури над 1000°C, правейки стандартните задушавачи системи (CO₂) напълно неефективни [8,9,10,11].

Единственият метод за овладяване на процеса е масивното охлаждане с огромни количества вода (често над 10 000 литра на един автомобил), което обаче директно активира **конфликта „остойчивост – плаваемост“**. Натрупването на тази гасителна вода върху палубите създава опасни свободни повърхности, които могат да дестабилизират и преобърнат кораба много по-бързо, отколкото самият огън би го унищожил.

6. Интеграция на брегови ресурси и външна хидродинамична подкрепа

В борбата за запазване на плаваемостта и остойчивостта, автономните ресурси на кораба често са недостатъчни. Намесата на бреговите служби променя уравнението на масовия баланс чрез въвеждане на външни променливи.

Основният лимитиращ фактор за корабния екипаж е капацитетът на щатните осушителните помпи. При пожар на електромобили, дебитът на вкарваната гасителна вода често надвишава дебита на изхвърляната, което води до неизбежно потъване или преобръщане.

Доставянето на тежки преносими потопяеми помпи от специализирани катери (в района на Варна) или директно от брега (при авария на кей в Русе) позволява изравняване на вкарваната и изхвърляната вода. Това предотвратява натрупването на критична маса вода и елиминира свободните повърхности, преди те да станат фатални.

В съвременната морска практика, капитанът не бива да изчислява устойчивостта на ръка по време на криза. Чрез сателитна връзка корабът изпраща данни за текущото си състояние (газене, ъгъл на наклон, разпределение на товара) към брегови аварийен център. Бреговите инженери използват специализиран софтуер, за да симулират ефекта от гасенето *преди* водата да бъде пусната.

При речни инциденти, брегът може да се използва не само като логистична база, а като физически стабилизатор. Чрез стоманени въжета към брегови пилони или чрез контролирано опирание в кея, корабът може да бъде механично фиксиран. Това външно закрепване елиминира част от накланящия момент, предизвикан от свободно движещата се вода вътре в корпуса, позволявайки по-агресивно гасене, което иначе би преобърнало съда в открити води.

7. Въздействие върху инфраструктурата: щети и ерозия

Когато горящ кораб е на кей, пристанището търпи сериозни поражения. При температури над 200°C битумът в асфалта губи вискозитет. Бетонните кейове страдат от отлюспване поради мигновеното изпарение на водата в порите на бетона.

Отичащите се води са агресивен коктейл от пенообразуватели, горива и киселини (от батерии). Те разяждат пътната основа и дренажните системи, създавайки каверни. Това нанася големи икономически щети върху пътната инфраструктура на пристанището [15,16,17,18].

8. Устойчиво строителство и проектиране

За да се минимизират щетите върху пътната инфраструктура, пристанищата в Северна България трябва да преминат към модели на устойчиво строителство [19,20].

8.1. Високоустойчиви бетони

При изграждането на кейови стени за опасни товари трябва да се използват бетони с добавка на **полипропиленови фибри**. При пожар фибрите се стопяват, създавайки микроканални, през които парата напуска бетона, без да го взривява [12,13,14].

8.2. Интелигентни дренажни системи

Устойчивото пристанище не позволява на отровената вода да влезе в морето или почвата. Проектиране на пътната настилка с обратен наклон към специализирани аварийни резервоари. Те събират химически замърсената вода за последващо пречистване, предпазвайки основите на пътя от ерозия.

8.3. Модулни настилки в "горещите зони"

В зоните за претоварване на горива и химикали (напр. Варна-Запад), асфалтът следва да се замени с термоустойчиви модулни бетонови елементи. Това позволява бърза подмяна на увредени участъци след инцидент, без спиране на работата на целия терминал.

9. Научна хипотеза

Въз основа на анализа, се формулира следната хипотеза за оптимизация:

„Прилагането на хибриден модел на „Устойчива настилка с интегриран дренаж“ и тактика на „Локализирана водна мъгла“ при пристанищни пожари намалява структурните щети на инфраструктурата с 60% и предотвратява загубата на устойчивост на кораба, сравнено с конвенционалните методи.“

10. Заключение

Съвременното управление на морските пожари изисква холистичен подход. Той започва от хидродинамиката на кораба в морето, минава през тактиката на спасяване в реката и завършва с устойчивото строителство на брега. Интеграцията на тези елементи е единственият път към сигурността на логистичните вериги в Северна България.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] **Biran, A. & Pulido, R.** (2013). Ship Hydrostatics and Stability (2nd Edition). Butterworth-Heinemann. (Основен труд за метацентричната височина и свободните повърхности)
- [2] **Lewis, E. V.** (Ed.). (1989). Principles of Naval Architecture: Vol. II - Resistance, Propulsion and Vibration. Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME)
- [3] **Francescutto, A.** (2016). Intact Stability of Ships: The creation of the Second Generation Intact Stability Criteria. Journal of Marine Science and Technology
- [4] **Wartsila Encyclopedia of Marine Technology.** Free Surface Effect description and mitigation strategies in compartment flooding
- [5] **DNV (Det Norske Veritas).** (2021). Fires on Ro-Ro decks: Insights and recommendations. DNV Maritime
- [6] **Wang, Q., et al.** (2019). Thermal runaway caused fire and explosion of lithium-ion battery. Journal of Power Sources, 424, 27-34. (За химическия механизъм на горене)
- [7] **Larsson, F. & Mellqvist, A.** (2020). Fire suppression of Lithium-ion batteries on board ships. RISE Research Institutes of Sweden
- [8] **Andersson, P.** (2018). Ventilation and Fire Control in Ship Cargo Holds. Lund University: Department of Fire Safety Engineering
- [9] **PIANC (The World Association for Waterborne Transport Infrastructure).** (2014). Design and Maintenance of Container Terminal Pavements. Report n° 165
- [10] **Kodur, V.K.R.** (2014). Properties of Concrete at Elevated Temperatures. ISRN Civil Engineering. (Относно "spalling" ефекта при пожар на кейови стени)
- [11] **Khoury, G.A.** (2000). Effect of fire on concrete and concrete structures. Progress in Structural Engineering and Materials, 2(4), 429-447.
- [12] **Chowdhury, H.** (2020). Sustainable Port Infrastructure: Resilient Design against Chemical and Thermal Hazards. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering.
- [13] **Danube Commission.** (2021). Recommendations on the organization of the risk management in the Danube navigation. Budapest.
- [14] **Black Sea Memorandum of Understanding on Port State Control.** Annual Reports on Deficiency Statistics (Fire Safety)
- [15] **Цекова М.,** Преки щети, които горските пожари нанасят върху пътната инфраструктура, Електронен журнал на ВСУ "Ч.Храбър"; гр.Варна, бр.23-2025, стр.868-874, ISSN 1313-7514

- [16] **Цекова М.**, Косвени щети, които горските пожари нанасят върху пътната инфраструктура, Електронен журнал на ВСУ "Ч.Храбър"; гр.Варна, бр.23-2025, стр.875-882 ISSN 1313-7514
- [17] **Цекова М.**, Икономически щети, които горските пожари нанасят върху пътната инфраструктура, Електронен журнал на ВСУ "Ч.Храбър"; гр.Варна, бр.24-2025, стр.32-40 ISSN 1313-7514
- [18] **Цекова М.**, Фактори, влияещи върху уязвимостта на пътната инфраструктура към горски пожари, Електронен журнал на ВСУ "Ч.Храбър"; гр.Варна, бр.23-2025, стр. 41-47-ISSN 1313-7514
- [19] **Цекова М.**, Пожарна безопасност и устойчиво строителство: предизвикателства и иновации, Научен атлас: Електронно научно списание, гр.Кърджали, бр.13-2025, стр.56-70, ISSN 2738-7518
- [20] **Цекова М.**, Пожарна безопасност и устойчиво строителство: най-добри практики за интегриран дизайн, Научен атлас: Електронно научно списание, гр.Кърджали, бр.13-2025, стр.43-55, ISSN 2738-7518