



DOI: [10.71167/uaceg.2026.590206](https://doi.org/10.71167/uaceg.2026.590206)

Получена: 02.10.2025 г.

Приета: 22.12.2025 г.

ОТНОСНО ВЪЗМОЖНОСТТА ЗА ПОВТОРНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА СТОМАНЕНИТЕ КОНСТРУКЦИИ СЛЕД ПОЖАРНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ ВЪРХУ ТЯХ

Д. Даков¹, С. Иванов², В. Георгиев³

Ключови думи: пожар, стоманена конструкция, конструктивно обследване, оценка на повреди

РЕЗИЮМЕ

Натрупаният практически опит в последните две десетилетия от експлоатацията на стоманени конструкции, претърпели пожарно въздействие показва, че повторното използване на носещи стоманени части при определени условия е икономически целесъобразно и не води до съществено снижение на тяхната надеждност.

В статията е представено конструктивното обследване след пожарно въздействие на складова сграда със стоманен носещ скелет без предвидена пожарозащита. Представено е числено моделиране на пожарното въздействие и е определена критичната температура за различните носещи елементи. Направена е оценка на получените повреди от пожарното въздействие и са посочени критерии за експлоатационна годност.

Анализът на резултатите от проведеното конструктивно обследване дава основание да се препоръча запазване на целостта на основната конструкция като се подменят засегнатите болтови съединения и се поднови антикорозионната защита. Предписани са конструктивни мерки за ремонт на отделни елементи и съединения.

¹ Димитър Даков, проф. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: dakov_fce@uacg.bg

² Станислав Иванов, инж., докторант, кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: stan.g.ivanov@gmail.com

³ Васил Георгиев, гл. ас. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: georgiev_fce@uacg.bg

1. Увод

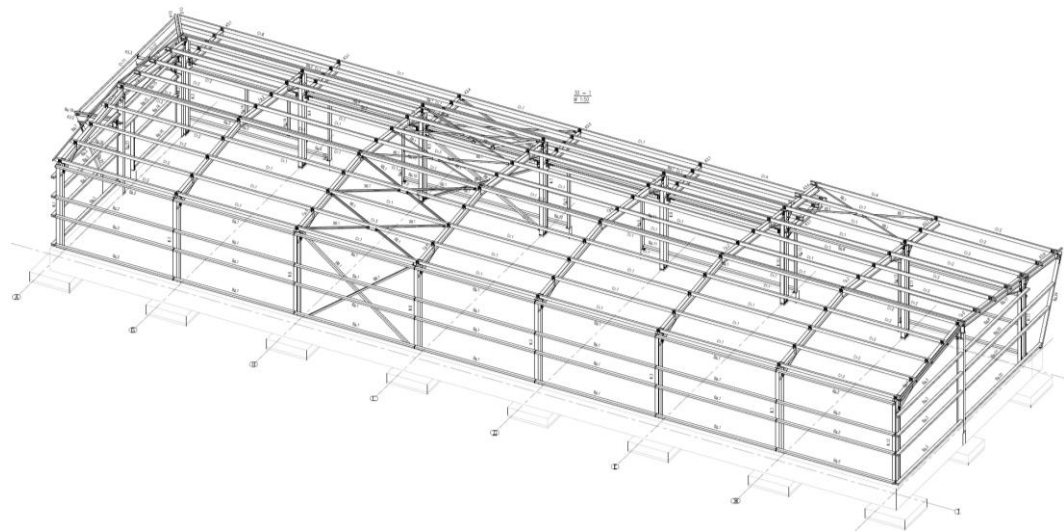
Интересът спрямо поведението на стоманените конструкции в условията на пожар е непрекъснат, тъй като подобно явление не може да бъде изключено независимо от предприеманите превантивни мерки. Натрупаният практически опит в това отношение у нас и в чужбина показва, че в много случаи е възможно повторно използване на стоманените носещи елементи и заварени съединения с достатъчна степен на надеждност.

Известно е, че пораженията от пожарното въздействие зависят от мощността на излъчваната енергия, времето на пожарното въздействие, скоростта на охлаждане, конструктивната схема на стоманената конструкция, коефициентът на масивност на стоманените елементи, вида на противопожарната защита и др.

За правилната оценка на повредите и разрушенията, настъпили в стоманената конструкция по време на пожар, е необходим практически опит, висок професионализъм, задълбочени познания относно свойствата на стоманата при нагряване и изстиване, както и добра представа за действителната работа на стоманената конструкция. В настоящата статия са представени резултатите от проведеното конструктивно обследване на складова сграда със стоманена носеща конструкция, претърпяла пожарно въздействие. Извършено е и числено моделиране за определяне на критичната температура на стоманените елементи при стандартен пожар.

Въз основа на анализа за поведението на стоманената конструкция в условията на пожар са предложени критерии за оценка на пораженията от пожарното въздействие и са дадени препоръки относно възможността за повторно използване на стоманените елементи и съединения.

2. Кратко описание на стоманената конструкция, претърпяла пожарно въздействие



Фиг. 2.1. Пространствен изглед на сградата

Носещата конструкция на складовата сграда е композирана от едноотворни двуставни пълностенни стоманени рамки с корави възли между ригела и стойките.

Отворът на рамките е 12,0 m, а разстоянието между рамките е 6,0 m. Общата дължина на конструкцията е 42,0 m, а височината на рамките при билото е 5,9 m. За стабилизирането на сградата в надлъжно направление е използвана една биконструкция, разположена в средата на сградата (фиг. 2.1).

Стойките (колоните) и ригелите на пълностенните рамки са изпълнени от горещовалцувани двойно-Т профили IPE400 от стомана S355 и IPE330 от стомана S275. Ригелите на пълностенните рамки са двускатни с чупка в билото и формират покривните наклони. В зоната на коравата връзка между ригела и стойката са използвани вути. Тези вути са изпълнени като фланцеви с болтове M20, кл. 8.8.

Надлъжните вертикални връзки между стойките са Х-образни и са изпълнени от единични ъглови профили L100*100*10, а напречните хоризонтални връзки между ригелите са от единични ъглови профили L 60*60*6. Свързването на вертикалните и хоризонталните връзки към съответните рамки е посредством болтове M20, кл. 8.8.

Специфична особеност на стоманената конструкция на складовата сграда е наличието на външни стоманени козирки на две нива, което усложнява съществено конструирането и изследването на същата.

Покривните столици и стенните водачи са изпълнени от затворени профили RHS 160*80*5. Покривното и стенното ограждане е изпълнено от стоманени пенополиуретанови панели, скрепени към столиците и водачите посредством резбонарезни винтове.

3. Констатации от обследването на конструкцията

Основните констатации от направеното обследване на повредената от пожара стоманена конструкция са следните:

- Покривните и стенните панели по протежение на цялата сграда са силно деформирани или напълно разрушени (фиг. 3.1). Пенополиуретановият изолационен слой практически е изгорял или силно овъглен.



Фиг. 3.1. Напълно разрушени изолационни слоеве

- Столиците и стенните водачи в преобладаващата си част са останали със съхранена конструктивна форма и геометрия. Изключение правят само няколко столици и стенни водачи, намиращи се в зоната на възникване на пожара в крайното източно междуосие (фиг. 3.2).



Фиг. 3.2. Компрометираны столици и водачи в крайно междуосие

- Надлъжните вертикални връзки, намиращи се в средата на сградата, нямат видими повреди, но разстоянието между двата срещуположно разположени диагонала е значително по-голямо от заложеното в проекта (фиг. 3.3).



Фиг. 3.3. Голямо разстояние между ъгловите профили на вертикалната връзка

- Някои от диагоналите на напречната хоризонтална връзка в покривната конструкция между ригелите са деформирани (фиг. 3.4).



Фиг. 3.4. Деформирани диагонални елементи от хоризонталната връзка

- Има допуснат дефект при монтажа на крайните диагонали на напречната хоризонтална връзка, като е монтиран само един болт (фиг. 3.5).



Фиг. 3.5. Елемент от хоризонтална връзка, монтиран с един болт

- Главните конструктивни части на стоманената конструкция (пълностенните стоманени рамки) като цяло нямат видими остатъчни деформации след пожарното въздействие с изключение на втората рамка, разположена в зоната на пожарното огнище, при която има изкривена стойка (фиг. 3.6).



Фиг. 3.6. Изкривена стойка (колона) от рамката, следствие от пожара

4. Съображения, свързани с носимоспособността на стоманените елементи и съединения, претърпели пожар

Поведението на стоманената конструкция при пожарно въздействие е много сложно в сравнение с това при обикновена температура. За това съдействат главно следните фактори [3]:

- Якостта на стоманата при температура над 400 °C рязко намалява, а при температура 700 °C – 1000 °C практически се изчерпва в зависимост от вида на стоманата.
- При висока температура (над 300 °C) стоманените елементи работят нелинейно и нееластично.
- Термичното въздействие причинява големи деформации и премествания в конструкцията.

За използването на стоманените конструкции след пожарно въздействие в специализираната литература се дават различни препоръки, по-важните от които са следните [4 – 6]:

- Обикновената стомана и стоманата с повишена якост с добри пластични свойства запазват до голяма степен своята якост и коравина при изстиване след пожарно въздействие (80 % – 90 %).
- Температурното въздействие при пожара над 720 °C може да направи стоманата склонна към крехко разрушение, ако тя бъде рязко охладена при гасенето на пожара.
- Заваръчните шевове, подложени на температурно въздействие по време на пожара, имат поведение, което е близко до това на основния метал.
- Болтовите съединения са по-чувствителни на температурни въздействия в сравнение със заварените съединения. Огневото въздействие разрушава защитното покритие върху болтовете. Болтовете, подложени на термообработка при производството си, след пожарно въздействие губят качествата си при температура, която е близка или по-висока от температурата на отвръщане.

5. Критерии за оценка на повредите и основни изводи

Основните критерии за оценка на нанесените повреди на стоманените елементи при пожарното въздействие са получените отклонения в тяхната конструктивна и геометрична форма. Може условно да се приеме, че когато получените промени в геометрията и конструктивната форма на стоманените елементи не надвишават съществуващите допуски за изготвяне и монтаж на стоманените конструкции, същите могат да бъдат отново използвани. В определени случаи в употреба могат да влязат и силно деформирани елементи, ако предварително се изправят, ремонтират или усилят. Практиката обаче показва, че възстановяването на силно деформирани от пожар стоманени конструктивни части е икономически неизгодно. Поради това с оглед възможностите за ремонт на повредени стоманени елементи се предлага групиране в следните три категории:

- Категория 1: Стоманени елементи без видими повреди.
- Категория 2: Стоманени елементи с малки повреди (деформации).
- Категория 3: Стоманени елементи с големи повреди (изкривявания).

Таблица 1. Категория на конструктивните елементи и съединения според повредите

№	Наименование на конструктивните елементи и съединения	Категория			Коментари и препоръки
		11	22	33	
11	Покривни панели	–	–	да	Напълно разрушени. Да се бракуват.
22	Стенни панели	–	–	да	Напълно разрушени. Да се бракуват.
33	Покривни столици RHS 160×80×5	да	*	–	Съхранена геометрия и конструктивна форма с изключение на няколко броя между оси „Е“ и „Ж“.
44	Стенни водачи RHS 160×80×5	да	*	–	Повторна употреба на правите елементи. Възможност за ремонт или подмяна на деформираните елементи.
55	Вертикални връзки между стойките L100×100×10	да	–	–	Изправно състояние. Могат да се използват отново. Необходима е връзка между диагоналите (вж. Прилож. 2).
66	Хоризонтални връзки между ригелите L60×60×5	да	*	–	Някои от елементите на хоризонталните връзки имат променена геометрия и трябва да бъдат ремонтирани или подменени. Другите могат да се ползват повторно.
77	Ригели IPE 330	да	–	–	Изправно състояние. Могат да се използват отново.
88	Стойки IPE 400	да	*	–	Изправно състояние с изключение на 1 стойка по ос „Ж“. Могат да се използват отново. Повредената стойка по ос „Ж“ трябва да се ремонтира или подмени.
99	Конзолни части	да	–	–	Изправно състояние. Възможност за използване в бъдеще.
110	Заварени съединения	да	–	–	Изправно състояние. Не се налага ремонт.
111	Болтови съединения	да	да	да	Болтовите съединения са с различна степен на повреда. Задължително следва да се подменят болтовете във фланцевите съединения между ригелите и стойките и тези за прикрепване на конзолните части. За останалите болтове следва да се направи индивидуална оценка на място от специалист – строителен конструктор.
112					

Счита се, че възстановяването на стоманени елементи от Категория 3 е неефективно и може да се предприеме само в специални случаи.

В таблица 1 е предложена обобщена схема на обследваните стоманени елементи и съединения и групиране според категорията на повредите, както и препоръки за вземане на решение относно повторното използване на елементите и съединенията.

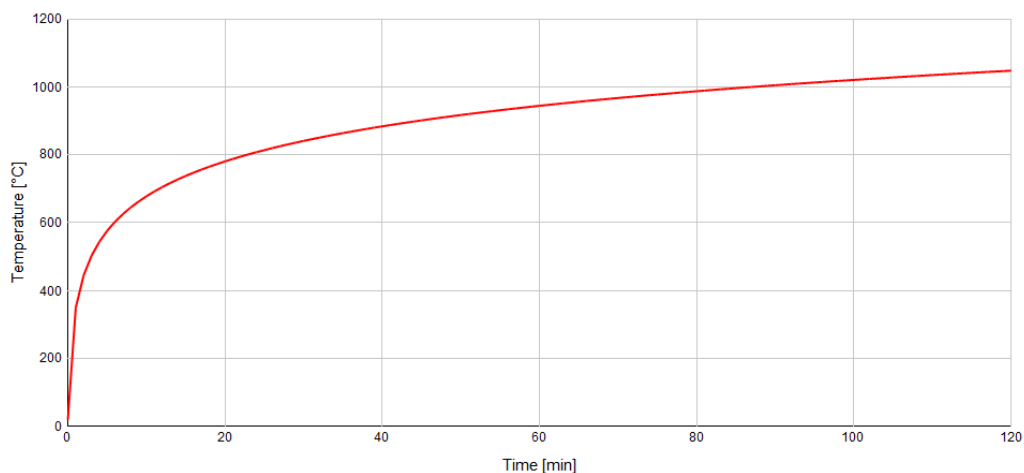
Основните изводи от анализа на проведеното конструктивно обследване са следните:

- Пожарът, избухнал в складовата сграда, е причинил цялостни повреди и разрушения на покривното и стенното ограждане, изпълнено от пенополиуретанови панели, и същото подлежи на бракуване.
- След потушаването на пожара основната носеща конструкция е останала с ненарушена геометрия и конструктивна форма с изключение на една от напречните рамки, намираща се в огнището на пожара.
- Може да се приеме, че всички носещи стоманени елементи с ненарушена геометрия и конструктивна форма са получили само еластични деформации и безпроблемно могат да бъдат повторно използвани.
- Болтовете във фланцевите съединения, работещи на опън, следва да бъдат подменени поради повредено защитно покритие и опасност от крехко разрушение.

6. Числено моделиране на пожарното въздействие

Направено бе изчисление за носимоспособността на носещата конструкция в условия на пожарно въздействие съгласно [1 и 2].

Пожарното въздействие участва в извънредна изчислителна ситуация, като съгласно национално определените за България коефициенти на съчетание на въздействия в пожарна ситуация на гореописаната сграда въздействат единствено собствените тегла и постоянни товари на сградата – не се отчитат променливи въздействия като сняг и вятър.



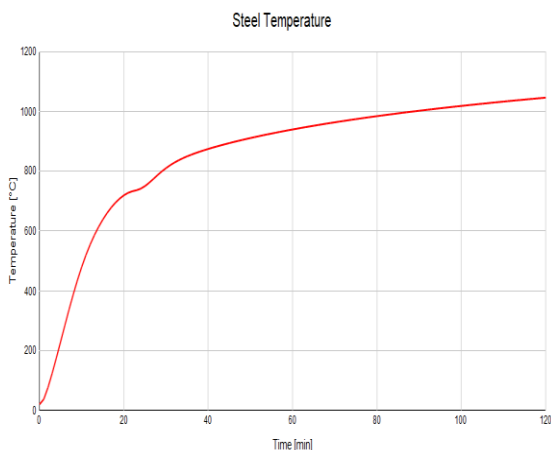
Фиг. 6.1. Стандартна температурна крива на ISO 834

Тъй като разглежданата сграда е с леко покривно и стенно ограждане – пенополиуретанови панели, същата има голям запас на носимоспособност при обикновена температура при въздействия от само постоянни товари.

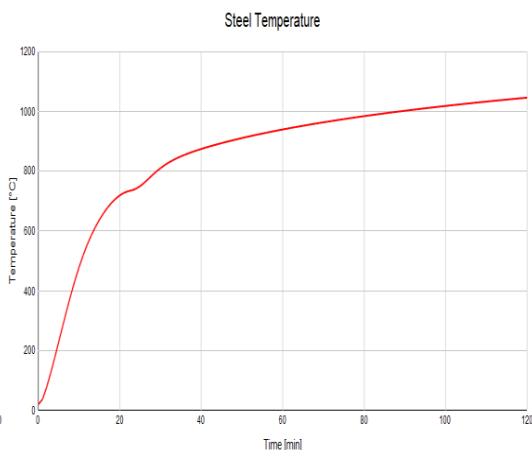
При направените изчисления очаквано се получиха високи стойности на критичните температури на отделните елементи на разглежданата сграда.

Получените критични температури за отделните елементи са следните:

- Колони на рамка IPE400 – 620°.
- Ригели от рамка IPE330 – 750°.
- Конзолни греди IPE330 – 740°.
- Столици RHS 160×80×5 – 750°.



**Колони на рамка IPE400 –
Крит. температура 620° на 16 min**



**Ригели на рамка IPE330 –
Крит. температура 620° на 16 min**

Фиг. 6.2. Критични температури на отделни елементи

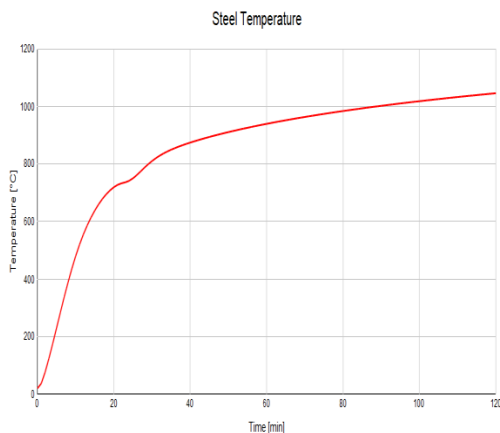
Тези критични температури са сравнително високи и доказват гореописаното, че конструкцията е била слабо натоварена по време на пожарното въздействие.

Основният проблем идва от това, че конструкцията не е била пожарозащитена. Няма данни каква е била температурата в пожарния отсек, а и точното ѝ получаване по математически методи е твърде сложно, може да се приеме опростена процедура за определяне на температурата с използване на кривата на ISO за стандартно пожарно въздействие.

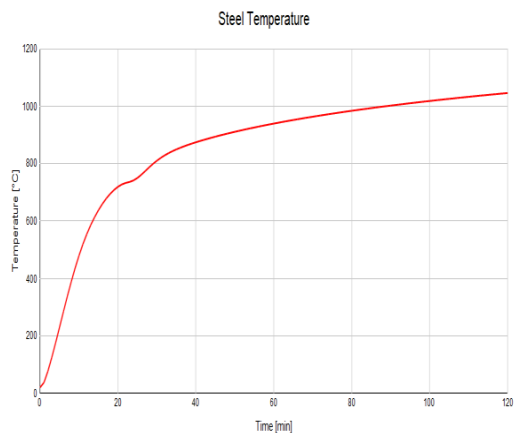
За незащитени елементи подложени на пожарно въздействие със стандартна пожарна крива на ISO 834 критичните температури на елементите се достигат, както е дадено на фиг. 6.3. Използван е софтуер Ozone v3.0.4.

В заключение от проведените изчисления за пожарна ситуация може да се заяви, че носещите елементи са имали добър запас за носимоспособност в извънредна пожарна ситуация, което води до сравнително високи критични температури. Поради липсата на пожарозащита на конструкцията тези елементи биха достигнали тези температури сравнително бързо при постоянно и интензивно пожарно въздействие, каквото симулира стандартната пожарна крива на ISO 834.

От направения оглед на конструкцията може да се заключи, че повечето елементи не са достигнали критичната си температура – или пожарът не е бил достатъчно продължителен, или достигнатата температура не е била толкова висока.



**Конзолни греди IPE330 –
Крит. температура 740° на 24 min**



**Столици RHS 160x80x5 –
Крит. температура 750° на 23 min**

Фиг. 6.3. Критични температури на отделни елементи

7. Заключение

Повторното използване на стоманените конструкции, претърпели пожарно въздействие, е напълно възможно, ако същите се приведат отново в експлоатационна годност след необходимите технологични операции, свързани с тяхното реновиране. За целта е наложително предварително конструктивно обследване и конкретна оценка относно годността на отделните конструктивни елементи и съединения.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. БДС EN 1991-1-2: Actions on structures. Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire.
2. БДС EN 1993-1-2: Design of steel structures. Part 1-2: General rules – Structural fire design.
3. *Dakov, D., Ivanov, S.* Otsenka povrezhdeniy v stalnykh konstruktsiyah, podvergaemih pozharnomu vozdeystviyu. Nauchno-prakticheskaya konferentsiya MGSU, Moskva, 2013.
4. *Maraveas, Ch., Fasoulakis, Z., Tsavadaridis, K.* Post – fire assessment and reinstatement of steel structures. // Journal of Structural Fire Engineering, May, 2015.
5. *Simms, W. I.* Fire resistance of steel – framed buildings. Corus, 2006.
6. *AISC – R.H.R. Tide* – Integrity of structural steel after exposure to fire. Engineering Journal. January, 1998.

POSSIBILITY OF REUSING STEEL STRUCTURES AFTER FIRE IMPACT ON THEM

D. Dakov¹, S. Ivanov², V. Georgiev³

Keywords: fire, steel structure, structural examination, assessment of structural damage

ABSTRACT

The accumulated practical experience in the last two decades of operation of steel structures that have suffered fire damage shows that the reuse of load-bearing steel parts under certain conditions is economically feasible and does not lead to a significant decrease in their reliability.

The paper presents the structural examination after fire impact on a warehouse building with a steel load-bearing skeleton without fire protection. Numerical modeling of the fire impact is presented and the critical temperature for the various load-bearing elements is determined. An assessment of the damage caused by the fire impact is made and criteria for operational suitability are specified.

The analysis of the results of the structural inspection provides grounds to recommend preserving the integrity of the main structure by replacing the affected bolted joints and renewing the anti-corrosion protection. Structural measures for the repair of individual elements and joints are prescribed.

¹ Dimitar Dakov, Prof. Dr. Eng., Dept. "Steel, Timber and Plastic Structures", UACEG, 1 H. Smirnski Blvd., Sofia 1046, e-mail: dakov_fce@uacg.bg

² Stanislav Ivanov, Eng., PhD student, Dept. "Steel, Timber and Plastic Structures", UACEG, 1 H. Smirnski Blvd., Sofia 1046, e-mail: stan.g.ivanov@gmail.com

³ Vasil Bogdanov, Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Steel, Timber and Plastic Structures", UACEG, 1 H. Smirnski Blvd., Sofia 1046, e-mail: georgiev_fce@uacg.bg