

Обеспечение безопасности металлических конструкций в строительстве

УДК 621.3.035.223.21-027.267

Артюхова Людмила Сергеевна

Студентка кафедры «Промышленное, гражданское строительство, геотех-ника и фундаментостроение»,
Южно-Российского Государственного Поли-технического Университета (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия;
e-mail: neponyatnaya93@mail.ru

Аннотация: Автором рассмотрены основные методы огнезащиты для жилых и общественных зданий и сооружений. Произведен анализ эффективности металлических конструкций, выбраны новейшие методы ан-тикоррозийной и огнезащиты металлических конструкций. Для методов оштукатуривание, облицовки и нанесения покрытия была составлена таблица необходимой толщины по отношению к пределам огнестойкости. На основании данной таблицы построены графические и эмпирические зависимости для двутавровой колонны 30к1, отображающие зависимость температуры от времени и пределы огнестойкости от приведенной толщины покрытия. По графическим данным был выбран наиболее экономический способ огнезащиты.

Ключевые слова: безопасность металлоконструкций, металлокон-струкции, огнезащита

Металлические конструкции являются важнейшим и лидирующим материалом, выгодно отличающим себя от прочих строительных элементов. Применение стали уже давно известно в различных областях жизнеде-ятельности человека [1, 2], повышает качество среды жизни, что соответствует Указу Президента и Постановлению Правительства [3, 4].

Использование его для возведения несущих и ограждающих элементов зданий и сооружений по-

зволило специалистам строительной индустрии проектировать высокие многоэтажные жилые комплексы [5, 6].

Однако при большем количестве положительных свойств в использовании стального каркаса в промышленном или гражданском строительстве, есть и два существенных недостатка: сопротивляемость пожарам и их стойкость к коррозионному воздействию. Ниже приведены группы для коррозионной защиты. Существующие расчетные положения также должны учитывать данные факторы.

Существуют несколько групп конструкций с необходимой корро-зийной защитой:

- I группа—защита устанавливается на этапах проектирования и изготовления конструкций;
- II группа — условие, в котором технологических показателей анти-коррозионной защиты конструкции недостаточно;
- специальная — в том случае, если методы I и II группы не выполняются.

Наиболее распространенным методом уменьшения коррозионного износа является покрытие элементов лакокрасочными материалами. Выбор необходимой краски или лака осуществляется по выявлению атмо-сферной влажности и влияния агрессивных сред и газов [5 –7].

К особенностям выбора краски или лака по выявлению атмосферной влажности относится:

ENSURING THE SAFETY OF METAL STRUCTURES IN CONSTRUCTION

Artyukhova Lyudmila Sergeevna

Student of the Department of Industrial, Civil Engineering, Geotechnics and

Foundation Engineering of the M.I. Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia;

e-mail: neponyatnaya93@mail.ru

Abstract: The author considers the main methods of fire protection for residential and public buildings and structures. The efficiency of metal structures is analyzed, the latest methods

of corrosion and fire protection of metal structures are selected. For the plastering, cladding and coating methods, a table of the required thickness in relation to the fire resistance limits was compiled. Based on this table, graphical and empirical dependences for the 30k1 I-beam column are constructed, showing the dependence of temperature on time and the limits of fire resistance on the reduced coating thickness. According to the graphic data, the most economical method of fire protection was chosen, but the resulting deflections exceed the limit according to current standards.

Keywords: safety of metal structures, metal structures, fire protection

- температура воздуха;
- температура окрашиваемой поверхности;
- влажность воздуха;
- увлажнение поверхности.

Влага, сконденсированная на поверхности, может привести к нежелательным последствиям:

- вызвать коррозию металла;
- нарушить смачиваемость поверхности лакокрасочным материалом;
- уменьшить сцепление лакокрасочного покрытия с окрашиваемой поверхностью;
- вызвать образование в лакокрасочной пленке дефектов (пор, кратеров, сморщивания).

Для повышения устойчивости пожару существует два основополагающих метода огнезащиты - сухой и влажный, которые обосновывают выбор способа построения защиты.

К достоинствам сухих технологий огнезащиты является выполнение работ в любое время года, а также в условиях, когда по каким либо техно-логическим или иным причинам применение мокрых технологий является недопустимым. Сухие технологии являются более трудоемкими, а выполнение огнезащиты на конструкциях сложной пространственной формы, например, балках и фермах является трудно решаемой технологической задачей. Некоторые материалы можно отнести условно к сухим, например, плитные или рулонные материалы, они могут крепиться мастиками или клеями, либо комбинированным мокро-сухим способом и, впоследствии, оштукатуриваться перед чистовой отделкой. При проектировании стальных колонн учитывают следующие требования: минимизация расхода стали; скорость установки; однотипность параметров; минимизация расходов ресурсов при изготовлении; простота и надежность стыковых соединений; небольшая прилегающая площадь на фундаменте; простые узлы и переходы.

Влажная огнезащита может выполняться в любое время года. Обкладка кирпичом является трудоемким и медленным процессом, поэтому может выполняться при малых объемах огнезащитных работ. Наиболее технологичным и применяемым процессом является оштукатуривание защитных конструкций методом торкретирования. Данный метод позволяет создавать огнезащитные покрытия, точно повторяющие форму защищаемой строительной конструкции. Покрытия, используемые этим методом, могут быть подвергнуты финишной обработке или окраске для придания водостойкости, а также для стойкости к агрессивным средам.

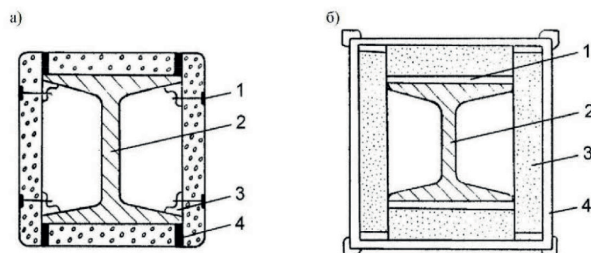


Рис. 1. Способы конструктивной огнезащиты:
 а) плитами из ячеистого бетона; 1 – болт; 2 – колонна;
 3 – приваренный уголок; 4 – цементный раствор;
 б) вермикулитовыми плитами: 1 – клей; 2 – колонна;
 3 – вермикулитовая плита; 4 – алюминиевый лист

Приведенные выше способы огнезащиты основаны на замедлении прогрева металла за счет создания препятствий поступающему тепловому потоку, которые подробно освещены ниже [6].

Существуют несколько способов огнезащиты: сухая и влажная защита; штукатурка; обетонирование; краски; инумесцентные составы (вспучивающиеся шпаклевки с толщиной более 3 мм); конструктивная огнезащита (рис. 1). Нами предусмотрено использование в строительных конструкциях различных красок и приведенные ниже условия их применения [5].

Разрушение стали без поверхностного покрытия начинается формироваться с поверхности металлического элемента.

Существует несколько типов коррозии: сплошная; местная; межкристаллитной или интеркристаллитной [9].

В зависимости от внешних воздействий коррозию подразделяют на: химическую (газовую); жидкостно-химическую; электрохимическую.

Ниже представлены способы и методы антикоррозийного покрытия и огнезащиты (рис. 2).

В настоящее время для огнезащиты используют следующие лакокрасочные покрытия: Термобарьер; Джокер; Джокер М; Джокер АЭС; Джокер 521; Лидер; Уникум; Монокот Крилак; ОФП-НВ «Эскалибур»; Миропан-ПРО-Металл; Миронит-Металл. Ниже представлены описания их применений.

Огнезащитная краска «Термобарьер» разработана для снижения потери прочностных характеристик стальных колонн. Она применяется в промышленном и гражданском строительстве, и ее следует использовать только внутри помещений.

Главной особенностью данной краски является возможность работы практически при любых погод-



Рис. 2. Действие вспучивающегося огнезащитного покрытия
 а) конструкция до пожара; б) конструкция после пожара

ных условиях (температура окружающего воздуха от -30°C до $+35^{\circ}\text{C}$, относительная влажность до 90%).

К преимуществам ее можно отнести: компактность; независимость от атмосферных температурных перепадов; высокая скорость высыхания краски и др.

Краска, которая соответствует II, III, IV, V, VI, VII группам огне-стойкости и обеспечивает предел огнестойкости металлоконструкций от 15 до 120 минут (R15, R30, R45, R60, R90, R120) [5, 6].

При определении противопожарной защиты используется понятие «приведенная толщина металла» (ПТМ). От которой зависят требуемые параметры обработки.

$$F_{пр} = S \cdot 10 / P,$$

где: $F_{пр}$ — приведенная толщина металла;
 S — площадь поперечного сечения, в см;
 P — обогреваемый периметр, в см.

Расчеты учитывают НПБ 236-97* и отображают зависимость толщины покрытия от приведенной толщины металла. Процедура расчета использует несколько формул, при этом учитываются параметры сечения детали — периметр.

При определении противопожарной защиты используется понятие «приведенная толщина металла» (ПТМ). От него зависят требуемые параметры обработки, при этом исчисления учитывают НПБ 236-97* и отображают зависимость толщины покрытия от приведенной толщины металла. Процедура расчета использует несколько формул, учитывает параметры сечения детали — периметр. Ниже в таблице 1 представлены технические характеристики для расчета огнезащиты стальных колонн.

Пример расчета покрытия и ПТМ:

Исходные данные:

Двутавр 300(h) 300(b) 10(S) 11080(f).

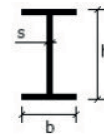


Рис. 3. Параметры двутавра:
 S — толщина стенки; h — высота двутавра;
 b — ширина полки

Таблица 1

Технические характеристики для расчета огнезащиты стальных колонн

Колонны (ГОСТ 26020 - 83)*				
Сортамент	Приведенная толщина металла	Обогреваемый периметр	Площадь поверхности 1 м, м ²	Площадь поверхности 1 т, м ²
20К1	4,48768	1177	1,177	28,361
20К2	5,05076	1182	1,182	25,203
23К1	4,75071	1400	1,4	26,82
23К2	5,39672	1404	1,404	23,597
26К1	5,41591	1534	1,534	23,528
26К2	6,05917	1538	1,538	21,011
26К3	6,85881	1544	1,544	18,58
30К1	6,08794	1774	1,774	21,019
30К2	6,86242	1788	1,788	18,567
30К3	7,80642	1777	1,777	16,318
35К1	6,76186	2066	2,066	18,833
35К2	7,73385	2074	2,074	16,473
35К3	8,85096	2080	2,08	14,394
40К1	7,43655	2364	2,364	17,13
40К2	8,88627	2374	2,374	14,336
40К3	10,80469	2386	2,386	11,794
40К4	12,85833	2400	2,4	9,909
40К5	15,35596	2416	2,416	8,297

Марка стали сортамента 30К2; обогрев ведется с 4 сторон.

Производим расчет периметра двутавра:

$$P = 2h + 4b - 2s = 2 \cdot 300 + 4 \cdot 300 - 2 \cdot 10 = 1780 \text{ мм. [13]}$$

$$\delta_{\text{пр}} = \frac{F}{\Pi}$$

где, приведенная толщина металла (ПТМ)

F – площадь поперечного сечения,

P – обогреваемый периметр, тогда

$$\delta_{\text{пр}} = 11080 / 1780 = 6,22 \text{ мм.}$$

Окончательные расчеты выполняются по ГОСТ 53295-2009, а расчет делают для критической температуры металла $t + 500$ °С.

Используя графики и таблицы защитных составов, подставив которые, получают требуемую толщину СО для исчисленного ПТМ [13].

На основании имеющихся данных сортовентов колонных двутавров (Гост 26020 – 83*) и методов уменьшение скорости набора критической температуры стальной колонны, получается прослойки создания между зоной влияния огня и строительного элемента. Из таблицы 2 производится выбор метода огнезащиты.

В жилых и общественных зданиях для стальных конструкций реко-мендуется применять только конструктивную огнезащиту без использования вспучивающихся компонентов. Вышеуказанные данные для облицовки усиливают массу конструкции, а также повышается долговечность конструкции и сопротивляемость воздействия влажности и динамическим нагрузкам (рис. 4).

При этом общая эмпирическая зависимость $y = Ax^2 + Bx + C$ где, Эмпирическая зависимость для кирпича: $y = 7,8571x^2 - 36,143x + 98$

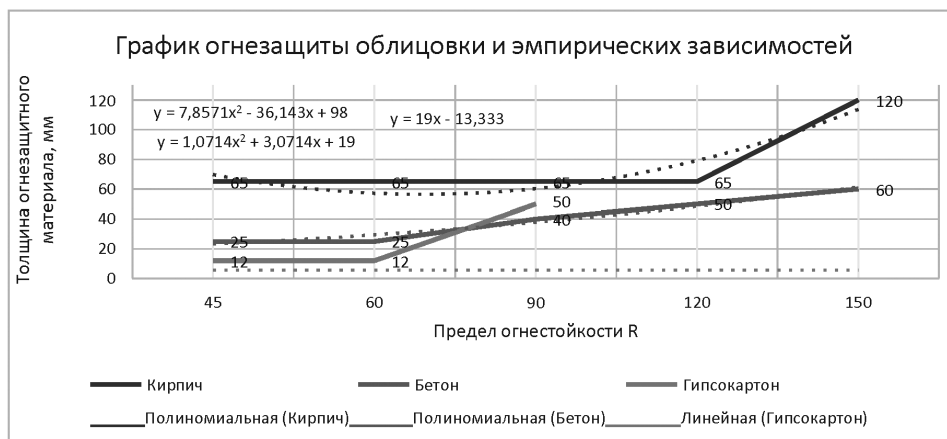


Рис. 4. График огнезащиты облицовки и эмпирических зависимостей

Таблица 2

Методы огнезащиты

Метод огнезащиты	Огнезащитный материал	Средняя плотность кг/м ³	Толщина огнезащитного материала, мм (При требуемых пре-делах огнестойкости, мин.)				
			45	60	90	120	150
Облицовка	Кирпич ША - 8	1800	65	65	65	65	120
	Бетон	2500	25	25	40	50	60
	Гипсокартон	850	12	12	50	-	-
Оштукатуривание	Цементно-песчаная штукатурка	1800	25	25	40	50	60
	Перлитовая штукатурка	500	15	15	30	40	50
Нанесение покрытий	Невспучивающиеся покрытие ОФП-МВ	300	15	15	30	40	45
	Вспучивающиеся покрытие ОЗС-МВ	1230	8	8	24	32	-

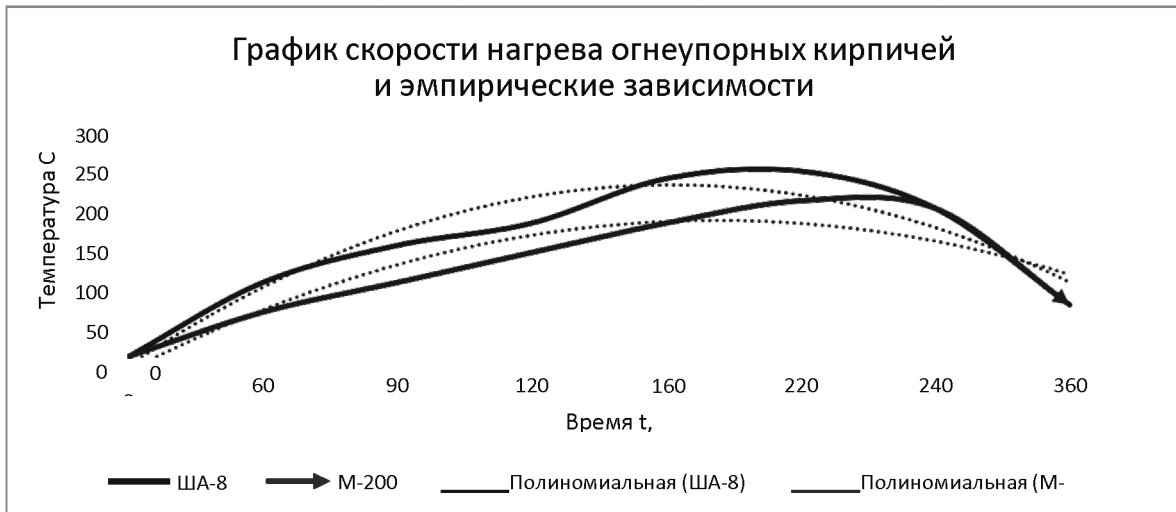


Рис. 5. График скорости нагрева огнеупорных кирпичей и эмпирических зависимостей

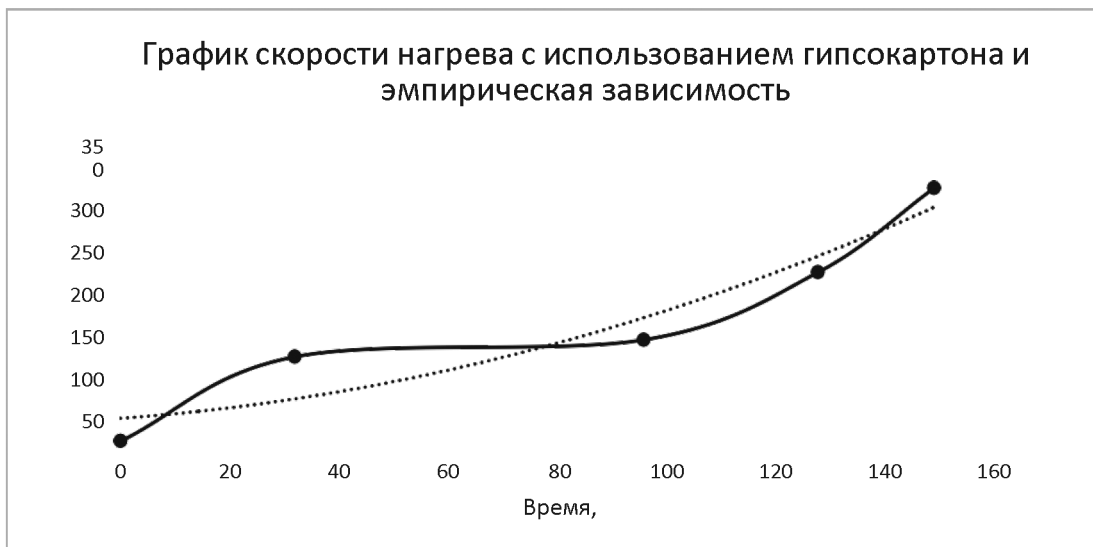


Рис. 6. График скорости нагрева с использованием гипсокартона и эмпирическая зависимость

Эмпирическая зависимость для бетона: $y = 1,0714x^2 + 3,0714x + 19$

Эмпирическая зависимость для гипсокартона: $y = 19x^2 - 57x + 50$

В качестве исследуемых образцов были взяты огнеупорные кирпичи ША – 8 и М-200, что обусловлено высокими показателями огнеупорности элемента (рис. 5).

При этом общая эмпирическая зависимость

$$y = Ax^2 + Bx + C,$$

где Эмпирическая зависимость для ША-8 $y = -14,94x^2 + 150,54x - 147,68$

Эмпирическая зависимость для М-200 $y = -10,595x^2 + 113,93x - 122,5$

Эмпирическая зависимость для гипсокартона:
 $y = Ax^2 + Bx + C,$

где $Ax^2 = 0,0092$; $Bx = 0,4924$; $C = 27,039$

Использование минераловатных плит обусловлено их высокими показателями тепло-сохраняющих характеристики могут использоваться в организации огнезащиты конструкции, причем необходимо использовать декоративную облицовку, что дополнительно повышает огнестойкость на 25 минут на каж-

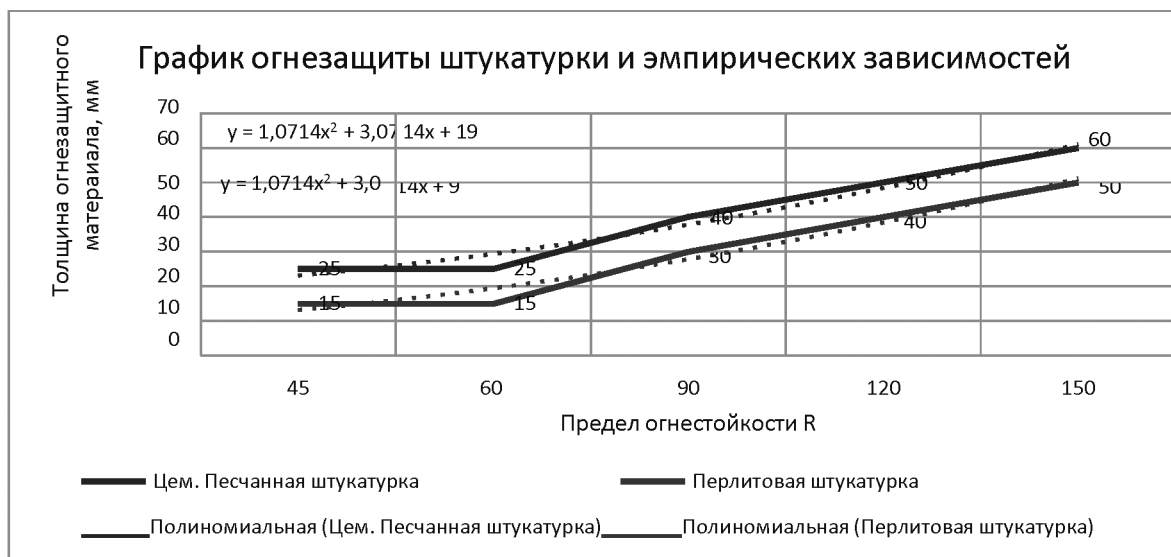


Рис. 7. График огнезащиты штукатурки и эмпирических зависимостей

дый слой. Ниже приведен график огнезащиты штукатурки и эмпирических зависимостей (рис. 7).

Общая эмпирическая зависимость $y = Ax^2 + Bx + C$,

где эмпирическая зависимость для цементно-песчанной штукатурки:

$$y = 1,0714x^2 + 3,0714x + 19;$$

эмпирическая зависимость для перлитовой штукатурки:

$$y = 1,0714x^2 + 3,0714x + 9.$$

При применении невспучивающихся огнезащитных покрытий предел огнестойкости которых достигается при применении облегченной штука-турки (200 – 600 кг/м³), применение легких термостойких заполнителей.

Нанесение происходит по сетке вручную или механизированным способом, причем толщина покрытия от 15 до 50 мм способна обеспечить предел огнестойкости от 0,75 до 2,5 часов.

Вспучивающиеся (терморасширяющиеся) огнеупорные краски или плиты, предпочтение отдается изделиям с использования вермикулитовых плит, состоящие из вулканического состава, а за счет их физико- механиче-ских свойств повышается теплоизоляция зданий.

Они используются по достижению температуры пожара при температуре более 200 0С, так как они начинают, расширяется, и со-здают термоизоляционный слой, превышающий и первоначальный объем в десятки раз. За счет этого огнестойкость конструкции повышается (рис. 8).

Общая эмпирическая зависимость $y = Ax^2 + Bx + C$,

где эмпирическая зависимость для невспучивающегося покрытия:

$$y = 1,0714x^2 + 3,0714x + 6$$

эмпирическая зависимость для вспучивающегося покрытия: $y = 8,8x - 4$

Ниже приведена зависимость собственного предела огнестойкости металлоконструкции от приведенной толщины металла (табл. 3), а также график огнезащиты незащищенных металлических конструкций (рис. 9).

Таблица 3

Зависимость собственного предела огнестойкости металлоконструкции от приведенной толщины металла

Приведенная толщина, мм	Предел огнестойкости, мин.
3	5
5	9
10	15
15	18
20	21
30	27

Общая эмпирическая зависимость

$$y = Ax + B,$$

где $Ax = 0,7749$; $B = 5,1142$.

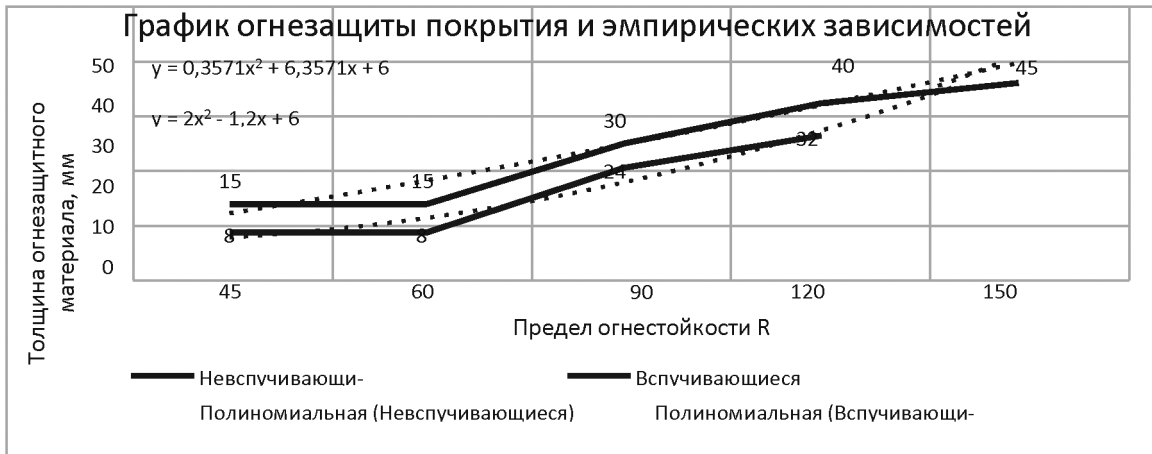


Рис. 8. График огнезащиты покрытия и эмпирических зависимостей

При облицовывании кирпичом, бетоном или гипсокартоном, нагрузка от этих средств не передается на конструкции, на нанесение растворов и покрытий дополнительно загружает непосредственно сами балки и колонны, что может вызвать перемещения и прогибы. В качестве примера автором была смоделирована в программном комплексе SCAD 3 плоская рама пролетами $l=6, 12$ и 24 м, а высота колонн $h=6$ м (табл. 4). При этом сечения конструкций, будут следующие: колонны - двутавр колонный 30К1; балки - двутавр широкополочный 20Ш1. Рассчитав массу состава на 1 м, стойки и балки рамы загружаются полученной нагрузкой и выполняется расчет (табл.5). В каждом случае учитывают собственный вес конструкций.

Результаты расчёта показали, что на колонны нанесённые средства влияют минимально и деформации пренебрежительно малы. Большие прогибы возникают в горизонтальных балках, которые можно увидеть в таблице 6.

Ниже представлены расчеты нагрузки на конструкции (табл. 5).

По результатам расчета наибольшее значение перемещений в 24 метровой балке при обработке её цементно-песчаным раствором. Данный является экономичным, но возникающие прогибы превышают допустимый предел по действующим нормам [15, 16]. При нанесении вспучивающегося покрытия ОЗС-МВ толщиной больше 8 мм сопряжено с риском возникновения избыточных де-

Таблица 4

Расчет плоских рам пролетов

Средства	Цементно-песчаная штука-турка		Перлитовая плита		Невспучивающиеся покрытие ОФП-МВ		Вспучивающиеся покрытие ОЗС-МВ	
	45	150	45	150	45	150	45	120
Предел огнест., мин	45	150	45	150	45	150	45	120
Пролёт 6 м	-0,59	-1,08	-0,3	-0,44	-0,28	-0,35	-0,32	-0,55
Пролёт 12 м	-8,26	-15,07	-4,2	-6,09	-3,88	-4,85	-4,45	-7,65
Пролёт 24 м	-123,73	-225,89	-62,92	-91,33	-58,09	-72,68	-66,74	-114,59

Таблица 5

Нагрузка на конструкции

30к1	Цементно-песчаный раствор		Перлитовая плита		Невспучивающиеся покрытие ОФП- МВ		Вспучивающиеся покрытие ОЗС-МВ	
	Предел огнест., мин	45	150	45	150	45	150	45
Площадь поверхн	1,774	1,774	1,774	1,774	1,774	1,774	1,774	1,774
Толщина мат, м	0,025	0,06	0,015	0,05	0,015	0,045	0,008	0,032
Объём нанес. мат., м3	0,04435	0,10644	0,02661	0,0887	0,02661	0,07983	0,014192	0,056768
Плотность нанесения мат., кг/м3	1800	1800	500	500	300	300	1230	1230
Масса мат., кг	79,83	191,592	13,305	44,35	7,983	23,949	17,45616	69,82464
20Ш1								
Площадь поверхн 1м, м2	0,976	0,976	0,976	0,976	0,976	0,976	0,976	0,976
Толщ мат, м	0,025	0,06	0,015	0,05	0,015	0,045	0,008	0,032
Объём нанес мат., м3	0,0244	0,05856	0,01464	0,0488	0,01464	0,04392	0,007808	0,031232
Плотность нанес. мат., кг/м3	1800	1800	500	500	300	300	1230	1230
Масса мат., кг	43,92	105,408	7,32	24,4	4,392	13,176	9,60384	38,41536

Таблица 6

Прогибы балок по оси Z

30к1								
	Цементно-песчаный раствор		Перлит		Невспучивающиеся покрытие ОФП- МВ		Вспучивающиеся покрытие ОЗС-МВ	
	Предел огнест., мин	45	150	45	150	45	150	45
Площадь поверхн 1м, м2	1,774	1,774	1,774	1,774	1,774	1,774	1,774	1,774
Толщ. мат, м	0,025	0,06	0,015	0,05	0,015	0,045	0,008	0,032
Объём нанес. мат., м3	0,04435	0,10644	0,02661	0,0887	0,02661	0,07983	0,014192	0,056768
Плотность нанес. мат., кг/м3	1800	1800	500	500	300	300	1230	1230
Масса мат., кг	79,83	191,592	13,305	44,35	7,983	23,949	17,45616	69,82464

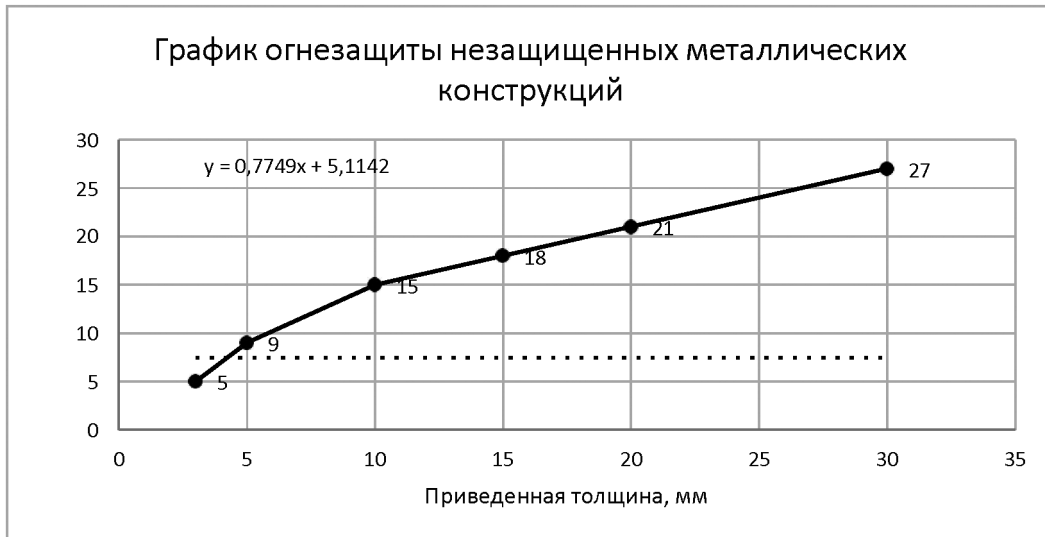


Рис. 9. График огнезащиты незащищенных металлических конструкций

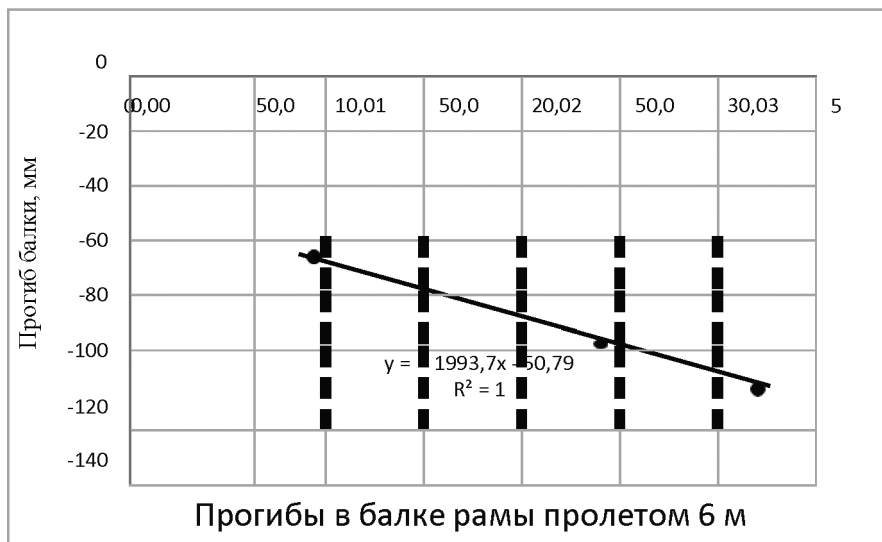


Рис. 10. Прогибы в балке рамы пролетом 6 м

формаций. Для расчёта нужной толщины слоя в таком случае можно воспользоваться эмпирической зависимостью, представленной далее на графике (рис. 10).

Полученные результаты могут быть использованы в строительной практике при проектировании каркасов стальных конструкций и разработке мероприятий по их защите от огня.

Литература

1. Крахмальний Т.А., Евтушенко С.И. Дефекты и повреждения металлических колонн производственных зданий // Строительство и архитектура (2021). Том 9. Выпуск 2 (31) 2021. – С.11-15. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-2-11-15
2. Крахмальний Т.А., Евтушенко С.И. Дефекты и повреждения металлических подкрановых балок производственных зданий // Строительство и архитектура (2021). Том 9. Выпуск 3 (32) 2021. – С. 11-15. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-3-11-15

3. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
4. Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
5. Металлические конструкции в гидротехнике: учеб. издание / И.И. Кошин [и др.]. - М.: АСВ, 2002 С. 192
6. Голованов В.И., Пехотиков А.В., Павлов В.В. Обзор рынка средств огнезащиты металлоконструкций. Преимущества и недостатки различных видов – М.: Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Огнезащита XXI века» – 2014. С. 50.
7. Голованов В.И., Пехотиков А.В., Павлов В.В. Новые огнезащитные облицовки для несущих стальных конструкций – М.: Материалы XX научно-практической конференции, «Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах», ВНИИПО, 2007 г., С. 227229. С. 87.
8. Damage to the Vertical Braces of Industrial Buildings / T A Krahmalny and S I Evtushenko // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1079 (2021) 052086 DOI: 10.1088/1757-899X/1079/5/052086
9. Плевков В.С., Мальганов А.И., Полищук А.И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий. – 1990.
10. СП 54.13330.2011 Здания жилые многоквартирные
11. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции
12. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции
13. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.
14. СП 2.13130.2012 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты».
15. ГОСТ 8239-89 «Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент».
16. Методическое пособие по учету тепло-огнезащиты в расчетах огнестойкости железобетонных конструкций. ОАО НИЦ «Строительство», 2013 г.