

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОВРЕЖДЕННОГО ПОЖАРОМ ЗДАНИЯ СКЛАДА. РЕБРИСТЫЕ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ

В здании складского назначения произошел пожар. Причиной пожара стало воспламенение горючих товаров при контакте с раскаленными каплями металла, образовавшимися при сварочных и газорезательных работах. Склад был заполнен продовольственными и промышленными товарами. В результате пожара содержимое складов на всех 8000 м² было уничтожено полностью. Этот факт характеризует масштаб пожара.

Здание склада было построено в начале 80-х годов 19-го столетия и выполнено в полном железобетонном каркасе, состоящем из двухветвевых колонн высотой до низа стропильных конструкций 12,6 м, стропильных 24-х метровых, подстропильных 12-ти метровых ферм и ребристых железобетонных плит покрытия 3х6 м. В разной степени пострадали все несущие железобетонные конструкции остова здания. Но наиболее сильно плиты. Несколько плит обрушилось во время пожара.

Пожар характеризуется 5-ым классом огневой нагрузки с удельной ее величиной 800–500 Мдж/м², что характеризуется средней степенью вероятности обрушения конструкций.

Пожары такого масштаба случаются не часто, поэтому, на наш взгляд, результаты его последствия могут представлять большой интерес для экспертов, занимающихся обследованием и восстановлением строительных конструкций, в том числе поврежденных пожаром.

Материал, добытый при обследовании, очень обширен и не может вместиться в рамках одной статьи. Поэтому данная статья посвящена результатам обследования только ребристых плит покрытия, наиболее пострадавших от пожара.

В обычной практике, информация о продолжительности и максимальной температуре горения отсутствует. Экспертам пришлось самостоятельно косвенными методами определять температуру огневого воздействия на различные конструкции здания.

Максимальную температуру пожара определили по четырем косвенным признакам, а именно: (1) через снижение прочности бетона конструкции по [1] — 500–600°C; (2) через проявление внешних дефектов согласно [1] — 600–700°C; (3) через состояние утеплителя кровли — 600–700°C; (4) через расчетный уровень пожарной нагрузки и приведенную к стандартному продолжительность пожара по [1] — 800°C.

Окончательно приняли расчетную температуру горения для конструкций плит покрытия 700°C с возможным разбросом значений в диапазоне 500–800°C.

В покрытии здания склада применены железобетонные ребристые плиты двух марок размером 3х6 м. Плиты без вутов с толщиной полки 25 мм относятся к серии ПК-01-74*/62. Армирование продольного ребра Ø22А-IIIв соответствует марке плиты ПНС-4.

Плиты с вутами и толщиной полки 30 мм относятся к серии 1.465-7 вып.1, а их марка — ПАIIIв-4, соответствует армированию продольного ребра плиты Ø22А-IIIв. Проектная марка бетона у обеих разновидностей плит одинаковая — М300. На торцах демонтированных плит обнаружены заводские надписи вышеназванных марок.

Внешние дефекты в плитах были классифицированы следующим образом:

- (1) трещины в полке плиты в рабочем (коротком) направлении;
- (2) трещина в сопряжении полки и продольного ребра.
- (3) взрывообразное разрушение бетона полки пожаром;
- (4) разрушение бетона продольного ребра в пролете с оголением арматуры;
- (5) продольная трещина в поперечном ребре;
- (6) продольная трещина в продольном ребре;
- (7) сверхнормативные деформации поперечных или продольных ребер.

В приведенном перечне дефекты ранжированы по частоте их проявления. Несмотря на некоторые различия в конструктивном решении, обе примененные марки плит ПАIIIв-4 и ПНС-4 имеют одну и ту же проектную несущую способность — 670 кгс/м² с учетом собственного веса плит.

Уровень загруженности плит до пожара от реальной нагрузки составлял 83%. Но пожар внес некоторые коррективы в распределение нагрузки на плиты. Пожар произошел в начале февраля и тающий снег, перемещаясь по скатам сегментных ферм в низкие места к опорам, перегрузил в каждом пролете крайние ряды плит. В сочетании с увеличенным слоем цементно-песчаной подготовки над этими плитами их перегрузка достигала величины 25–30%. Это означает, что нагрузка для них была близка к разрушающей.

В каждом пролете крайние плиты покрытия имели дефект (7) и были забракованы. Их было рекомендовано демонтировать и заменить на новые. Часть плит обрушилась, а другие забракованы по косвенным признакам: наличие остаточных прогибов, превышающих предельные в 10 раз (1/20-1/50L), раскрытие трещин до 5 мм (фото. 1.).

Девяносто процентов плит имело дефект (1). Сочетание высокой температуры под плитами, высокого уровня напряжений и ажурность конструкции полки, привели к тому, что в них возникли многочисленные трещины. Они сопровождалась деформациями полки и большим раскрытием трещин до 0,5 мм. Обследование показало, что прочность бетона полки таких плит снизилась до 50%. Были выявлены случаи частичного пережога отдельных стержней Вр-I арматурной сетки, выходящих на нижнюю поверхность плиты.





Фото. 1. Общий вид ребристой плиты в составе покрытия после пожара с косвенными признаками разрушения.

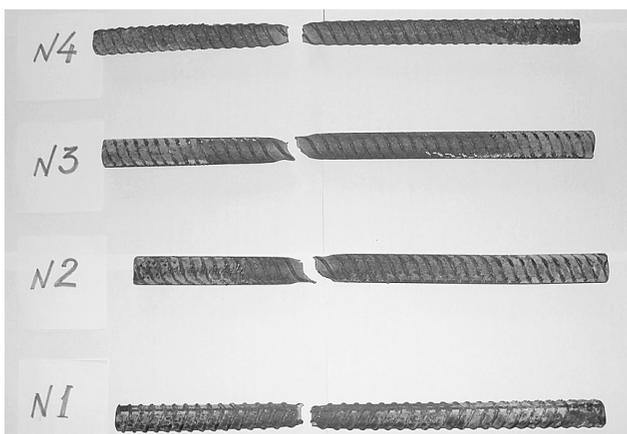


Фото. 2. Образцы арматуры А-IIIв из продольных ребер плит после испытания

Расчеты показали, что при неблагоприятном сочетании ослаблений арматуры и прочности бетона, появляется дефицит несущей способности полки плит. Данные плиты требовали усиления полки. Состояние таких плит оценено как *непригодное к нормальной эксплуатации*.

Учитывая частоту появления данного дефекта и в связи с неопределенностью состояния арматурных сеток в плитах, эксперты пришли к выводу об усилении полок всех сохраняемых плит покрытия.

Усиление рекомендовано посредством устройства армированной набетонки толщиной 35 мм из пескобетона марки М200 поверх существующих плит. Для обеспечения совместной работы старой и новой частей бетона рекомендована установка в очищенные от раствора продольные швы между плитами плоских каркасов с поперечной конструктивной ($\varnothing 5Bp-I$) и нижней рабочей арматурой ($\varnothing 14A-III$) с последующим тщательным обетонированием этих швов вместе с

набетонкой. В качестве армирования набетонки применена сетка с ячейкой 150x150 мм из арматурной проволоки Вр-I диаметром 4 мм. Необходимо отметить, что при этом устранялся и дефект (3).

Дефект (2) выявлен у 17% плит. Трещины, расположенные в опорных частях, часто захватывали середину пролета. Трещины в стыке ребер плиты с ее полкой возникли от разности температурных напряжений в сечениях с резким перепадом толщины. Состояние таких плит оценено как *непригодное к нормальной эксплуатации*. Продольные ребра таких плит требовали усиления или разгрузки с помощью установки рядом с ребром металлического прогона из прокатного профиля расчетного сечения.

Во всех остальных случаях (дефекты 4...6) считали, что бетон при пожаре выполнил свои защитные функции, трещины ограниченной ширины не влияли на несущую способность. Но для сохранения рабочей арматуры от коррозии рекомендовано покрыть треснувшие бетонные поверхности одним из антикоррозионных составов.

Из продольных ребер демонтированных плит для лабораторных исследований были вырезаны образцы рабочей арматуры (фото. 2), а также образцы арматурной сетки полок плит.

Стержни № 1 и № 2 вырезаны из продольного ребра плиты марки ПАIIIв-4 серии 1.465-7 вып.1. Стержни № 3 и № 4 — из продольного ребра плиты марки ПНС-4 серии ПК-01-74*/62. Испытания проведены в лаборатории НЗМК В/О ОАО «Союзстальконструкция» 21.07.2009. Результаты приведены в таблице 1. При этом на поверхности плиты температура оценена в 700-800°C. А при защитном слое бетона 2,5 см стержневая арматура могла прогреваться до 500-550°C.

Согласно [2] для арматуры А-III предел текучести и временное сопротивление соответственно составляют: $\sigma_T = 40$ кгс/мм², а $\sigma_B = 60$ кгс/мм². Согласно [3] нормативное сопротивление растяжению (оно же контролируемое значение условного предела текучести) для арматуры А-IIIв составляет 55 кгс/мм². Сравнивая данные [2] и [3] с результатами испытаний, видим, что опытная величина предела текучести несколько превышает нормируемое значение для арматуры класса А-III, но ниже этого же показателя для арматуры А-IIIв. Таким образом, можно констатировать, что коэффициент условий работы для стержневой арматуры А-IIIв при действии на нее температуры 500...550°C и последующем остывании составил в среднем $K = 0,83$, а с обеспеченностью 95% его можно принять равным 0,75 (таблица 2).

Образцы арматуры Вр-I для испытания были вырезаны из рабочей арматурной сетки полки плит. Стержни №1...6 вырезаны из полки плиты марки ПНС-4 серии ПК-01-74*/62, а стержни №7...13 — из продольного ребра плиты марки ПАIIIв-4 серии 1.465-7 вып.1. Плиты демонтированы из-за косвенных признаков разрушения. Испытания проведены в

Таблица 1. Из протокола лабораторных испытаний арматуры АIIIв

№ стержня	Класс и диаметр	Площадь стержня, см ²	Предел текучести σ_T , кг/мм ²	Временное сопротивление, σ_B , кг/мм ²	Усилие, соответствующее σ_T , кгс	Усилие, соответствующее σ_B , кгс
1	$\varnothing 22$ А-IIIв	3,801	не обнаружен	71,0	нет	27 000
2	$\varnothing 22$ А-IIIв	3,801	43,4	68,4	16 500	26 000
3	$\varnothing 22$ А-IIIв	3,801	48,7	63,1	18 500	24 000
4	$\varnothing 22$ А-IIIв	3,801	45,2	59,2	17 200	22 500



НИЛ «Строительные конструкции» СГУПС 29.07.2009 г. (таблица 3).

Согласно [4] для проволоки $\varnothing 4\text{Вр-I}$ и $\varnothing 5\text{Вр-I}$ усилия, соответствующие условному пределу текучести, и разрывное усилие соответственно равны: $P_{0,2} = 355$ и 630 кгс, а $P_b = 720$ и 1085 кгс.

При этом оценено, что на нижней поверхности плиты температура доходила до $700-800^\circ\text{C}$. А при защитном слое бетона $1,25...1,5$ см арматурная проволока могла прогреваться до 600°C . Сравнивая данные [4] с результатами испытаний, можно сделать вывод о существенном снижении прочностных свойств арматурной проволоки Вр-I $\varnothing 4$ и $\varnothing 5$ при ее работе в составе плиты покрытия под действием высокой температуры — до 600°C (таблица 4). В связи с тем, что для проволочной арматуры за нормативное сопротивление согласно [4] принято брать наименьшее контролируемое значение временного сопротивления $\sigma_{в'}$, оценим по таблице 4 снижение этого показателя.

Из таблицы 4 видно, что временное сопротивление проволочной арматуры Вр-I от действия температуры в 600°C в среднем снижено для:

$\varnothing 4\text{Вр-I}$ на 37% в диапазоне значений 33...43%;

$\varnothing 5\text{Вр-I}$ на 34% в диапазоне значений 21...45%,

а коэффициент условий работы для проволочной арматуры Вр-I в среднем составил $K=0,65$. При этом

с обеспеченностью 95% в расчетах можно рекомендовать $K=0,5$.

В различного рода специализированной литературе данных об изменении прочностных характеристик арматуры классов А-IIIв и Вр-I после пожара практически не содержится. При этом данные классы арматуры часто присутствуют в различных конструкциях. Исключение составляет [5], где величинам рассмотренных коэффициентов назначены более низкие значения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по обследованию зданий и сооружений, поврежденных пожаром. НИИЖБ Госстроя СССР, М., 1987.

2. ГОСТ 5781-82 Сталь горячекатанная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия.

3. СНиП 2.03.01-84 Бетонные и железобетонные конструкции.

4. ГОСТ 6727-80 Проволока из низкоуглеродистой стали холоднотянутая для армирования железобетонных конструкций. Технические условия.

5. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений. НИИСК Госстроя СССР, М., 1989.

Таблица 2. Анализ результатов испытания арматуры АIIIв

№ стержня	Предел текучести $\sigma_{т'}$, кг/мм ²		Снижение прочности, %	Временное сопротивление, $\sigma_{в'}$, кг/мм ²		Снижение прочности, %
	по ГОСТ	испытания		по ГОСТ	испытания	
1	40	не выявлен	не выявлено	60	71,0	нет
2	40	43,4	нет	60	68,4	нет
3	40	48,7	нет	60	63,1	нет
4	40	45,2	нет	60	59,2	1,3

Таблица 3. Из протокола лабораторных испытаний арматуры Вр-I

№ стержня	Класс и диаметр	Площадь стержня, см ²	Условный предел текучести $\sigma_{0,2'}$, кг/мм ²	Временное сопротивление, $\sigma_{в'}$, кг/мм ²	Усилие, соответствующее $\sigma_{0,2'}$, кгс	Усилие, соответствующее $\sigma_{в'}$, кгс
ПК-01-74*/62 Плита ПНС-4						
1	$\varnothing 5$ Вр-I	1,963	20,5	30,5	410	600
2	$\varnothing 5$ Вр-I	1,963	19,5	31,0	390	620
3	$\varnothing 5$ Вр-I	1,963	20,0	30,5	400	610
4	$\varnothing 5$ Вр-I	1,963	20,0	31,5	400	630
5	$\varnothing 4$ Вр-I	1,257	23,0	36,2	300	470
6	$\varnothing 4$ Вр-I	1,257	22,3	36,9	290	480
1.465-7 вып.1 Плита ПАIIIв-4						
7	$\varnothing 5$ Вр-I	1,963	29,5	41,0	590	820
8	$\varnothing 5$ Вр-I	1,963	30,0	42,5	600	850
9	$\varnothing 5$ Вр-I	1,963	29,0	40,0	580	800
10	$\varnothing 5$ Вр-I	1,963	30,0	43,0	580	860
11	$\varnothing 4$ Вр-I	1,257	23,8	34,6	310	450
12	$\varnothing 4$ Вр-I	1,257	20,8	33,8	270	440
13	$\varnothing 4$ Вр-I	1,257	21,5	31,5	280	410

Таблица 4. Анализ результатов испытания арматуры Вр-I

№ стержня	Усилие, соответствующее $R_{в}$, кгс		Снижение $R_{в}$, %	Усилие, соответствующее $R_{0,2}$, кгс		Снижение $R_{0,2}$, %
	по ГОСТ	испытания		по ГОСТ	испытания	
ПК-01-74*/62 Плита ПНС-4						
1	1085	600	44,7	630	410	34,9
2	1085	620	42,8	630	390	38,1
3	1085	610	43,8	630	400	36,5
4	1085	630	41,9	630	400	36,5
5	720	470	34,7	355	300	15,5
6	720	480	33,3	355	290	18,3
1.465-7 вып.1 Плита ПАШв-4						
7	1085	820	24,4	630	590	6,3
8	1085	850	21,6	630	600	4,8
9	1085	800	26,3	630	580	7,9
10	1085	860	20,7	630	580	7,9
11	720	450	37,5	355	310	12,7
12	720	440	38,9	355	270	23,9
13	720	410	43,0	355	280	21,1

