

АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ И ОБРУШАЕМОСТИ БЛОКОВ ПОКРЫТИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Еремин Константин Иванович

*Генеральный директор ООО «ВЕЛД», г.Магнитогорск,
доктор технических наук, профессор,
заслуженный строитель России*

Матвеевский Сергей Александрович

*Доцент кафедры «Испытания сооружений» ФГБОУ ВПО «Московский
государственный строительный университет», г.Москва,
кандидат технических наук*

Арутюнян Геворг Арутюнович

*Аспирант кафедры «Испытания сооружений» ФГБОУ ВПО «Московский
государственный строительный университет», г.Москва*

Наиболее широкое применение и развитие в России металлоконструкции получили с середины прошлого века. Развитие металлостроительства сопровождалось совершенствованием методов расчета конструкций, основы которых заложены почетным академиком В.Г. Шуховым (XIX в.), с последующим развитием на базе коллективов ЦНИИ проектстальконструкция им. Н.П. Мельникова, МИСИ-МГСУ, ЦНИИСК им. А.В. Кучеренко и др. (XX в.). Металлические конструкции широко применяются в промышленном строительстве. Так в работе [1] отмечено, что к 80-м годам прошлого века стальные конструкции каркасов зданий составляли более половины всей массы стальных конструкций, возводимых в СССР. На примере Магнитогорского металлургического комбината также можно отметить, что с начала строительства (30-е годы прошлого века) и до настоящего времени до 90% промышленных зданий основных производственных цехов возведено и возводится (рис. 1) с применением металлических конструкций.

Здания и сооружения имеют свойства старения, что приводит к постепенному уменьшению их уровня безопасной эксплуатации. В работе [2] говорится, что в Челябинской области около 75% зданий эксплуатируется свыше 25 лет, а 50% - свыше 50 лет. Из общего числа сооружений было обследовано 70%, при этом у 93% обследованных зданий обнаружены нарушения технического состояния конструкций. Эти нарушения свойственны как промышленным предприятиям, так и объектам городской инфраструктуры. В работе [3] также отмечается, что с точки зрения надежной эксплуатации, наибольшие опасения вызывают промышленные здания, построенные в период с 1930 до 1980 г. Часть из них находится в

аварийном или предаварийном состоянии. В работе [4] говорится, что независимые экспертные организации осуществляют обследование зданий и сооружений не в достаточной мере. В работе подчеркивается, что согласно нормативным документам 60% производственных сооружений подлежат обследованию.

В то же время следует отметить, что с увеличением числа зданий и сооружений возникла проблема аварийности данных типов сооружений. В настоящее время, к сожалению, аварии являются неотъемлемой частью нашей жизни, что ярко отражается в работе [5]. При анализе работ [6-8] стало очевидно, что число аварий в промышленных зданиях с каждым годом возрастает (рис. 2). Следовательно, возрастают и материальные и человеческие потери. Необходимо отметить, что, несмотря на рост аварий промышленных зданий, их доля от всех произошедших обрушений снижается. Это говорит о необходимости разработки комплексных мероприятий по предотвращению аварий для всех типов зданий и сооружений.

В работе [7] приведены направления научных исследований по обеспечению комплексной безопасности и предотвращению аварий зданий и сооружений. Значимыми составляющими этих мероприятий являются статистический анализ накопления дефектов, исследование причин их возникновения, их классификация как инициаторов разрушения, изучение влияния времени на повреждаемость конструкций и учет деградационных свойств строительных материалов.

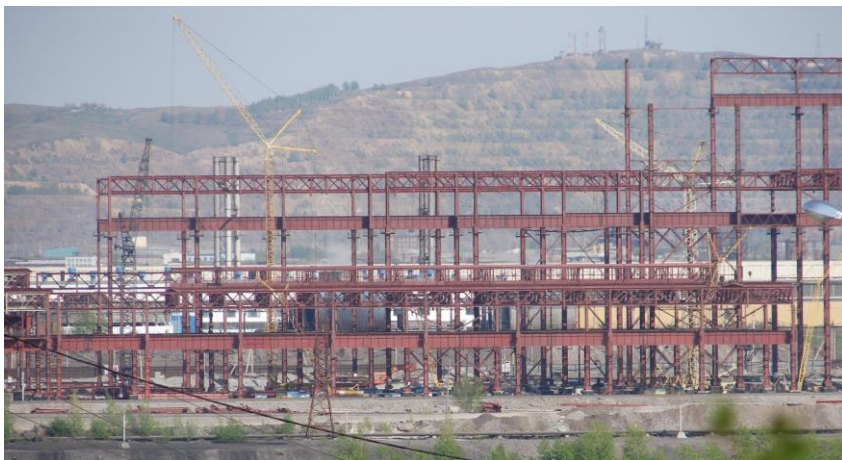


Рис. 1. Площадка строительства здания «Стан 2000» ММК

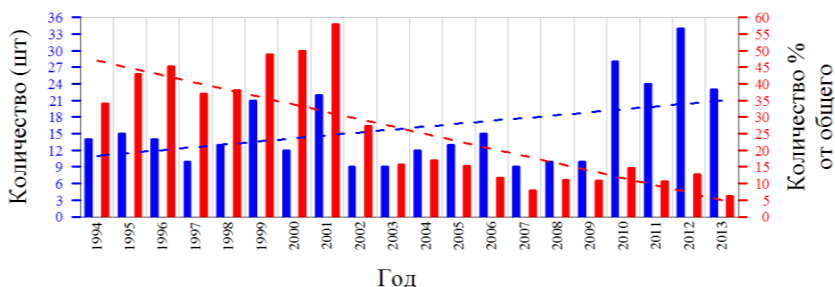


Рис. 2. Количество аварий промышленных зданий и их доля от общего числа в период с 1994 по 2013 гг.

Для оценки уровня безопасной эксплуатации промышленных зданий проведем:

- 1) анализ количества обрушенных стропильных ферм;
- 2) анализ площади обрушений блоков покрытий;
- 3) анализ влияния времени на повреждаемость стропильных ферм;
- 4) анализ повреждаемости стропильных ферм.

Анализ количества обрушенных стропильных ферм. Анализ опубликованных данных [3, 9-13], а также сведений, собранных авторами при участии в комиссиях по расследованию причин аварийного обрушения конструкций промышленных зданий, позволяет сделать вывод о том, что в большинстве случаев аварии, связанные с обрушением конструкций покрытий, сопровождаются обрушением нескольких единиц или десятков ферм. На рис. 3 показано распределение частоты количества обрушившихся ферм при авариях, произошедших в промышленных зданиях с металлическим каркасом. Представленные данные получены по результатам рассмотрения 30-и случаев аварийного обрушения конструкций покрытий промышленных зданий с металлическим каркасом. Отметим, что в число рассмотренных случаев входят два зрительных зала, поскольку конструктивная схема и механизм обрушения были идентичны промышленным зданиям. При этом следует подчеркнуть, что в большинстве случаев обрушение одной или двух ферм происходит при монтаже конструкций.

Рассмотренные обрушения произошли в период с 1955 по 2010 гг., площади этих обрушений составили от 288 до 9792 м² (рис. 4 и 5).

На примере данного анализа видно, что вопросы обеспечения безопасной эксплуатации строительных конструкций, в том числе стальных, были и остаются актуальными по настоящее время.

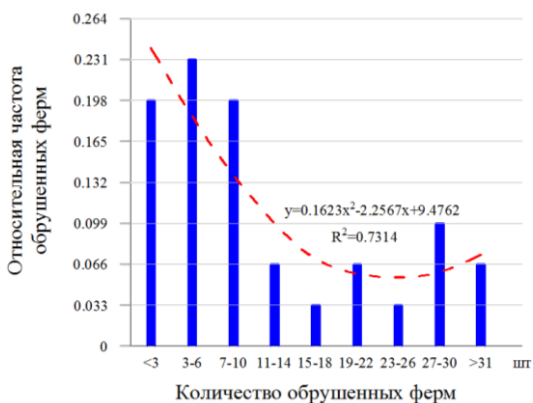


Рис. 3. Относительная частота распределения количества обрушившихся ферм

Из графика (см. рис. 3) видно, что обрушение блоков покрытий промышленных зданий происходит лавинообразно, когда одна разрушившаяся ферма становится причиной обрушения всего температурного блока.



Рис. 4. Обрушение покрытия электросталеплавильного цеха в заводе ООО «Пензтяжпромарматура», г. Пенза



Рис. 5. Обрушение покрытия здания адьюстажа термокалибровочного цеха
ОАО «Златоустовский металлургический комбинат»

Лавинообразное или прогрессирующее обрушение – это распространение начального локального повреждения в виде цепной реакции от элемента к элементу, которое, в конечном счете, приводит к обрушению всего сооружения или непропорционально большой его части [14].

В настоящее время на основе российских и зарубежных нормативных и технических документов, а также на обобщении опыта разработан ряд рекомендаций по защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. К числу разработанных документов относятся рекомендации по защите высотных [15], монолитных жилых [16], крупнопанельных [17] зданий и временные рекомендации по обеспечению безопасности большепролетных сооружений [4] от прогрессирующего обрушения.

Работа [18] направлена на защиту большепролетных сооружений от прогрессирующего обрушения. К числу таких сооружений относят: сплошные и стержневые оболочки, купола, висячие вантовые, тонколистовые (мембранные) и тентовые покрытия, стержневые пространственные конструкции (структуры), перекрестные системы, а также традиционные конструкции больших пролетов – фермы, рамы, арки.

Вышеперечисленные большепролетные сооружения отличаются как по конструктивной схеме, так и по специфике действительной работы. Следовательно, ограничиваться единым нормативным документом невозможно [18, 19]. Возникает необходимость в разработке рекомендаций для отдельных видов сооружений с однотипными конструкциями, к числу которых относятся промышленные здания.

Анализ площади обрушений блоков покрытий. На основании анализа 24-х аварий, связанных с обрушением металлических конструкций покрытий промышленных зданий, собранные авторами а также из литературных источников получены следующие данные:

- площадь обрушений составила от 200 до 6 900 м²;
- среднее значение – 2 200 м²;
- стандартное отклонение – 1 900 м²;
- коэффициент вариации – 89%.

На рис. 6 показаны данные статистического анализа, характеризующие площадь обрушения при аварийном обрушении конструкций покрытия. При этом до 40% аварий произошло в период монтажа конструкций, а остальные – в процессе эксплуатации. Практически все аварии заканчивались обрушением конструкций покрытия. Только в одном из рассмотренных случаев авария закончилась значительным деформированием конструкций без их падения.

Не рассматривая подробно причины аварийного обрушения конструкций, можно утверждать, что эксплуатируемые (особенно длительное время) конструкции промышленных зданий накапливают повреждения, что несомненно снижает способность конструкций сопротивляться непредвиденным, аварийным воздействиям, которые приводят к обрушениям.

Данный анализ также показывает, что разрушение одной фермы приводит к масштабному обрушению блоков покрытий промышленных зданий.

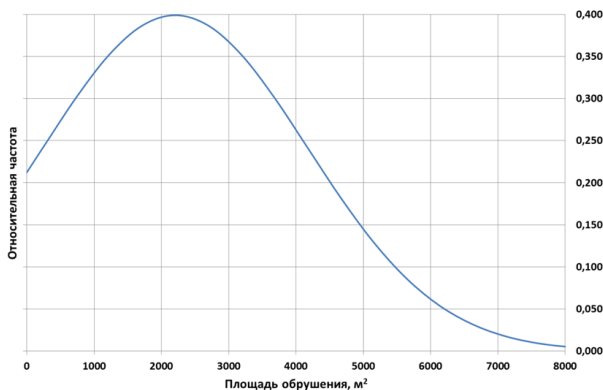


Рис. 6. Нормальное распределение площади обрушения при авариях

Анализ влияния времени на повреждаемость стропильных ферм. Для изучения процесса накопления механических повреждений в процессе эксплуатации авторами на основании результатов натурных обследований 35 одноэтажных производственных зданий предприятий горной и металлургической промышленности исследована повреждаемость металлических элементов блоков покрытий. Площадь обследованных зданий составила от 1 до 60 тыс. м², суммарная площадь обследованных зданий составила 351 116 м², при длительности эксплуатации от 20 до 90 лет. На рис. 7 представлены сведения о площадях и длительности эксплуатации исследованных объектов.

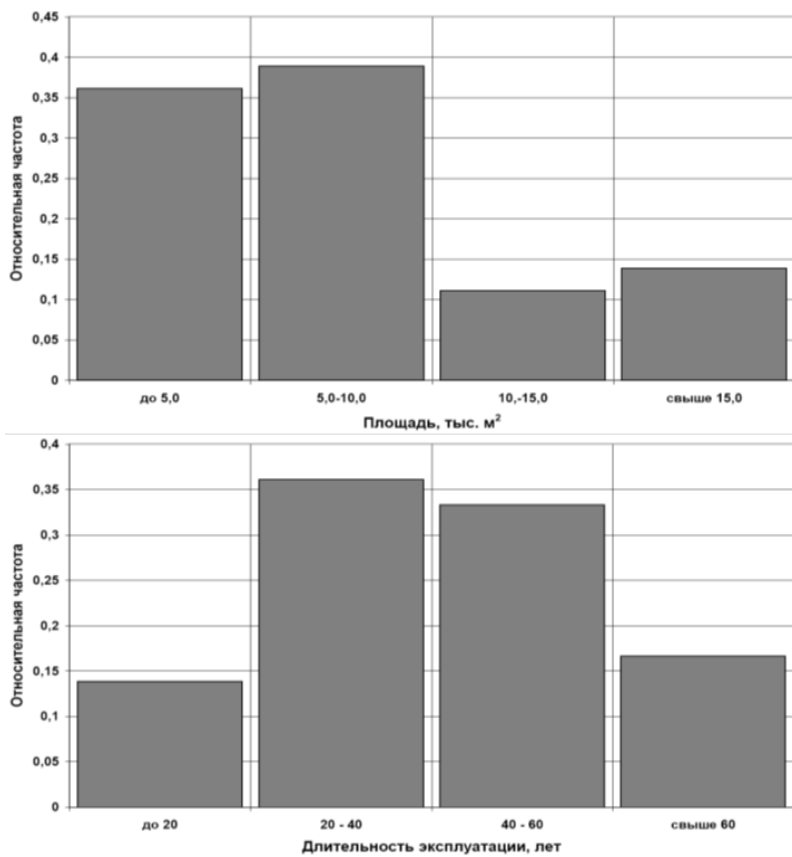


Рис. 7. Параметры обследованных зданий

Общее количество обследованных ферм составило 1 996 шт., из них 387 ферм имели механические повреждения элементов в виде общих и местных искривлений стержней, что составляет 19,4%.

Имеющиеся данные позволяют определить среднюю наработку на отказ T , где под «отказом» принимается возникновение механических повреждений в элементах стропильной фермы. В табл. 1 представлены результаты статистической обработки данных.

Если принять, что полученные данные подчиняются нормальному закону распределения, то можно получить график изменения средней наработки до отказа (рис. 8) в пределах доверительного интервала. Таким образом, установлено, что большая часть промышленных зданий (до 80%) эксплуатируется с механическими дефектами и повреждениями стропильных ферм, доля поврежденных стропильных ферм от общего числа в каждом здании составляет от 0,11 до 0,33. При этом средняя наработка до возникновения механических повреждений в стропильных фермах составляет от четырех до 12 лет.

Таблица 1
Результаты статистической обработки данных

Параметр, характеризующий среднюю наработку до отказа	Значение
Среднее значение	7,8 лет
Стандартное отклонение	6,4
Мода	4,3
Медиана	5,5
Коэффициент вариации	81,0
Средняя ошибка выборки	1,3
Доверительный интервал	$\pm 3,9$

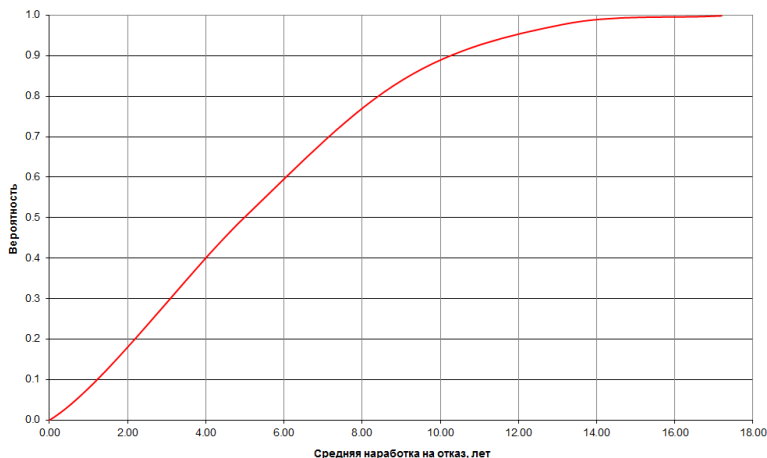


Рис. 8. Изменение вероятности средней наработки до отказа

Анализ повреждаемости стропильных ферм. Для изучения статистики механической повреждаемости стропильных ферм блоков покрытия, авторами рассмотрены девять одноэтажных промышленных зданий с металлическим каркасом, натурные обследования которых были проведены в 2012-2013 гг. сотрудниками ООО «ВЕЛД». Обследованные здания эксплуатируются от 35 до 118 лет.

Перечень обследованных объектов:

№1. Здание смесильно-прессового цеха ЗАО «Энергопром-Новосибирский электродный завод», п.г.т. Линево, введенное в эксплуатацию в два этапа: первая – с октября 1977 г., а вторая – с января 1985 г. Это здание предназначено для размещения технологического и грузоподъемного оборудования. Оно имеет два пролета, каждый из которых составляет 30 м. Размеры блоков покрытий составляют 30,0×60,0 м.

№2. Здание цеха обжига электродной продукции ЗАО «Энергопром-Новосибирский электродный завод», г. Новосибирск. Здание вводилось в эксплуатацию в два этапа: в декабре 1979 г. и в марте 1980 г. Здание предназначено для размещения технологического и грузоподъемного оборудования, имеет 12 пролетов, каждый из которых составляет 24 м. Размеры блоков покрытий составляют 24,0×84,0 м и 24,0×102,0 м.

№3. Здание прокалочного цеха ЗАО «Энергопром-Новосибирский электродный завод», г. Новосибирск. Здание введено в эксплуатацию в октябре 1977 г. и предназначено для размещения прокалочных и охлаждающих печей, вспомогательных служб, технологического и грузоподъемного оборудования. Оно имеет два пролета, каждый из которых составляет 30 м. Размеры блоков покрытий составляют 30,0×1,0 м.

№4. Здание главного корпуса ОАО «Учалинский ГОК», г. Учалы, пролет медной флотации в осях «39-57». Здание введено в эксплуатацию в 1967 г. и предназначено для измельчения породы, поступающей из бункерного пролета. Был обследован один пролет 36,0 м в осях 39-57. Размеры блоков покрытий составляют 36,0×48,0 м и 36,0×60,0 м.

№5. Здание шихтового двора цеха №23 ОАО «Мотовилихинские заводы», г. Пермь. Здание введено в эксплуатацию в 1964 г. и предназначено для складирования шихты и подготовки её к дальнейшему производству в сталеплавильном цехе. Здание однопролетное с пролетом 30,0 м. Размеры блоков покрытий составляют от 30,0×142,3 м.

№6. Здание №2 ОАО «Ангарский электролизный химический комбинат», г. Ангарск. Здание введено в эксплуатацию в 1957 г. и предназначено для размещения грузоподъемного и технологического оборудования. Здание имеет три пролета, каждый из которых составляет 18,0 м. Размеры блоков покрытий составляют 18,0×60,0 м.

№7. Здание №801 ОАО «Ангарский электролизный химический комбинат», г. Ангарск, введенное в эксплуатацию в ноябре 1957 г. Здание предназначено для складирования и размещения оборудования для изготовления и механической обработки изделий. Здание имеет два пролета, каждый из которых составляет 33,3 м. Размеры блоков покрытий составляют 33,3×88,0 м, 33,3×126,5 м и 33,3×143,0 м.

№8. Здание сталеплавильного цеха ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск. Здание введено в эксплуатацию в 1955 г. и предназначено для грузоподъемного и технологического оборудования для сталеплавильного производства. Здание имеет шесть пролетов, один из которых составляет 15 м, а остальные 18 м. Размеры блоков покрытий составляют 15,0×81,5 м, 18,0×81,5 м и 18,0×75,7 м.

№9. Здание термического отделения цеха №30 (инв. №53) ООО «Металлургический завод «Камасталь», г. Пермь. Здание введено в эксплуатацию в 1897 г. и функционально разделено на участки травления, азотирования и размещения термических печей. Здание имеет три пролета, один из которых составляет 11,2 м, а остальные 13 м. Размеры блоков покрытий составляют 11,2×24,0 м и 18,0×102,0 м.

Было обследовано 1217 стропильных ферм, распределение которых по обследованным зданиям приведено в графике (рис. 9). Обследование выявило ряд механических повреждений элементов стропильных ферм, а также наличие поверхностной коррозии, что в большинстве случаев является следствием повреждения кровельного покрова и водоизоляционного слоя. Распределение видов дефектов стропильных ферм приведено в графике (рис. 10).

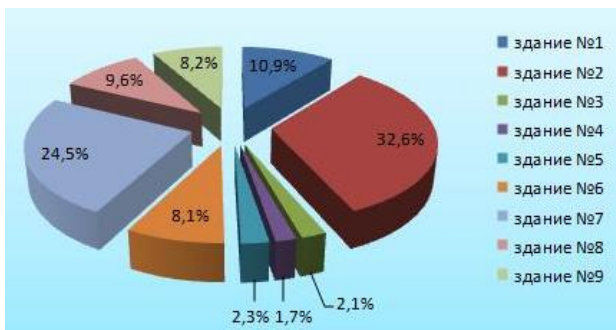


Рис. 9. Количество ферм в обследованных зданиях в процентном соотношении

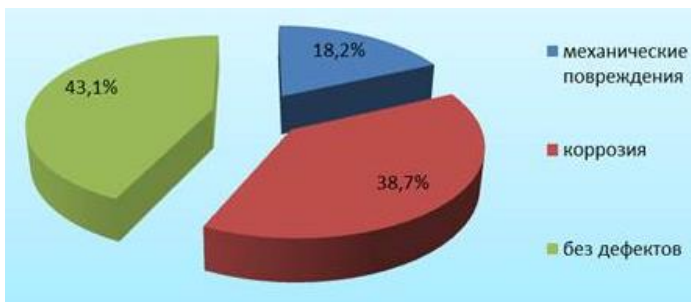


Рис. 10. Распределение стропильных ферм по видам дефектов

Обследование вышеперечисленных зданий выявило механические повреждения стропильных ферм, к числу которых относятся общие искривления, местные погибы, ослабление или отсутствие болтовых соединений и др. В число других дефектов входят искривление фасонки и вырез пера уголка. Необходимо отметить наличие усиленных элементов стропильных ферм. Эти усиления были осуществлены по разным причинам.

Отметим, что механические повреждения были выявлены в 222 стропильных фермах, в которых число дефектных элементов, имеющих механические повреждения, составило 257 шт. Распределение количества стропильных ферм по видам их механических повреждений приведено в графике (рис. 11). Распределение количества дефектных элементов стропильных ферм по видам их механических повреждений приведено в графике (рис. 12). Графики подчеркивают, что самыми распространенными повреждениями являются общие искривления и местные погибы. По результатам обследования 926 стропильных ферм, выполненной сотрудниками кафедры металлических конструкций МИСИ им. В.В. Куйбышева [20], установлено, что у 83,2% ферм отмечены дефекты. Самым распространенным дефектом является общее искривление элементов как в плоскости, так и вне ее, относительная частота которого составила 81,8%.

Также выведено распределение элементов обследованных стропильных ферм по величине стрелы искривления как при общем искривлении (рис. 13) так и для местных погибов (рис. 14). В обоих случаях графики (см. рис. 13 и 14) показывают логическое сокращение количества поврежденных элементов при увеличении стрелы искривлений. Максимальное значение стрелы искривлений в обоих случаях составляет 80 мм.

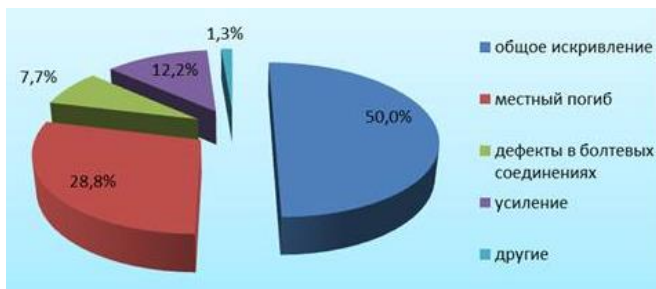


Рис. 11. Распределение количества стропильных ферм по видам механических повреждений

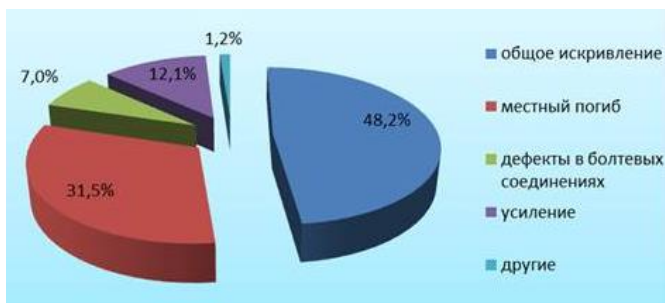


Рис. 12. Распределение количества элементов стропильных ферм по видам механических повреждений

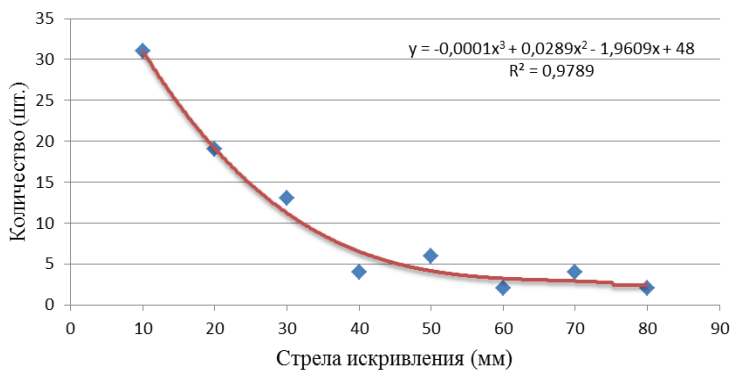


Рис. 13. Распределение поврежденных общими искривлениями элементов стропильных ферм по величине стрелы искривления

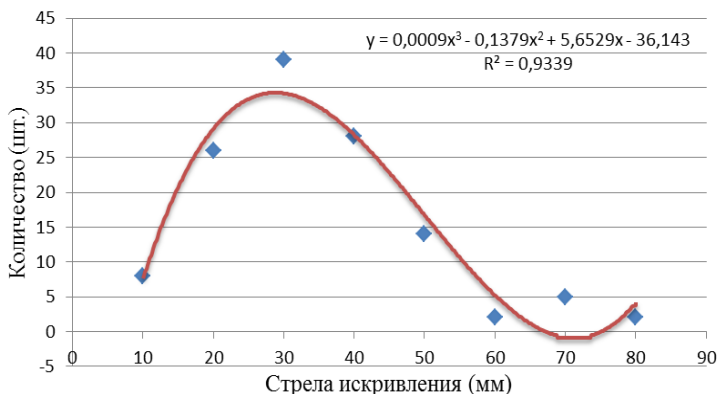


Рис. 14. Распределение поврежденных местными погибами элементов стропильных ферм по величине стрелы искривления

Выводы

Данная статья показывает необходимость разработки новых или совершенствования существующих методов расчета блоков покрытий промышленных зданий по предотвращению аварийных обрушений. Подводя итоги результатов исследования, отметим:

1. Количество аварий в промышленных зданиях растет ежегодно, что является причиной увеличения человеческих и материальных потерь.

2. Часто разрушение одной фермы приводит к обрушению блока покрытия, что характерно для лавинообразного обрушения.

3. Среднее значение обрушенных площадей блоков покрытий промышленных зданий составляет более 2000 м², что также подчеркивает лавинообразный характер обрушений.

4. Средняя наработка до возникновения первого механического повреждения в стропильных фермах составляет от четырех до 12 лет.

5. Самыми распространенными дефектами являются общие искривления и местные погибы элементов стропильных ферм, стрела искривления которых достигает 80 мм.

6. При проектировании блоков покрытий необходимо учитывать все предполагаемые дефекты, которые возникнут при изготовлении, монтаже и эксплуатации, учитывая их величину и количество.

Библиографический список

1. Металлические конструкции. Справочник проектировщика / Под ред. Н.П. Мельникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1980 – 776 с.
2. Еремин К.И. Матвеевский С.А. Электронная паспортизация зданий и сооружений / Сб.науч. трудов «Предотвращение аварий зданий и сооружений». Вып. 8. – Магнитогорск, 2008.
3. Нежданов К.К. Анализ состояния и причин обрушений строительных конструкций в промышленных зданиях [Текст] / К.К. Нежданов, А.Н. Жуков // Региональная архитектура и строительство. - 2011. №1. - С.80-84.
4. Пермяков М.Б. Аварии промышленных зданий: анализ причин // Предотвращение аварий зданий и сооружений. – 2014. Электронный ресурс: <http://pamag.ru/prensa/error-analiz>
5. Реестр аварий зданий и сооружений 2001-2010 годов / К.И. Еремин, Н.А. Махугов, Г.А. Павлова, Н.А. Шишкина. – М., 2011. – 320 с.
6. Еремин К.И., Матвеевский С.А. Особенности экспертизы и неразрушающего контроля строительных металлических конструкций / Сб.науч. трудов «Предотвращение аварий зданий и сооружений». Вып. 9. – М., 2009.
7. О необходимости системного подхода к научным исследованиям в области комплексной безопасности и предотвращения аварий зданий и сооружений / В.Н. Пономарев, В.И. Травуш, В.М. Бондаренко, К.И. Еремин // Предотвращение аварий зданий и сооружений. – 2014. Электронный ресурс: http://pamag.ru/prensa/necessiy_sys-appro
8. Шишкина Н.А. Отношение общественности к эксплуатируемым строительным объектам // Предотвращение аварий зданий и сооружений: Монография под ред. К.И. Еремина. – 2014. Электронный ресурс: http://pamag.ru/prensa/predotvrashenie-avarii_sdanii
9. Лашенко М.Н. Аварии металлических конструкций зданий и сооружений. – Л.: Стройиздат, 1969. – 183 с.
10. Беляев Б.И., Корниенко С.В. Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения. – М.: Стройиздат, 1968. – 206 с.
11. Шкинев А.Н. Аварии в строительстве. – М.: Стройиздат, 1984. – 320 с.
12. Безопасность эксплуатируемых зданий и сооружений: Монография / Под ред. В.И. Теличенко и К.И. Еремина. – М., 2011. – 428 с.
13. Еремин К.И. Обзор аварий зданий и сооружений, произошедших в 2010 году / К.И. Еремин, Н.А. Шишкина // Предотвращение аварий

- зданий и сооружений: Сборник научных трудов. Вып. 10. – М., 2011. – 440 с.
14. ASCE 7-02 «Minimum Design Loads for Buildings and Other structures, 2002 edition» American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2002.
 15. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. – М.: ГУП «НИИЦ», 2006.
 16. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. – М.: ГУП «НИИЦ», 2005.
 17. Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий. – М.: ГУП «НИИЦ», 1999.
 18. Временные рекомендации по обеспечению безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях. – М.: ГУП «НИИЦ», 2008.
 19. Алмазов В.О. Проектирование сооружений с учетом аварийных воздействий / В. О. Алмазов // Вестник МГСУ. - 2010, №1. Спецвыпуск. - С. 151-159.
 20. Кикин, А.И. Повышение долговечности металлических конструкций промышленных зданий / А.И. Кикин, А.А. Васильев, Б.Н. Кошутин и др.; Под ред. А.И. Кикина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984. – 301 с., ил.