

## АНАЛИЗ ЖИВУЧЕСТИ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

*А.П. Иванова, О.И. Труфанова, Национальный горный университет», Украина*

В данной работе оценивается состояние вопроса живучести в целом, собран материал, который показывает разнообразие факторов, влияющих на живучесть строительных конструкций, которые находятся под действием агрессивных сред; оценивается влияние коррозионного повреждения на геометрические характеристики стержневых элементов. Приведен анализ и обобщение результатов обследования стержневых металлических конструкций.

**Введение.** Надежность и долговечность элементов конструкций и технологического оборудования, эксплуатируемого в условиях совместного действия механических нагрузок и агрессивных сред, всегда была и остается в центре внимания инженерной практики. Сегодня значимость и актуальность этой проблемы возрастает, и она приобретает новые акценты в связи с современными тенденциями развития техники: в частности, увеличение единичной мощности машин и повышение эксплуатационных параметров рабочей среды. Последнее обусловлено тем, что освоение прогрессивных технологических процессов и производство новых веществ часто предполагает использование различных агрессивных рабочих сред, которые вызывают преждевременное разрушение элементов конструкций и оборудования.

**Состояние вопроса.** Поскольку условия эксплуатации, связанные с одновременным воздействием агрессивных рабочих сред и нагрузок, характерны для реальных условий эксплуатации металлического оборудования горнодобывающей, нефтегазовой и химической промышленности, металлургии, строительных конструкций, портовых сооружений и других, то проблема оптимального проектирования элементов конструкций, которые используются в таких условиях, является весьма актуальной. Учитывая высокие требования к экономической целесообразности, надежности и долговечности при минимальной материалоемкости конструкций, создание которых требует современный уровень развития техники, их основные параметры (с учетом соответствующих условий эксплуатации) должны быть определены еще на стадии проектирования. Основой для этого, в первую очередь, должен служить комплекс мероприятий, применяемых еще на стадии проектирования: выбор рациональных конструктивных схем и материалов, надлежащий расчет с учетом всех взаимодействий, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации конструкции. Поэтому в последние десятилетия проблеме оптимального (по разным критериям) проектирования элементов стальных конструкций, условия эксплуатации которых, связаны с воздействием агрессивных рабочих сред, уделяется достаточно большое внимание.

В результате влияния на металлические конструкции и их элементы механических повреждений, а также различных химических сред, вызывающих коррозию, происходит изменение прочностных и геометрических характеристик конструкций [1]. В связи с этим они теряют свою несущую способность, что значительно сокращает долговечность объекта. Возникает необходимость в новой концепции создания и эксплуатации зданий и сооружений. В ее основу может быть положена современная модель защиты объектов, базирующаяся на понятиях надежности, живучести, прогрессирующего обрушения и конструктивной безопасности.

Методы расчета металлических конструкций, которые бы учитывали внезапные изменения конструкции и, соответственно, ее расчетной схемы вследствие разрушения ее элементов, недостаточно совершенны и носят в основном фрагментарный характер.

**Цель.** Повышение эффективности расчета стержневых конструкций, установление зависимости между временем эксплуатации, параметрами нагружения, агрессивной средой и текущим состоянием какого-либо элемента конструкции. Перспектива дальнейшего расширения возможностей прогнозирования долговечности (живучести) конструкции в зависимости от условий ее эксплуатации.

**Результаты исследований.** В данной работе оценивается состояние вопроса живучести, который актуален для различных сфер человеческой жизнедеятельности - в военной сфере [1, 2], машиностроении [3], электронике и других.

В строительстве Н.С. Стрелецкий [4], В.В.Болотин [5] и Г.А. Гениев [6,7,8] вводят понятие живучести, как способности объекта удовлетворять требованиям безопасности, несмотря на отказы некоторых его элементов.

Влияние внешних воздействий на конструкцию выражается в том, что живучесть существующих зданий и сооружений зависит от вида и величины тестового повреждающего воздействия и нагрузки, действие которых происходит в момент отказа. Величины тестовых повреждений, зафиксированных в отечественной нормативной базе, часто заимствованы из зарубежных норм.

В вопросе оценки конечного состояния конструкции Н.С. Стрелецкий в своей работе [4] продемонстрировал проблему живучести на примере двухпролетного металлического неразрезного моста (рис. 1) и использовал статическую связанность как численную характеристику. По его мнению: «... число связей, которые должны выбыть из работы для потери несущей способности (наступления состояния разрушения) системы, и есть число статической связанности; оно зависит от положения нагрузки и назначения сооружения». За критерий живучести принята возможность дальнейшей эксплуатации сооружения, потеря которой наступает в момент утраты несущей способности.

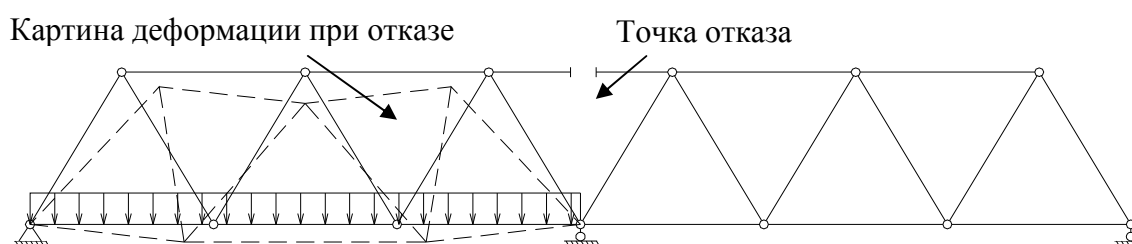


Рис.1. К оценке живучести и связанности мостовых конструкций

Во многих работах за критерий обеспечения живучести применяется условие не разрушения элементов, на которые перераспределяется нагрузка после отказа.

Проблема определения долговечности конструкций неразрывно связывается с живучестью, при этом необходимо учитывать коррозионные повреждения, как наиболее характерные для металлических конструкций [9].

Коррозия – серьезная проблема, которая наносит урон экономике. Анализ данных обследования производственных зданий и сооружений нашей страны показывает, что металлические объекты со сроком службы от 20 до 40 лет находятся в предаварийном состоянии или близки к нему. Например, на сегодняшний день износ мостов в Украине составляет около 70%, более 300 автодорожных мостов находятся в аварийном и предаварийном состоянии.

Отдельно хотелось бы отметить металлические конструкции железорудной и угольной промышленности. Эти объекты подвергаются максимальным повреждениям, так как среда, в которой они находятся по содержанию агрессивных компонентов относится к сильно агрессивной.

Факторы, определяющие состав и характер коррозионных сред действующих на конструкции шахтных копров:

- расположение конструкций относительно открытой атмосферы;
- выделение жидких и газообразных компонентов агрессивных сред в процессе осуществления технологических функций;
- природно-геологические условия, разрабатываемого угольного месторождения;
- конструктивные формы элементов стальных конструкций.

В качестве предмета исследования рассмотрены шахтные копры, где коррозионные повреждения элементов доходят до критического уровня.

Конструкции подкопровой рамы и станка находятся внутри герметичной обшивки (перекрывающей устье ствола), а конструкции головки копра и укосины находятся в условиях открытой атмосферы. Технологические функции, вызывающие выделение агрессивных компонентов коррозионной среды, осуществляется внутри станка. Основными компонентами, составляющими агрессивную среду, являются угольная пыль и шахтные воды. Угольная пыль образуется в процессе разгрузки подъёмных сосудов. Условие герметичности станка и отвод струи воздуха через вентиляционные каналы определяют характер движения воздуха внутри станка, что влияет на процесс отложения пыли на конструктивных элементах (рис. 2)

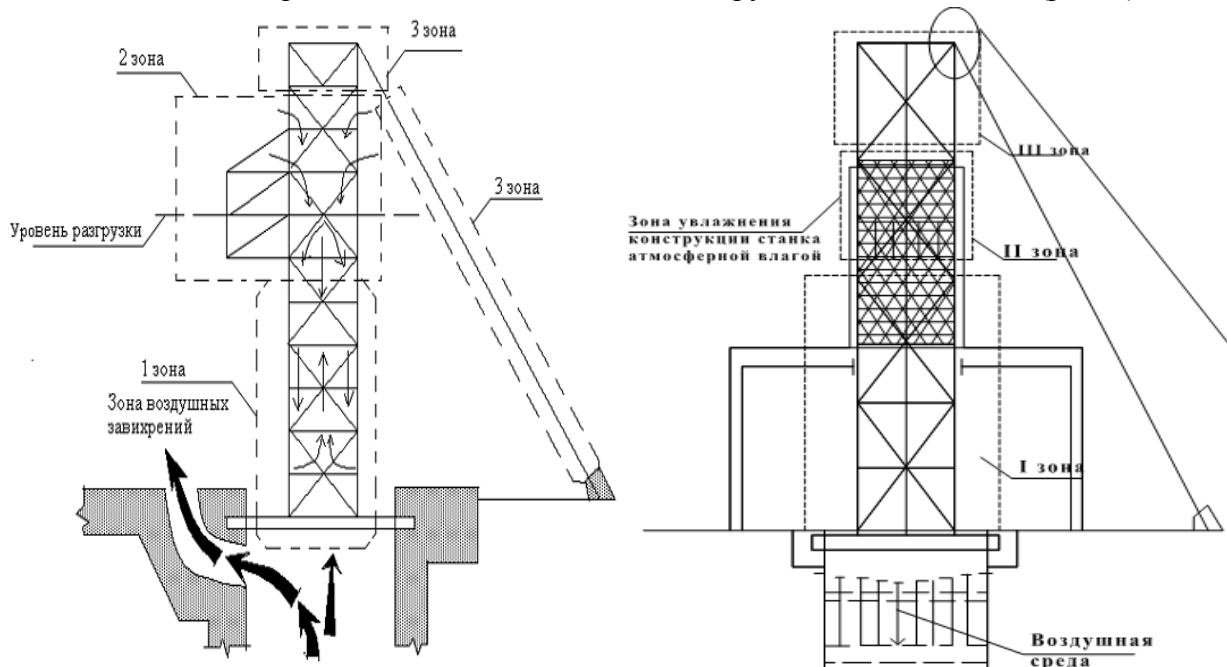


Рис. 2. Зонирование конструкций копров, расположенных над стволами с восходящей воздушной струей

На рис.2 показано зонирование конструкций шахтных копров по степени агрессивности коррозионных сред. Всего для конструкций шахтных копров можно выделить три зоны. К первой зоне относятся конструкции подкопровой рамы и примыкающая к ней нижняя часть станка, здесь коррозионная среда средне- и сильноагрессивная. Ко второй зоне относится верхняя часть станка (от уровня разгрузки до перекрытия), во второй зоне коррозионная среда средне агрессивная. Подшкивные конструкции и укосина относятся к третьей зоне. В третьей зоне коррозионная среда мало агрессивная, но при близости породных отвалов или диффузора вентилятора проветривания шахты среда может быть средне агрессивной.

Шахтные воды выносятся из ствола восходящей струей воздуха, ветвями подъёмного каната и сосудами, в результате происходит увлажнение подкопровой рамы и конструкций станка на высоту 6-9 метров над уровнем верха подкопровой рамы. Агрессивность коррозионных сред конструкций шахтных копров зависит от химического состава шахтных вод и угольной пыли, а также от возможности их совместного контакта с поверхностью конструкций.

Наиболее повреждаемыми являются элементы стержневых систем конструкций станков. Это объясняется уязвимостью тонкостенных конструктивных элементов открытого сечения по отношению ко всем агрессивным воздействиям в соответствующих эксплуатационных зонах.

Характерной для многих конструктивных элементов является щелевая коррозия, протекающая в конструктивных зазорах между элементами. Распирающее воздействие продуктов коррозии в щелях приводит не только к большим деформациям, но и к разрыву сварных швов соединительных пластин.

На появление коррозионных повреждений элементов конструкций, эксплуатирующихся в агрессивных средах также влияет характер деформации, которой они подвергаются [10]. Это приводит также к изменению геометрических характеристик сечения.

На основании отчетов по обследованию металлических копров шахт Кривого Рога был проведен анализ повреждений металлических стержней, общее количество которых 717. Большинство элементов имеют коррозионный износ 10 %, а отдельные элементы поражены коррозией на 30 % и выше, местами до образования острой кромки на полках сквозных отверстий в стенках балок и полках уголков (рис.3).

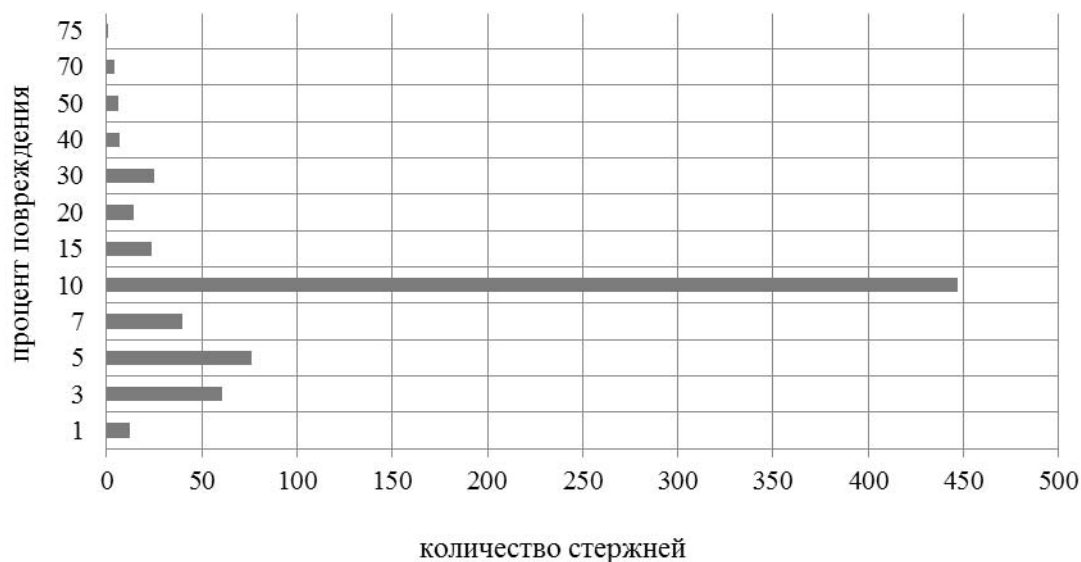


Рис. 3. Гистограмма коррозионного повреждения стержней

Зависимость степени коррозионного повреждения от вида деформации, испытываемой стержнем показана на рис. 4. Максимальное количество повреждений получили изгибаемые стержни. Возможно это объясняется тем, что при изгибе - поперечное сечение конструкции в сжатой зоне уменьшается, а в растянутой увеличивается. Это касается и растянутых стержней, у которых происходит уменьшение поперечного сечения при увеличении длины. Можно предположить, что увеличение длины стержней приводит к тому, что увеличивается площадь контакта с агрессивной средой.

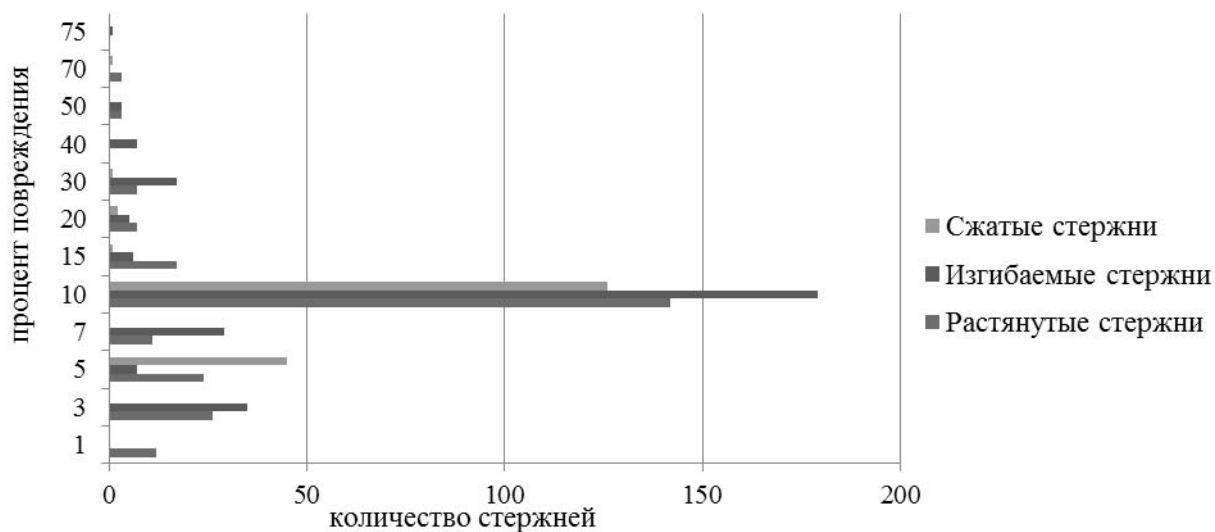


Рис.4. Гистограмма зависимости повреждения от вида деформации

Результаты обследования показали, что отдельные элементы поражены коррозией до 70% от своей исходной величины, потеря толщины сечений в верхних секциях достигает 4 – 5 мм, что в 2 - 3 раза больше, чем в нижних секциях. Между стенками составных элементов образуются зазоры, величина которых доходит до 40 – 60 мм в результате расклинивающего действия продуктов коррозии. Как следствие возникают большие деформации, разрыв сварных швов и соединительных пластинок. Отдельно рассматриваются выгибы стержней из плоскостей, величина которых достигает 250 мм; отсутствие элемента или его части. Часть конструктивных элементов надшахтного копра (около 20 % от общего объема) имеет значительные дефекты и повреждения, в том числе и той категории (3 %), которая влияет на несущую способность и общую устойчивость сооружения.

**Выводы.** Теория живучести систем находится на стадии становления, поэтому на сегодняшний день ещё не достигнуто достаточно согласованное толкование свойств строительных объектов, характеризующих их эксплуатационную работоспособность.

Живучесть или долговечность тесно связана с устойчивостью конструкций, которая в свою очередь зависит от накопленных повреждений, изменения с течением времени геометрии, коррозионного поражения и других причин. Строения, обладающие большой живучестью, разрушаются постепенно, поэтому имеется время для их ремонта. Конструкции с малой живучестью разрушаются катастрофически, что зачастую сопровождается большими материальными потерями и даже гибелью людей.

Показано влияние вида деформации элемента на его коррозионную стойкость. Применительно к металлическим конструкциям, понятие дефектность материала напрямую связано с коррозионным износом, который приводит к отказу отдельных элементов конструкций. Именно локальные повреждения (выход из строя одного из элементов или одной связи) иногда влекут за собой потерю несущей способности всей конструкции, а если элемент является основным и несущим, то может разрушиться весь объект.

#### Список литературы

1. Зеленцов Д.Г., Солодка Н.А. Модели и методы снижения металлоемкости стержневых конструкций, функционирующих в агрессивных средах // Системні технології. Регіональний міжвуз.збірник наукових праць. Вип. 2 (10). - Дніпропетровськ, 2000. - С. 90-96.
1. Забиров Т.А. Живучесть надводного корабля. – М.: Воениздат. – 1994. – 360 с.
2. Ляхов Г. Очерки по живучести боевого корабля. – Л.: Управление Военно-Морских Сил РККА. – 1932. – 149 с.
3. Гусев А.С. Сопротивление усталости и живучесть конструкций при случайных нагрузках / Библ. расчетчика. – М.: Машиностроение. – 1989. – 245 с.
4. Стрелецкий Н.С. Анализ процесса разрушения упругопластической системы // Сборник трудов № 5. – М.: МИСИ. – 1947
5. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат. – 1981. – 351 с.
6. Гениев Г.А. К оценке резерва несущей способности железобетонных статически неопределимых стержневых систем после запроектных воздействий // Сб. докл. конференции «Критические технологии в строительстве». – М.: МГСУ. – 1998. – С. 60 – 67с.
7. Гениев Г.А. Об оценке динамических эффектов в стержневых системах из хрупких материалов / Г.А. Гениев // Бетон и железобетон. – 1992. – № 9. – С. 25 – 27 с.
8. Гениев Г.А. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях. – М.: АСВ. – 2004. – 216 с.
9. Райзер В.Д. Вопросы надежности строительных конструкций при износе. // Исследования по строительной механике. - М.. Наука, 1985. - с. 61 - 66.
10. Зеленцов Д.Г. Обґрунтування вибору математичних моделей, які описують процес корозії під напругою в металевих елементах конструкцій / Д.Г. Зеленцов, Т.С. Казанцева // Вопросы химии и химической технологии. – 2003. - №2. – С. 146 – 148.