

ПОВЫШЕНИЕ ЖИВУЧЕСТИ СТАЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ТЕРМОУПРОЧНЕННЫХ СТАЛЕЙ

При проектировании строительных конструкций в целом и стальных конструкций в частности в настоящее время возникает проблема оценки, анализа и управления их живучестью, что обусловлено высокой сложностью и комплексностью строительных конструкций как технических систем. Фактически все большая часть конструкций проектируется и создается со всевозрастающим количеством структурных элементов, взаимосвязей между ними, а также для выполнения одновременно все большего количества функций. В свою очередь, это приводит к постоянно растущему риску развития всевозможных отказов и аварийных ситуаций.

Не являются исключением в этом плане и промышленные сооружения. Некоторые из них имеют явно выраженную техническую сложность как в конструктивном, так и в эксплуатационном отношении, как например кожухи доменных печей [1] – рис. 1. Другие, как например бункеры, хотя и отличаются внешней простотой конструктивной формы, однако структурная взаимосвязь



Рис. 1. Конструкция стального кожуха доменной печи



Е.И. Гезенцевей

эксперт по строительному проектированию ООО «Метинвест Инжиниринг», г. Днепр



Д.О. Банников

профессор кафедры строительного производства и геодезии Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, д.т.н., профессор

отдельных конструктивов таких сооружений, а также их работа под внешними нагрузками довольно сложно прогнозируется [2] – рис. 2.

Как и ряд других промышленных сооружений, выполненных из стали, подобные сооружения имеют достаточно ограниченный резерв в перераспределении внутренних усилий, возникающих от внешних нагрузок. Это связано с одной стороны с серьезной ограниченностью возможностей устройства дублирующих элементов, а с другой – с невысокими значениями всевозможных коэффициентов запасов (коэффициентов надежности в методе предельных состояний) по сравнению, например, с железобетонными или



Рис. 2. Конструкция стального бункера

каменными конструкциями. Все это довольно точно описано в работе [3]. В ней также приводится достаточно подробный и детальный анализ имеющейся литературы по проблематике живучести строительных конструкций. В частности отмечается существенный вклад в развитие данного направления современной киевской школы проектирования металлоконструкций – Украинского института стальных конструкций им. В.Н. Шимановского.

Мы не будем дублировать авторов этой публикации, а только лишь обратим внимание на несколько неразрешенных аспектов, которые остаются достаточно спорными или просто за пределами внимания ученых и исследователей.

Во-первых, существует определенная неоднозначность в трактовке самого понятия «живучесть». Так в уже упоминавшейся работе [3] приводится следующая формулировка: «... живучесть – это свойство поврежденной системы полностью или частично выполнять свое назначение». И далее применительно к строительным конструкциям конкретизируется следующим образом: «... под живучестью конструкции предлагается подразумевать ее свойство сохранять общую несущую способность при локальных разрушениях, вызванных природными или техногенными воздействиями в течение некоторого времени».

Согласно [4] «... живучесть рассматривается как свойство системы сохранять при катастрофических возмущениях способность к выполнению основных функций, не допуская каскадного развития возмущений и отказов, что в конце концов обеспечивает последующее восстановление системы». При этом все-таки сложно согласиться с тем утверждением, что именно катастрофические (а не самые обычные проектные) возмущения следует связывать с понятием живучести строительной конструкции.

В соответствии с нормативным документом [5] живучесть – свойство объекта сохранять ограниченную работоспособность под воздействиями, которые не предусмотрены условиями эксплуатации, при наличии некоторых дефектов и повреждений, а также при отказе некоторых компонентов объекта.

В принципе в смысловом аспекте все эти трактовки являются довольно близкими, однако в каждой из них упускается один из важнейших и принципиальнейших моментов – срок, в течение

которого обеспечивается или должна быть обеспечена живучесть. Ведь если поврежденный объект продолжает выполнять свои основные функции, пусть даже и частично, находясь в ограниченно работоспособном состоянии, то не окажется ли это через определенное время уже нормальным состоянием объекта. Именно так особенно в последние десятилетия происходит со многими сооружениями промышленных предприятий, да и нередко со зданиями различных сроков возведения.

Также в имеющейся специализированной литературе основное внимание при изучении живучести строительных конструкций уделяется оценке влияния механических структурных изменений и последствиям, к которым они приводят. При этом анализируется физическая либо геометрическая нелинейность структур. Однако, как справедливо подчеркивается в работе [4]: «Гораздо большую роль играет геометрически нелинейное поведение, поскольку поврежденный каркас приобретает значительные перемещения (в особенности при учете воздействий от пожара)...» Однако именно подобное воздействие повышенных температур как раз и не рассматривается в имеющейся литературе по проблематике живучести не только стальных промышленных сооружений, но и стальных строительных конструкций в целом. Именно учет влияния на живучесть таких конструкций повышенных температур и является целью проведенных авторами исследовательских работ.

Отдельно хотелось бы отметить также, что саму по себе проблематику живучести строительных конструкций, а в более общей трактовке – механических систем, вполне следует рассматривать с позиции так называемой теории катастроф. Ряд аспектов такой трактовки изложен в работе [6], где приводятся конкретные числовые примеры, иллюстрирующие суть высказываемых идей и положений.

Объектами, на примере которых рассматривается предлагаемый аспект оценки живучести, были выбраны два вида стальных промышленных сооружений, к которым авторы имели непосредственное отношение в течение длительного периода и с которыми в силу этого обстоятельства хорошо знакомы. Первым таким объектом является стальной кожух доменной печи, а вторым – стальной пирамидально-призматический бункер для сыпучих материалов.

Особенности приложенных нагрузок и воздействий, работы конструкции, возникающие при этом напряженно-деформированные состояния, а также сложности и отказы, сопровождающие процесс эксплуатации этих сооружений, освещались в работах [7, 8]. В этих же работах отмечается, что одним из потенциальных воздействий на элементы конструкций являются повышенные или наоборот пониженные температурные воздействия. В результате срок службы как кожухов доменной печи, так и бункеров резко снижается, в отдельных случаях до 5–7 лет. Безусловно, в практике эксплуатации это приводит как к необходимости выполнения постоянного мониторинга за техническим состоянием объектов, так и проведения поточных ремонтных работ различного уровня сложности для поддержания конструкций в работоспособном состоянии.

Однако одной из характерных особенностей в рассматриваемых двух случаях стальных промышленных сооружений является то обстоятельство, что различные отказы под действием изменяющихся температур возникают достаточно локально. Отчасти это обусловлено повреждением защитных футеровочных покрытий. С другой стороны возникает необходимость в усовершенствовании самих конструктивных решений. Это связано с достаточно невысокой возможностью резервирования конструктивных элементов – особенностью, присущей всем стальным листовым сооружениям. В результате этого живучесть листовых сооружений является особо низкой. Выражаясь словами д.т.н. А.В. Перельмутера, в подобных сооружениях отсутствуют «главные несущие конструкции» [9], которые и обеспечивали бы

необходимый уровень живучести всего сооружения в целом.

К тому же традиционно применяемые для промышленных сооружений марки стали, как например 09Г2С для стальных кожухов доменных печей или СтЗсп для стальных пирамидально-призматических бункеров, как показывает практика эксплуатации, приводят к образованию трещин лавинного характера в разных направлениях и различных размеров. Естественно живучесть объектов в такой ситуации оставляет желать лучшего.

Одним из эффективных методов повышения не только эксплуатационных свойств, но и живучести стальных промышленных сооружений рассматриваемого типа является применение термупрочненных мелкозернистых высокопрочных сталей, производимых предприятиями группы «Метинвест», в частности, марки 10Г2ФБ класса прочности С440. Такая сталь применена в проекте полной замены кожуха ДП № 3 на меткомбинате ПАО «Запорожсталь» [7], а также в проекте бункерной эстакады бункеров обводного тракта подачи шихтовых материалов для доменных печей по заказу ПАО «Северсталь» [8].

Сталь марки 10Г2ФБ обладает целым рядом улучшенных механических характеристик благодаря специально разработанному химическому составу (см. таблицу). Этот состав определялся при испытаниях стандартных образцов, проведенных Научно-инженерным центром по испытаниям труб, баллонов, другой продукции и материалов при ГП «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт трубной промышленности имени Я.Ю. Осады».

Таблица

Марка стали	Массовая доля элементов, %					
	Углерод (C)	Марганец (Mn)	Кремний (Si)	Сера (S)	Фосфор (P)	Хром (Cr)
СтЗсп	0,16	0,50	0,20	0,004	0,009	0,04
09Г2С	0,09	1,64	0,55	0,004	0,009	0,03
10Г2ФБ	0,09	1,64	0,55	0,004	0,009	0,03
Марка стали	Никель (Ni)	Медь (Cu)	Ванадий (V)	Алюминий (Al)	Ниобий (Nb)	Титан (Ti)
СтЗсп	0,03	0,01	—	0,04	—	—
09Г2С	0,05	0,03	0,001	—	—	—
10Г2ФБ	0,05	0,03	0,001	0,033	0,05	0,02

Как уже отмечалось, с точки зрения повышения живучести стальных промышленных сооружений наиболее существенным является с одной стороны повышение огнестойкости стали, и с другой – обеспечение высоких требований к ее низкотемпературной вязкости, т.е. высокой ударной вязкости при низких температурах. Оптимальной микроструктурой для выполнения этих жестких требований является смешанная структура из мелкого феррита и дисперсной карбидной и карбонитридной второй фазы, достигаемой микролегированием и контролируемой прокаткой с добавками хрома, ниобия, ванадия, титана ввиду их измельчающего действия на исходное (аустенитное) зерно [10].

В результате практического применения мелкозернистой термоупрочненной стали марки 10Г2ФБ в стальных промышленных сооружениях типа кожуха доменной печи и стального пирамидально-призматического бункера была получена не только экономия в массе конструкций, достигавшая 25 % без снижения несущей способности, но и улучшены показатели напряженно-деформированного состояния. В частнос-

ти получено более равномерное распределение внутренних усилий и напряжений в элементах сооружений.

В качестве основных выводов из изложенного в данной публикации материала хотелось бы сделать следующие.

1. При оценке живучести строительных конструкций и разработке методологии ее определения необходимо дополнительно принимать во внимание временной интервал, в течение которого обеспечивается или должна быть обеспечена живучесть объекта. По всей видимости, это требует привлечения математического аппарата теории вероятностей и математической статистики.

2. Одним из аспектов живучести стальных строительных конструкций, кроме традиционно анализируемой структурной живучести, является оценка, связанная с изменением температурного режима работы. Качественного повышения живучести стальных промышленных сооружений можно добиться за счет применения сталей с улучшенными термическими характеристиками, как например, сталь марки 10Г2ФБ, производимая предприятиями группы «Метинвест».

-
- | | |
|---|---|
| <p>[1] Любин А.Е. Металлические конструкции сооружений комплекса доменной печи. Проектирование. Эксплуатация. Диагностика технического состояния : монография. – К. : Сталь, 2010. – 472 с.</p> <p>[2] Качуренко В.В., Банников Д.О. Конструктивные решения стальных емкостей для сыпучих материалов : монография. – Днепропетровск : Новая идеология, 2016. – 168 с.</p> <p>[3] Иванова А.П. Живучесть и разрушение многоэлементных конструкций // Техногенні катастрофи : моделі, прогноз, запобігання : 3-я міжнародна наук.-практ. конф., 22–24 травня 2013, м. Дніпропетровськ : 2013. – С. 64–74.</p> <p>[4] Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа : монография. Москва : ДМК Пресс, 2007. – 600 с.</p> <p>[5] ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [Чинний від 2019-01-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2018. – 29 с.</p> | <p>[6] Томпсон Дж. М. Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике : монография. Пер. с англ. – Москва : Мир, 1985. – 254 с.</p> <p>[7] Гезенцвей Е.И. Технологичность применения мелкозернистых термоупрочненных сталей в конструкциях кожухов доменных печей. // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2016. – № 3. – С. 43–47.</p> <p>[8] Hezentsvei Yu., Bannikov D. Effectiveness Evaluation of Steel Strength Improvement for Pyramidal-Prismatic Bunkers. Eureka: Physics and Engineering. 2020. No. 2 (27). pp. 30–38.</p> <p>[9] Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций : монография. Москва : АСВ, 2007. – 256 с.</p> <p>[10] Малинов Л.С., Бузова Д.В., Малышева Е.И. Способы повышения свойств стали 10Г2ФБ, обеспечивающие ее применение по новому назначению и энергосбережение.// Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении, 2017. – № 2. – С. 72–74.</p> |
|---|---|

Надійшла 12.05.2020 р.

