

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИИ ОДНОЭТАЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОБРУШЕНИЯ

Д.А. Байбурун

Разработана методика оценки риска аварии промышленных зданий с учетом ущерба при различной локализации обрушения. Приведены результаты практического использования методики на примере анализа риска аварии цеха «Высота 239» Челябинского трубопрокатного завода.

Ключевые слова: здание, конструкция, безопасность, риск аварии, обследование, техническое состояние, ущерб.

В новой редакции Федерального закона о промышленной безопасности [1] с части строительных объектов снимается статус промышленно опасных, что означает неподконтрольность объектов органам Ростехнадзора и фактический переход ответственности за выбор необходимого объема работ, влияющих на безопасность (обследования, ремонты, реконструкции), на владельца. Это нововведение, безусловно, негативно отразится на безопасности зданий и сооружений ввиду отсутствия механизма технического и правового регулирования конструкционной безопасности. Для поддержания должного уровня безопасности строительных объектов необходима разработка норм и правил в области контроля и регулирования безопасности.

Для эксплуатирующихся промышленных зданий предлагается ввести комплексную систему мониторинга технического состояния, основанную на анализе и регулировании риска аварии. Риск аварии позволяет одновременно учитывать относительное увеличение вероятности аварии по отношению к «нормальному» значению, заложенному в строительных нормах [2].

До начала проведения обследования технического состояния объекта отбирают группы однотипных строительных конструкций, основываясь на конструктивных решениях, примененных в проекте здания. В их число входят конструкции, составляющие несущий каркас здания и выполняющие функцию восприятия нагрузок: основание фундаментов, фундаменты и фундаментные балки, колонны, связи по колоннам, стеновые конструкции, подкрановые балки; стропильные и подстропильные фермы и балки покрытия, связи по диску покрытия, покрытие.

Для каждой из групп однотипных конструкций проводится детальное обследование технического состояния, целью которого является выявление наиболее и наименее поврежденных конструкций в группе. Далее проводится анализ снижения их несущей способности из условий прочности и устойчивости. Характеристикой влияния

дефектов и повреждений конструкции на безопасность здания является степень соответствия нормам, выраженная уровнем надежности. Назначение уровней надежности осуществляется на основе расчетов, опыта эксплуатации и обследования конкретного типа конструкций по формализованному правилу в зависимости от степени соответствия проекту [3]. Для типичных дефектов и повреждений составлены правила назначения уровней надежности, служащие руководством по оценке технического состояния конструкций. Правила устанавливают уровень надежности в зависимости от относительной величины того или иного дефекта (отклонения).

Помимо анализа состояния конструкций, для расчета риска аварии оценивается вероятный ущерб от отказа каждого типа конструкций. Для этого необходимо выполнить:

- детальный анализ проекта с целью определения последовательности обрушения конструкций в случае возникновения аварийных ситуаций различной локализации;
- определение площади возможного ущерба от обрушения каждой отдельной конструкции с учетом конструктивных взаимосвязей (например, при отказе колонны среднего ряда разрушаются как минимум две фермы и часть покрытия, опирающаяся на эти фермы);
- анализ технологии производства с целью ранжирования площадей здания в зависимости от возможного ущерба технологическому оборудованию;
- анализ и ранжирование площадей цеха в зависимости от частоты нахождения людей в операторских, на переходных площадках, рабочих и бытовых площадях.

В ходе анализа проекта с целью определения последовательности обрушения выявляются причинно-следственные связи отказа конструкций, строятся диаграммы последовательности отказа. Следует рассматривать прямые и обратные последовательности обрушения, которые выглядят следующим образом:

1) замачивание и промораживание грунта основания – осадка фундамента – отклонение колонны от вертикали – смещения центра приложения нагрузки от фермы – обрушение колонны – обрушение фермы покрытия – обрушение покрытия;

2) обрушение покрытия – обрушение фермы – обрушение подстропильной фермы – превышение предельной нагрузки на подстропильную ферму – уменьшение сечения стержней подстропильной фермы – коррозия подстропильной фермы.

Площадь возможного ущерба от обрушения конструкций A_d возможно вычислить согласно межотраслевым правилам по охране труда при работе на высоте ПОТ РМ 012-2000 [4]. К горизонтальной проекции максимальных габаритов конструкции прибавляется расстояние возможного отлета, определяемое по таблице [4]. Для участков возможного обрушения стен и колонн фахверка площадь возможного ущерба вычисляется следующим образом:

$$A_d = (w + d_1 + d_2)(h + d_2), \quad (1)$$

где w – ширина участка стены, h – высота участка стены, d_1 , d_2 – расстояния отлета соответственно для низа и верха стены, расположенных на высотах h_1 и h_2 , определяемые по таблице [4].

Для покрытия площадь обрушения вычисляется следующим образом:

$$A_d = (w + 2d)(l + 2d) \text{ – для средних пролетов; } (2)$$

$$A_d = (w + d)(l + 2d) \text{ – для крайних пролетов; } (3)$$

где w , l – ширина и длина участка покрытия; d – расстояние отлета для участка покрытия, расположенного на высоте h .

При проведении оценки риска предполагается оценка возможного ущерба, основанная на анализе стоимости оборудования и оценке ущерба от простоя производства с привлечением соответствующих специалистов в области экономики. Относительный показатель экономического ущерба от нарушения технологического процесса:

$$T_i = T_d / T_s, \quad (4)$$

где T_d – возможный ущерб технологическому процессу от обрушения площадью A_d ; T_s – возможный ущерб технологическому процессу от обрушения всего здания площадью A_s .

При расчете за T_d и T_s следует брать показатели, связанные со стоимостью восстановления здания, оборудования, налаживания технологического процесса и убытков от простоя линии.

Расчет показателя социального ущерба в зависимости от частоты нахождения людей под зоной обрушения:

$$P_d = \sum_i n_i \cdot t_i / 24, \quad (5)$$

где n_i – количество человек, находящихся под зоной возможного обрушения; t_i – время нахождения людей под зоной возможного обрушения в течение суток, в часах; i – количество рассматриваемых случаев нахождения людей в зоне обрушения.

При обрушении всего здания показатель социального ущерба вычисляется в зависимости от частоты нахождения людей под зоной обрушения по упрощенной формуле:

$$P_s = n \cdot t / 24, \quad (6)$$

где n – общее количество людей, находящихся в здании; t – время нахождения людей в здании в течение суток, в часах.

Относительный показатель социального ущерба:

$$P_i = P_d / P_s. \quad (7)$$

Для учета степени влияния на величину риска аварии социального ущерба по отношению к ущербу, нанесенному технологическому процессу вычисляется коэффициент социального риска, выраженный в отношении ущерба от человеческих жертв к ущербу, нанесенному технологическому процессу при обрушении всего здания:

$$c_{pt} = P_s \cdot VSL / T_s, \quad (8)$$

где P_s – показатель социального ущерба; VSL – среднестатистическая стоимость жизни [5]; T_s – возможный ущерб технологическому процессу от обрушения всего здания.

Согласно расчетам среднестатистической стоимости жизни по уровню удельного ВВП, статистики выплат в цивилизованных странах рекомендуется принять VSL равным 40 млн руб. [5].

Общий относительный экономический ущерб:

$$L_i = T_i + P_i \cdot c_{pt,i}. \quad (9)$$

Расчет риска аварии предлагается проводить по локальным зонам обрушения. Анализ аварий промышленных зданий позволяет установить единицу локальной зоны при обрушении – фрагмент пролета в рамках температурного блока. Тогда риск аварии представится суммой:

$$R_s = R_{loc,1} + R_{loc,2} + \dots + R_{loc,i}, \quad (10)$$

где $R_{loc,1}$, ..., $R_{loc,i}$ – риски локальных обрушений по каждому отдельному сценарию аварии.

При расчете рисков группы однотипных конструкций делятся на два типа в зависимости от возможных последствий: конструкции, способные вызвать прогрессирующее обрушение части здания или всего здания, и конструкции, неспособные вызвать прогрессирующее обрушение части здания или всего здания.

Риск локального обрушения по отдельному сценарию для конструкций, неспособных вызвать прогрессирующее (лавинное) обрушение:

$$R_{loc,i} = L_i \cdot n_i^2 / (n_s^T \cdot n_s^P \cdot P_{ni}), \quad (11)$$

где n_i – количество конструкций, попадающих в рассматриваемую зону локального обрушения с одинаковыми последствиями; n_s^T и n_s^P – общее количество конструкций в зонах с теми же категориями ущерба технологическому процессу и социального ущерба, что и на рассматриваемой зоне локального обрушения; n_i – усредненный показатель надежности по группе конструкций, выход

Результаты расчета риска аварии при обрушении конструкций цеха

№ блока	Вид обрушения	T_i	P_i	P_d , чел.	T_d , млн руб.	$c_{pi,i}$	L_i	$R_{loc,i}$
1	Средняя колонна	0,025	0,0094	3	525,1	0,229	0,0271	0,0283
	Крайняя колонна	0,0119	0,0068	2	249,24	0,321	0,0141	0,0147
	Стеновая панель	0,00045	0,0448	1	9,41	4,25	0,191	$6,52 \cdot 10^{-7}$
	Ферма	0,0224	0,0105	5	470,01	0,426	0,0268	0,028
2	Средняя колонна	0,0229	0,0131	5	477,31	0,419	0,0284	0,0296
	Крайняя колонна	0,0115	0,0086	3	241,17	0,322	0,0144	0,015
	Стеновая панель	0,00045	0,0448	1	9,41	4,25	0,191	$6,52 \cdot 10^{-7}$
	Ферма	0,0203	0,0131	4	426,46	0,375	0,0252	0,0263

из строя одной из которых способен вызвать это обрушение; L_i – относительный показатель возможного ущерба технологическому процессу от обрушения конструкций; i – номер группы однотипных конструкций.

Риск локального обрушения по отдельному сценарию для конструкций, способных вызвать прогрессирующее (лавинное) обрушение:

$$R_{loc,i} = L_i / P_{ni} \quad (12)$$

где L_i – относительный возможного ущерба технологическому процессу от обрушения конструкций; P_{ni} – произведение уровней надежности конструкций из последовательности обрушения.

Для расчета риска аварии цеха «Высота 239» было рассмотрено обрушение четырех видов конструкций в каждом температурном блоке здания: колонны крайнего ряда, колонны среднего ряда, стропильной фермы, наружной сэндвич-панели. Результаты расчета риска при обрушении конструкций в первых двух температурных блоках приведены в таблице.

Весь цех состоит из восьми температурных блоков. После суммирования рисков аварии конструкций в каждом температурном блоке был получен общий риск аварии всего здания, который составил 2,42. Это означает, что уровень конструкционной безопасности цеха достаточный, так как фактический риск аварии объекта находится в области приемлемых значений. Границами такой области служат два стандартных значения риска: нормальное (для новых зданий) $R_n = 2$ и предельно-допустимое $R_{пл} = 19$. На основе результатов расчетов могут быть составлены схемы по периодичности обслуживания и ремонту цеха, что позволит

реализовать риск-ориентированный подход к режимам эксплуатации и технического обслуживания цеха.

Заключение. Разработана методика и определены значения риска аварии промышленного здания с учетом ущерба при различной локализации обрушения с учетом материальных и социальных потерь. В соответствии с рассчитанным значением риска появляется возможность обоснованного страхования цеха при выполнении ответственных заказов, а также управления рисками при ремонтах и реконструкциях цеха.

Литература

1. Федеральный закон РФ №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (в редакции Федерального закона от 04.03.2013 №22-ФЗ).
2. Мельчаков, А.П. Прогноз, оценка и регулирование риска аварии зданий и сооружений: теория, методология и инженерные приложения: моногр. / А.П. Мельчаков, Д.В. Чебоксаров. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – 113 с.
3. Байбурун, Д.А. Контроль риска аварии как способ обеспечения конструкционной безопасности / Д.А. Байбурун, Е.А. Казакова // Вестник ЮУрГУ. Сер. «Строительство и архитектура». – 2011. – № 16(233). – С. 4–6.
4. ПОТ РМ 012-2000. Межотраслевые правила по охране труда при работе на высоте. – СПб.: ЦОТБСП, 2001.
5. Райзер В.Д. Теория надежности сооружений / В.Д. Райзер. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 384 с.

Байбурун Денис Альбертович, аспирант кафедры «Строительная механика», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, dbayburin@mail.ru.

SINGLE-STOREY INDUSTRIAL BUILDINGS ACCIDENTS RISK ASSESSMENT METHODS CONSIDERING DAMAGE LOCALIZATION

D.A. Bayburin, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, dbayburin@mail.ru

Industrial buildings accidents risk assessment methods considering value of loss with various damage localization was developed. The results of methods practical using in risk assessment analysis of "Visota 239" workshop was shown.

Keywords: building, construction, safety, risk, risk management, diagnostic, technical condition, loss.

Поступила в редакцию 16 сентября 2013 г.