

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ
НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ
С КРАНОВЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ**

Т. В. Золина

*Астраханский инженерно-строительный институт,
г. Астрахань (Россия)*

Промышленные здания с крановым оборудованием очень распространены в промышленности и используются практически во всех отраслях. С возрастанием технологических требований производства увеличиваются геометрические параметры каркасов одноэтажных промышленных

зданий и действующие на них нагрузки. Кроме того, во многих отраслях промышленности отмечается тенденция направлять материальные и финансовые ресурсы на техническое перевооружение и реконструкцию действующих предприятий, то есть туда, где можно расширить производственные возможности без нового строительства и с меньшими капитальными затратами. В условиях отсутствия возможности глобальной модернизации экономики возрастает роль безопасной эксплуатации стареющих объектов, оценки их надежности и долговечности. В настоящее время средний срок службы большинства промышленных зданий в России близок к нормативному или превышает его. Статистика свидетельствует, что в целом по России средний срок службы строительных конструкций превышает нормативный более чем в два раза. К тому же в последние годы резко возросло число аварий строительных объектов. Технический анализ причин аварий, зарегистрированных на территории Российской Федерации, показывает, что аварии в большинстве своем происходят на эксплуатируемых зданиях и сооружениях из-за значительного снижения несущей способности конструкций [1]. При этом отсутствует должная методика оценки надежности и долговечности, даже в случае использования современных средств диагностики.

Количественную оценку риска, как проектируемых, так и эксплуатируемых зданий и сооружений, можно получить только при проведении вероятностных расчетов. Однако, широко применяемые в настоящее время типовые расчетные комплексы базируются на дискретных моделях зданий и сооружений на основе метода конечных элементов, что ограничивает их применение для проведения вероятностных расчетов. Предлагаемая автором пространственная расчетная модель одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном, подробно описанная в работе [2], позволяет проводить расчеты здания как в детерминированной, так и в вероятностной постановке. Методика проведения детерминированных расчетов с использованием данной модели приведена в работах [2–10], а вероятностных – в работах [11, 12].

Как известно, наибольшее воздействие на каркасы одноэтажных промышленных зданий оказывают мостовые краны, передающие на поддерживающие их конструкции зданий вертикальные и горизонтальные (поперечные и продольные) нагрузки.

Опыт проектирования и эксплуатации таких зданий показывает, что для оценки жесткости каркаса (как продольной, так и поперечной) должны рассматриваться его горизонтальные смещения в уровнях покрытия и подкранового пути, вызванные воздействием горизонтальных крановых нагрузок. В соответствии с действующими нормами проектирования, при расчете поперечных рам и балок крановых путей предписывается учитывать нагрузку, вызываемую торможением крановой тележки – поперечную тормозную силу. Но как показали многочисленные теоретические и экспе-

риментальные исследования, проведенные автором [2, 13], физическая природа горизонтальных воздействий мостовых кранов на конструкции зданий связана не только с торможением крановой тележки, но и с движением мостового крана с перекосом, при котором появляются так называемые боковые силы. Как показано в работе [14], боковые силы по своей природе – это силы трения поперечного скольжения, возникающего в результате несовпадения плоскости вращения кранового колеса с направлением его движения, то есть перекоса колеса. Перекосы колес характерны для любых мостовых кранов, движущихся по реальным крановым путям, и носят неустранимый характер [14]. В ходе проведенных экспериментальных исследований [2, 13] было установлено, что под воздействием боковых сил каркас промышленных зданий вовлекается в колебательный процесс. Это противоречит нормам, согласно которым боковые силы необходимо учитывать только при расчете прочности и устойчивости балок крановых путей и их креплений к колоннам в зданиях с кранами режимов работы 7К, 8К [15]. Кроме того, если учесть, что боковые силы по величине превосходят тормозные силы от крановых тележек, актуальность расчета промышленных зданий на боковые силы становится обоснованной.

Мостовые краны являются элементами технологического процесса, происходящего в здании, и основные параметры кранов, влияющие на создаваемые ими нагрузки, это грузоподъемность, пролет, способ подвеса груза, вид привода и группа режима работы. В процессе их работы возникает необходимость поднимать грузы разной величины и перемещать их вдоль цеха, при этом краны передают на поддерживающие их конструкции различные нагрузки (вертикальные, горизонтальные – поперечные и продольные). В связи с этим обоснованно принято считать, что характер изменения крановых нагрузок – случайный и по величине, и в пространстве, и во времени [14]. Экспериментальные исследования крановых нагрузок, проведенные в действующих цехах исследователями научной школы МИСИ [16, 17], были обработаны в технике случайных величин и процессов, что позволило выявить основные вероятностные особенности крановых нагрузок:

- стационарность случайных процессов крановой нагрузки, проявляющаяся в быстрой стабилизации и в дальнейшем постоянстве распределения;
- обоснованная возможность применения нормального закона для описания распределения ординаты крановых нагрузок.

В связи с этим случайная крановая нагрузка наиболее полно описывается вероятностной моделью нормального стационарного случайного процесса.

Кроме того, и работа строительных конструкций зависит от многих случайных факторов: нагрузок, неоднородности структуры материала, геометрических размеров с учетом допусков и возможных неточностей

и др. Под действием нагрузок, внешней среды, неблагоприятных условий эксплуатации происходит накопление повреждений в конструкциях, снижается несущая способность системы, увеличивается вероятность отказа по одному или нескольким параметрам. То есть физико-механические и прочностные параметры материалов конструкций, действующие нагрузки, условия эксплуатации носят случайный характер. К тому же погрешность измерений, отсутствие исчерпывающей информации об исследуемом объекте, статистический разброс показателей долговечности позволяет корректно решить задачу оценки ресурса конструкций только с использованием методов теории надежности, то есть в вероятностной постановке [18].

Также при оценке остаточного ресурса особое внимание следует уделять учету экстремальных воздействий, особенно сейсмических [19]. Тем более, если учесть, что в последние годы участились случаи сейсмических толчков даже в тех районах, которые всегда считались традиционно не сейсмически опасными. Об этом же свидетельствуют результаты микросейсморайонирования. А ведь расчет зданий на сейсмические нагрузки связан с высокой степенью неопределенности: амплитуда, спектральный состав, направление и продолжительность, время начала воздействия являются случайными параметрами.

Таким образом, необходимость расчета промышленных зданий на восприятие как внешних, так и эксплуатационных нагрузок в вероятностной постановке является обоснованной. Для реализации подобного расчета автором разработан алгоритм, который реализован в автоматизированной системе расчета промышленных зданий на крановые и сейсмические нагрузки [20].

Созданный для реализации автоматизированной системы расчета программный комплекс позволяет решить следующие задачи:

1. Предоставление удобного интерфейса по вводу, редактированию и сохранению исходных геометрических, жесткостных и нагрузочных характеристик промышленного здания и его оборудования (мостовых кранов).

2. Проведение расчетов по:

- разложению колебаний промышленного здания по собственным частотам;
- построению кривой спектральной плотности землетрясения;
- определению максимальных значений перемещений и коэффициентов динамичности системы;
- нахождению числовых характеристик форм колебаний: суммарной дисперсии, эффективного периода, среднего числа выбросов за расчетный период;
- установлению величины условного, внешнего и полного сейсмического риска в зависимости от срока эксплуатации здания при заданном уровне значимости.

В работах [11, 12] автор на примере здания, достаточно подробно описанного в [2], выполняет расчет на действие вертикальной (давление от крана) и горизонтальных (поперечные тормозные и боковые) сил в вероятностной постановке при помощи разработанного программно-расчетного комплекса «DINCIB-NEW».

В случае рассмотрения воздействия на систему сейсмической волны имеется необходимость построения модели разложения колебательных процессов в виде тригонометрических рядов в зависимости от уровня интенсивности землетрясения. Благодаря данной модели становится реальным построение спектров входа и выхода сейсмоактивной волны на несущих частотах. При этом числовые характеристики колебательного процесса системы при сейсмических воздействиях могут быть дополнены такими величинами, как:

- суммарная дисперсия по всем формам колебаний;
- эффективный период колебаний системы;
- среднее число выбросов за расчетный период для разного уровня значимости;
- риск сейсмической опасности с учетом срока эксплуатации промышленного здания.

Проведенный вероятностный расчет демонстрирует возможность применения разработанной автором пространственной расчетной модели одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном, и разработанного программно-расчетного комплекса для оценки надежности (безопасности и эксплуатационной пригодности) проектируемых и эксплуатируемых зданий и сооружений, подверженных воздействию крановых и сейсмических нагрузок.

Предлагаемый программно-расчетный комплекс позволяет автоматизировать расчет промышленных зданий на основе вероятностных методик и проводить анализ работы здания под действием нагрузок не только по первоначальным исходным данным, но и по прошествии конкретного срока эксплуатации объекта. А при оценке остаточного ресурса конструкций наиболее сложным является выявить все произошедшие в конструкции изменения, особенно для промышленных зданий, находившихся в эксплуатации длительное время. В конструкциях таких зданий могут развиваться скрытые дефекты, снижающие их жесткость и, как следствие, прочность и устойчивость. Для оценки ресурса таких конструкций целесообразно экспериментальным путем определить результирующее поведение конструкции, затем решением обратной задачи найти реальные жесткостные характеристики [21].

Автором был разработан алгоритм аналитического решения обратной задачи по составлению матрицы жесткости пространственного каркаса одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном,

на основании которого был создан модуль «Обратная задача» программно-расчетного комплекса «DINCIB-NEW».

В соответствии с разработанным алгоритмом составления скорректированной матрицы жесткости первоначально решается прямая задача по поиску перемещений системы в каждой отдельной точке каркаса, при известных глобальных матрицах жесткости, инерционных характеристик здания и проектных значениях нагрузок. Затем при обращении к модулю «Обратная задача» программно-расчетного комплекса, осуществляется выбор загрузки, указывается количество и номера расчетных точек каркаса, в которых произошли изменения перемещений, вызванные действием одного из видов загрузки, а также вводятся перемещения, полученные в ходе экспериментального исследования. Результатом работы алгоритма будет скорректированная матрица жесткости, учитывающая введенные перемещения. Полученная таким образом откорректированная матрица жесткости может быть использована в дальнейших исследованиях при решении задач определения работоспособности конструкций под влиянием различных воздействий.

Данные теоретическо-экспериментальные исследования является составной частью комплексной задачи по оценке надежности проектируемых и эксплуатируемых промышленных зданий, оборудованных мостовыми кранами, при сейсмических и иных воздействиях, решаемой в рамках деятельности научной школы «Безопасность и долговечность зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях и при экстремальных природных и техногенных воздействиях».

Литература

1. Аварии зданий и сооружений на территории Российской Федерации в 2003 году [Электронный ресурс] // Общероссийский общественный фонд «Центр качества строительства». – М., 2004. – Режим доступа: <http://www.stroyplan.ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 04.08.12.
2. Золина, Т. В. Расчет одноэтажных промышленных зданий, оборудованных мостовыми кранами, на горизонтальное крановое воздействие с учетом пространственной работы : дис. ... канд. тех. наук / Т. В. Золина. – М. : МИСИ, 1989. – 242 с.
3. Сапожников, А. И. Повышение пространственной жесткости одноэтажных промзданий – важнейшее средство экономии стали / А. И. Сапожников, Т. В. Золина // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1989. – № 7. – С. 26–31.
4. Сапожников, А. И. Методика динамического пространственного расчета одноэтажных промышленных зданий и влияние на их работу различных конструктивных факторов / А. И. Сапожников, Т. В. Золина // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1991. – № 6. – С. 23–27.
5. Золина, Т. В. Особенности расчета двухпролетных одноэтажных промышленных зданий на крановые нагрузки / Т. В. Золина, Е. Н. Киприянова, Ю. Н. Захаренко, А. В. Матузов // Изв. Академии жилищно-коммунального хозяйства. Городское хозяйство и экология. – 2000. – № 4. – С. 8–20.
6. Золина, Т. В. Особенности расчета многоэтажных многопролетных промышленных зданий на крановые нагрузки / Т. В. Золина, А. А. Мусаев // Изв. Академии жи-

лично-коммунального хозяйства. Городское хозяйство и экология. – 2001. – № 3. – С. 71–78.

7. Золина, Т. В. Расчет промышленных зданий на крановые нагрузки : учеб. пособие (рекомендовано УМО вузов РФ по образованию в области строительства для студентов, обучающихся по направлению 653500 «Строительство») / Т. В. Золина. – Астрахань : АИСИ, 2004. – 156 с.

8. Золина, Т. В. Оптимизация расчетных схем и методики расчета промышленных зданий на крановые нагрузки / Т. В. Золина // Изв. Академии жилищно-коммунального хозяйства. Городское хозяйство и экология. – 2006. – № 1. – С. 29–41.

9. Золина, Т. В. Особенности пространственной работы высоких одноэтажных промышленных зданий при крановых воздействиях / Т. В. Золина, С. В. Золина, С. К. Якубаева // Прочность, надежность и долговечность жилых, общественных и промышленных зданий и сооружений / АИСИ. – Астрахань, 2007. – С. 14–22.

10. Золина, Т. В. Эффективное конструирование промышленных зданий с крановым оборудованием / Т. В. Золина // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 9. – С. 11–13.

11. Золина, Т. В. Вероятностный расчет одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном, с учетом пространственной работы его каркаса / Т. В. Золина // Вестник ВолгГАСУ. Сер: Строительство и архитектура. – 2012. – Вып. 28.

12. Золина, Т. В. Вероятностный расчет одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном, на сейсмическое воздействие / Т. В. Золина // Вестник ВолгГАСУ. Сер: Строительство и архитектура. – 2012. – Вып. 28.

13. Золина, Т. В. Проблемы реконструкции промышленных зданий очистных сооружений при увеличении технологических нагрузок / Т. В. Золина // Изв. Академии жилищно-коммунального хозяйства. Городское хозяйство и экология. – 1997. – С. 54–60.

14. Перельмутер, А. В. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / А. В. Перельмутер, В. Н. Гордеев, А. И. Лантух-Лященко, В. А. Пашинский, С. Ф. Пичугин. – М. : Изд. Ассоциации строительных вузов, 2007. – 482 с.

15. Свод правил 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия// Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – Минрегион России: 27 декабря 2010 г., № 787, введен в действие с 20 мая 2011 г.

16. Кикин, А. И. Повышение долговечности конструкций промышленных зданий / А. И. Кикин, А. А. Васильев, Б. Н. Кошутин, Б. Ю. Уваров, Ю. Л. Вольберг. – 2-е изд. – М. : Стройиздат, 1984. – 302 с.

17. Пичугин, С. Ф. Вероятностное представление нагрузок, действующих на строительные конструкции / С. Ф. Пичугин // Изв. вузов. Строительство. – 1995. – № 4. – С. 12–18.

18. Надежность зданий как пространственных составных систем при сейсмических воздействиях / В. А. Пшеничкина, А. С. Белоусов, А. Н. Кулешова, А. А. Чураков ; под ред. В. А. Пшеничкиной. – Волгоград : ВолгГАСУ, 2010. – 180 с.

19. Болотин, В. В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / В. В. Болотин. – М. : Стройиздат, 1982. – 350 с.

20. Золина, Т. В. Автоматизированная система расчета промышленных зданий на крановые и сейсмические нагрузки / Т. В. Золина, П. Н. Садчиков // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 8. – С. 14–16.

21. Золина, Т. В. Моделирование изменений матрицы жесткости промышленного здания в процессе его эксплуатации / Т. В. Золина, П. Н. Садчиков // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 8. – С. 19–20.