

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ
НЕОБХОДИМОСТИ УТОЧНЕНИЯ КРАНОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ
ДЛЯ ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА
ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ**

Т. В. Золина

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

Во многих отраслях промышленности в последние годы отмечается тенденция направлять материальные и финансовые ресурсы на техниче-

ское перевооружение и реконструкцию действующих предприятий, то есть туда, где можно увеличить производственные мощности без нового строительства и с меньшими капитальными затратами. В таких условиях огромное значение приобретает безопасная эксплуатация существующих, давно построенных объектов, оценка их надежности и долговечности. В настоящее время средний срок службы большинства промышленных зданий в России превышает нормативный более, чем в два раза. К тому же статистика свидетельствует, что в последние годы резко возросло число аварий на промышленных объектах.

Анализ причин возникающих аварий показывает, что они в основном происходят на давно эксплуатируемых зданиях и сооружениях из-за значительного физического износа строительных конструкций, происходящего в результате скрытых и явных дефектов и повреждений в несущих конструкциях и их узловых сопряжениях, которые являются следствием воздействия различных комбинаций статических и динамических нагрузок, воспринимаемых каркасом. Все вышперечисленное приводит к снижению несущей способности сооружения.

Большинство крупных промышленных зданий рассчитано на срок эксплуатации 40–50 лет и более. Однако известно, что если здание эксплуатировалось очень интенсивно, то оно достигает предельного состояния и теряет надежность задолго до исчерпания установленного нормативного срока службы, что демонстрируется возникающими авариями и нарушениями в работе цехового оборудования. Таким образом, необходим постоянный мониторинг технического состояния строительных конструкций промышленных зданий, что позволит произвести оценку остаточного ресурса существующего объекта, то есть эффективно определить время достижения конструкциями предельного состояния.

Необходимо отметить, что в промышленных зданиях, оборудованных мостовыми кранами, практически собрать данные для решения подобной задачи бывает весьма затруднительно, так как почти всегда приходится иметь дело с ограниченными и недостоверными данными о крановых силовых воздействиях на конструкции в период эксплуатации, что объясняется их случайным характером изменения. Кроме того, следует помнить о случайном характере физико-механических и прочностных параметров материала конструкций и условий эксплуатации, определенной погрешности проводимых измерений, отсутствии достаточно полной информации об исследуемой системе. При этом изменение во времени различных параметров конструкций, условий работы и нагрузок может наблюдаться только в отдельных, иногда разделенных по времени, точках наблюдения.

Исходя из вышесказанного, следует признать актуальность методов оценки остаточного эксплуатационного ресурса конструкций, базирующихся на современных программных комплексах и позволяющих с максимальной полнотой использовать ограниченные данные натурных испыта-

ний для выявления закономерностей и особенностей изменения во времени процессов износа строительных конструкций, приводящего к значительному снижению несущей способности.

В отношении промышленных зданий, оборудованных мостовыми кранами, следует подчеркнуть, что наибольшее воздействие на напряженно-деформированное состояние их несущих конструкций оказывают мостовые краны. Основными параметрами кранов, оказывающими влияние на создаваемые ими нагрузки, являются: грузоподъемность крана, его пролет и база, способ подвеса груза, вид привода, группа режима работы, диаметр колес, коэффициент трения реборды о рельс, величина сил упругого проскальзывания и др. В процессе работы кранов они поднимают грузы разной величины и перемещают их вдоль и поперек цеха; при этом краны передают на поддерживающие их конструкции вертикальные и горизонтальные нагрузки. Обоснованно принято считать, что характер изменения крановых нагрузок – случайный по величине, в пространстве и во времени [1, 2].

Учет вертикальных нагрузок, передаваемых колесами кранов через подкрановые балки на колонны, проблем не вызывает: на основе экспериментальных исследований вертикальных крановых нагрузок, проведенных в действующих цехах исследователями научной школы МГСУ [3, 4], построена их вероятностная модель и учитываются такие особенности данных нагрузок, как стационарность случайных процессов, проявляющаяся в быстрой стабилизации и в дальнейшем постоянном распределении, и обоснованная возможность применения нормального закона для описания распределения ординат вертикальных крановых нагрузок.

В отношении горизонтальных поперечных нагрузок в действующем Своде правил 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» зафиксирован двойственный подход к их учету при расчете несущих конструкций промышленных зданий: с одной стороны, при расчете поперечных рам промышленных зданий предлагается учитывать нагрузку, возникающую от торможения крановой тележки – поперечную тормозную силу; с другой стороны, при расчете прочности и устойчивости подкрановых балок и их креплений к колоннам в зданиях с кранами определенных режимов работы предлагается учитывать боковые силы, направленные поперек кранового пути, возникновение которых объясняется следующим образом. Мостовой кран на ходовых колесах, установленных в направлении идеального рельсового пути, с тележкой в середине пролета, движется без перекаса. Теоретически такое прямолинейное движение возможно, но является неустойчивым, так как при малейшем отклонении от перечисленных условий нарушается равенство между тяговыми усилиями приводных колес и силами сопротивления соответствующих сторон крана. Из-за неравенства возникают так называемые силы перекаса, приводящие к вращательному и поперечному движению крана в пределах зазоров между ребордами колес

и головками рельсов, и при контакте реборд с рельсами – боковые силы, как поперечные реакции рельсового пути.

В исследованиях, проводимых специалистами-крановиками [5], достаточно подробно изучены факторы, способствующие появлению возмущающих сил, приводящих к движению крана с перекосом. Следует отметить, что рихтовка рельсовых путей снижает возможность контакта реборд ходовых колес с рельсами лишь при движении крана без перекоса. Практически такое движение не встречается при работе мостового крана, так как закон его движения зависит от многих факторов и маловероятно, чтобы среди них не было фактора, способствующего движению крана с перекосом. От состояния рельсовых путей зависят лишь случаи ограничения перекоса – ребордами ходовых колес, расположенными на одной стороне крана, внутренними или наружными, соответственно, или реборами колес, расположенными по диагонали крана (на противоположных сторонах).

В соответствии с нормами, при расчете поперечных рам возникающие при движении крана боковые силы не учитываются. Такой подход вряд ли можно назвать правильным. Экспериментальные исследования, проведенные автором на нескольких промышленных зданиях различных конструктивных схем, оборудованных мостовыми кранами разной грузоподъемности [6], показали, что физическая природа горизонтальных воздействий мостовых кранов на каркас зданий связана не только с торможением крановой тележки, но и с движением мостового крана с перекосом.

В проводимых экспериментальных исследованиях для записи колебаний каркасов использовались вибродатчики (ВД) с индукционным преобразователем марки С5С.

Принцип действия вибродатчика С5С, имеющего двухмассовую механическую систему с маятниковой подвеской, следующий: корпус вибродатчика, связанный с исследуемым объектом, следует за его движением; маятник прибора стремится, вследствие инерции, остаться в покое; движение индукционной катушки, укрепленной на основании корпуса вибродатчика, относительно магнита, укрепленного на маятнике, создает, вследствие изменения магнитного потока через катушку, на выходе прибора электродвижущую силу (ЭДС). Вырабатываемая ЭДС пропорциональна скорости изменения магнитного потока и, соответственно, при однородном магнитном поле – скорости колебательного движения объекта.

Для регистрации колебаний использовался быстродействующий самопишущий прибор (БСП) марки Н338, предназначенный для регистрации в аналоговой форме быстропротекающих процессов с рабочим частотным диапазоном от 0 до 150 Гц, преобразованных в соответствующее значение электрического напряжения. По способу преобразования электрического сигнала в движение перописывающего устройства БСП Н338 относится к приборам прямого преобразования, когда сигнал непосредственно воз-

действует на измерительный механизм, вызывая его отклонение и приводя в движение пишущее устройство.

Рабочие диапазоны частот БСП и собственных колебаний маятника ВД соответствуют спектру измеряемых колебаний, а амплитудный диапазон ВД – наибольшим ожидаемым амплитудам перемещения объекта.

В работе применялась непосредственная калибровка вибродатчиков на вибростоле, в результате которой были получены экспериментальные зависимости скорости колебательного движения вибростола от амплитуды электрического сигнала, передаваемого вибродатчиками, при изменении частоты вынужденных колебаний вибростола. Для статистической обработки результатов калибровки был проведен регрессионный анализ, в результате которого получены полиномиальные уравнения регрессии. В дальнейшем была проведена оценка выбранного полинома экспериментальным данным. В итоге были построены амплитудно-частотные характеристики вибродатчиков.

В процессе экспериментальных исследований ВД размещались на тормозных площадках около колонн и на покрытии здания. Применялось несколько схем расстановки ВД, позволивших выявить формы изгиба колонн, осевой линии покрытия, распространенность колебаний по длине подкрановой балки, совместность колебаний противоположных рядов колонн при торможении тележки и движении крана, вовлечение в колебательный процесс пролетов, расположенных за температурным швом. При испытаниях ВД фиксировали поперечные колебания, возникающие в каркасах при работе мостовых кранов в различных режимах – при движении кранов, их торможении и торможении тележек.

Результаты эксперимента показали [6], что под воздействием боковых сил каркас промышленного здания вовлекается в колебательный процесс, причем амплитуды колебаний от этих сил в 1,5–2,5 раза превышали амплитуды колебаний, возникающих при торможении крановой тележки. Хотя в соответствии с нормативными документами считается, что боковые силы разрушительно действуют лишь на подкрановые балки и их крепления к колоннам, не вовлекая в колебания сам каркас. А если учесть тот факт, что боковые силы по величине значительно превосходят тормозную силу, возникающую при работе крановых тележек, то необходимость учета боковых сил при расчете каркасов промышленных зданий становится очевидной.

Кроме того, экспериментальные исследования, проведенные автором, показали, что горизонтальные смещения, получаемые поперечными рамами от боковых сил, значительно больше, чем ожидается от значений так называемых расчетных боковых сил, величина которых рассчитана в соответствии с [1], где доказывается их случайный характер и такие же стохастические особенности, как и у вертикальных нагрузок – стационарность, нормальность статистических распределений и др.

Это говорит о том, что существуют неучтенные факторы, влияющие на величину фактической боковой силы [7]. Следует отметить, что имеются данные натурных испытаний мостовых кранов [2], доказывающие, что преобладающее влияние на образование перекоса и возникновение существенных для каркаса боковых сил оказывают случайные отклонения подкрановых путей в горизонтальной плоскости от проектного положения.

В процессе проведения обследования технического состояния несущих конструкций различных промышленных зданий, большинство которых находится в эксплуатации длительное время, автором и другими исследователями [8] были выявлены повреждения несущих конструкций и их узловых сопряжений. В принципе, повреждения конструкций зданий и сооружений, выявленные при обследовании, можно разделить на устранимые и неустранимые. Устранимые повреждения, если они влияют на безопасность и долговечность объекта, должны быть ликвидированы при ремонте и усилении конструкций. Дефекты и повреждения, которые не могут быть устранены, либо не устраняются вследствие их незначительности, либо не выявляются при обследовании (существующие средства неразрушающего контроля не позволяют обнаружить все имеющиеся повреждения и дефекты), либо так значительны, что не могут быть устранены и приводят к резкому снижению эксплуатационного ресурса промышленного объекта. Однако все значительные повреждения изменяют общую жесткость несущего остова здания, которая может быть определена по замеренным натурным динамическим характеристикам. По этим экспериментальным данным можно оценить степень накопления повреждений в конструкциях.

Учитывая вышеизложенное и на основании экспериментальных и теоретических исследований, автор разрабатывает методику вероятностного расчета промышленных зданий с крановым оборудованием с целью определения их работоспособности и оценки возникновения возможных рисков при их эксплуатации [9]. Предлагаемый автором алгоритм реализуется в программном комплексе «DINCIB-new» [10], который позволяет автоматизировать расчет промышленного здания на основе вероятностной модели с целью анализа прочности, устойчивости и надежности конструкций каркаса при возмущениях, вызванных действием как внешних факторов, так и нагрузок техногенного характера. Реализация изложенной методики позволит получить конкретные результаты по каждому отдельно взятому объекту на разных этапах его эксплуатации, и, следовательно, провести анализ работоспособности конструктивных элементов здания и сделать прогноз на будущие периоды.

Список литературы

1. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В. Н. Гордеев, А. И. Лантух-Лященко, В. А. Пашинский, А. В. Перельмутер, С. Ф. Пичугин ; под общ. ред. А. В. Перельмутера. – 3-е изд., перераб. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2011. – 528 с.

2. Барштейн, М. Ф. Исследование поперечных сил, возникающих при движении мостового крана / М. Ф. Барштейн, А. Н. Зубков // Динамика сооружений. – М. : Стройиздат, 1968. – С. 4–31.
3. 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.
4. Пичугин, С. Ф. Вероятностное представление нагрузок, действующих на строительные конструкции / С. Ф. Пичугин // Изв. вузов. Строительство. – 1995. – № 4. – С. 12–18.
5. Лобов, Н. А. Динамика грузоподъемных кранов / Н. А. Лобов. – М. : Машиностроение, 1987. – 160 с.
6. Золина, Т. В. Проблемы реконструкции промышленных зданий при увеличении технологических нагрузок / Т. В. Золина // Изв. ЖКА. Городское хозяйство и экология. – 1997. – № 4. – С. 54–60.
7. Золина, Т. В. Обоснование необходимости учета боковых сил, возникающих от крановых воздействий, при конструировании каркасов промышленных зданий / Т. В. Золина // Сборник материалов III Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в науке и образовании – ресурс развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства». – Астрахань : АИСИ, 2010. – С. 31–35.
8. Комплексное обследование в части технического диагностирования надземного кранового пути мостового крана: дизельного, тепловозного, экипажного и электромашинного цехов АТРЗ – 2006 г.; главного корпуса завода металлоконструкций ООО УСК «Стройкомплекс» – 2006 г.; судокорпусного цеха ОАО ССЗ «Красные Баррикады» – 2009 г. – Астрахань : ООО НПП «Подъемные сооружения» (Лицензия ГГТН РФ на проведение экспертизы: № 00-ДЭ-000877 (К) от 17.03.2003 г.).
9. Золина, Т. В. Методика оценки остаточного ресурса эксплуатации промышленного здания, оснащенного мостовыми кранами / Т. В. Золина // Вестник МГСУ. – 2013. – № 11.
10. Золина, Т. В. Автоматизированная система расчета промышленного здания на крановые и сейсмические нагрузки / Т. В. Золина, П. Н. Садчиков // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 8. – С. 14–16.