

2. Сугиров Д. У. Состояние и перспективы развития производства местных строительных материалов в Мангистауской области РК // Образование, наука и практика в строительстве и архитектуре Материалы конференции. Астрахань, 2007. С. 184–185.

УДК 624.042.3:621.87

О РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РЕСУРСА ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ С КРАНОВЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Т. В. Золина, Ш. А. Фейтуллаев

Астраханский инженерно-строительный институт (Россия)

Для оценки остаточного ресурса промышленного здания с крановым оборудованием необходимо постоянное наблюдение за техническим состоянием несущих конструкций каркаса, так как в процессе эксплуатации в узловых сопряжениях несущих конструкций каркаса накапливаются различные дефекты и повреждения. Возникает этого оттого, что при проектировании промышленных зданий не учитываются боковые силы, сопутствующие движению мостового крана с перекосом, величина которых значительно больше горизонтальных сил от торможения крановых тележек. Апробация разработанного алгоритма произведена на примере двух промышленных зданий, имеющих стальной и железобетонный каркасы. Дается описание приборов для измерения колебаний каркаса, возникающих при движении крана с перекосом и при торможении тележки. Излагаются основные способы, используемые в алгоритме: построение прямой, обратной и прогнозной задач. Проведенные исследования позволят сформировать научно-обоснованную программу осуществления капитального ремонта эксплуатируемых промышленных зданий, спрогнозировать возникновение и последствия аварийных ситуаций и своевременно принять меры по их предотвращению.

• **Ключевые слова:** *одноэтажное промышленное здание, мониторинг технического состояния несущих конструкций, динамические крановые нагрузки, остаточный эксплуатационный ресурс, надежность, долговечность, безопасная эксплуатация.*

To evaluate a residual life of an industrial building with crane equipment it is necessary to monitor constantly technical conditions of bearing frame structures, as during operation the load-bearing structures of interface frame accumulate different kinds of defects and damage. There is the fact that in the process of designing industrial buildings lateral forces are not taken into account, which are associated the movement of the bridge crane with a skew, the magnitude of which is significantly greater horizontal forces from braking crane trucks. Testing performed algorithm was developed by the example of two industrial buildings of steel and concrete bedsteads. A description of devices for vibration measurement framework arising during movement of the crane with a skew and braking the truck is given. We set out the main methods used in the algorithm - the construction of straight, back and predictive tasks. The studies allow generating science-based implementation program of capital repairs of exploited industrial buildings, to predict the occurrence and consequences of emergency situations and take timely measures for their prevention.

Keywords: *single-storey industrial building, monitoring technical condition of bearing structures, dynamic crane loading, the residual operational resource, reliability, durability, safe operation.*

В настоящее время существует острая необходимость в развитии промышленности нашей страны. Аспект получения наибольшего экономического эффекта представляется важнейшим при принятии решения о реализации того или иного проекта. При выборе варианта построения нового промышленного здания или использования уже построенного, предприниматель должен выбрать наиболее рентабельный. Использование уже построенного здания, которое находилось в эксплуатации и по определенным причинам не функционирует, выгоднее, если сумеешь обеспечить надежность всех конструкций каркаса, так как в большинстве случаев аварии на производстве происходят в результате снижения несущей способности строительных конструкций. В настоящее время не существует завершенной конкретной методики, позволяющей оценить остаточный эксплуатационный ресурс.

Согласно нормативному документу [1], здание считается аварийным и подлежит обязательному внеплановому обследованию, если динамическая характеристика снижается более, чем на 10 % от исходной. Снижение жесткости происходит из-за разрушения узловых сопряжений конструкций, причем в промышленных зданиях оно обычно вызывается действиями горизонтальных сил. При расчете действия крановых нагрузок нормы предписывают [2] учитывать вертикальное давление крана и горизонтальное торможение тележки. Боковые силы, которые возникают при движении крана, когда реборды упираются в головку рельса, учитываются при расчете крепления рельсов к подкрановым балкам и последних к колоннам, а в общий колебательный процесс каркас не вовлекают. Однако, проведенный авторами эксперимент показал, что при движении крана в результате действия боковых сил здание колеблется, причем смещения, возникающие от боковой силы, получаются большими, чем смещения от торможения крановой тележки. Авторы пришли к выводу, что при расчете каркаса в качестве горизонтальной крановой нагрузки требуется выбирать не торможение крановой тележки, а действие боковой силы [3].

Последствия внешних воздействий на конструкции каркаса здания носят случайный характер. Случайность процессов вызвана неравномерностью и разнонаправленностью нагрузок, неоднородностью геометрических и жесткостных характеристик конструктивных элементов каркаса. Следовательно, возникает необходимость в проведении расчетов при проектировании здания и дальнейшей его эксплуатации с вероятностных позиций. В случае промышленного здания, оснащенного мостовыми кранами, кроме внешних природных воздействий, таких как: резкие перепады температур, действие ветра, снеговая нагрузка, сейсмическая активность, накладывается и ряд других разрушающих факторов, носящих характер случайного воздействия [4]. К ним относятся: вертикальное давление крана, действие боковых сил, вызванных движением мостового крана с перекосом, динамическое торможение крановой тележки и другие.

Для автоматизации расчета каркасов промышленных зданий на целый комплекс вышеперечисленных нагрузок, оценки их работоспособности, решения проблемы определения срока безопасной эксплуатации промышленных зданий с учетом изменения состояния их несущих конструкций в результате накопления дефектов, возникших в процессе эксплуатации, разработана программа [5].

Данная программа выступает в качестве инструментария, в основе которого лежит вероятностный подход, соответствующий случайному характеру воздействий. Использование данного инструментария позволяет произвести оценку условного и полного сейсмического риска, коэффициентов динамичности системы, эффективного периода эксплуатации и остаточного срока службы по достижению предельно допустимого состояния технической системы.

Потенциальными потребителями данного продукта могут быть: проектные организации; промышленные предприятия с целью акцентированного усиления несущих элементов и подбора нового кранового оборудования; органы государственной экспертизы проектов; службы МЧС РФ для установления причин произошедших аварий.

Проведение расчетов по оценке надежности и долговечности конструкций каркаса здания становится возможным благодаря использованию метода предельных состояний. Реализация данного метода позволяет учесть случайный характер не только действующих нагрузок, но и прочностных свойств строительных материалов посредством построения системы коэффициентов надежности.

Резерв прочности конструкций каркаса \tilde{S} определяется разностью между их несущей способностью \tilde{R}_s и наибольшим значением обобщенной нагрузки \tilde{F} [6]:

$$\tilde{S}(X) = \tilde{R}_s(X) - \tilde{F}(X), \quad (1)$$

где $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор конечного числа параметров, характеризующих нагрузки, прочность материалов и отклонения реальных условий работы конструкции от принятой расчетной схемы.

Для оценки вероятности разрушения конструкции служит характеристика безопасности, представляющая собой отношение математического ожидания случайной величины резерва прочности к ее среднему квадратическому отклонению, называемая индексом надежности:

$$\beta = \frac{m_{\tilde{R}_s} - m_{\tilde{F}}}{\sigma_{m_{\tilde{S}}}}. \quad (2)$$

Данная величина характеризует количество стандартов $\sigma_{\tilde{S}}$, укладываемых на отрезке $S \in [0; m_{\tilde{S}}]$.

Величина $m_{\bar{R}_s}$ может быть определена как среднее значение нормативного сопротивления каркаса по известной предельно допустимой величине расчетного сопротивления \bar{R}_{Sn} при заданном уровне значимости α

$$m_{\bar{R}_s} = \frac{\bar{R}_{Sn}}{1 - t_{\alpha} f_s}, \quad (3)$$

где f_s – коэффициент вариации прочностных свойств материала конструкции.

Математическое ожидание случайной величины нагрузочного фактора $m_{\tilde{F}}$ представляется в виде суммы всех напряжений от действия как статических, так и динамических нагрузок, рассматриваемых в различных сочетаниях.

Так, при многократном проведении обследования конструктивных элементов здания фиксируются смещения в конкретных точках принятой расчетной схемы. Динамика изменений полученных смещений характеризует изменения жесткостных характеристик конструкции в целом. Матрица жесткости здания по известным смещениям в расчетных точках каркаса может быть определена посредством решения обратной задачи строительной механики [7].

Имея откорректированную матрицу жесткости с учетом износа конструкций, а также зная направление и величину действующей нагрузки, определяются числовые характеристики изгибающих моментов и напряжений.

В случае проведения только двух обследований конструкций каркаса здания со съемом показаний имеющихся смещений в установленных точках расчетной схемы числовые характеристики случайной величины \tilde{F} для двух моментов времени (начального и конечного) определяются по конкретным сочетаниям нагрузок.

Значения обобщенного коэффициента запаса, оценивающего фактор риска дальнейшей эксплуатации конструкций здания в разные моменты времени, описываются функцией:

$$\xi(t) = \frac{m_{\bar{R}_s}}{m_F(t)}. \quad (4)$$

Принимая в расчет величину математического ожидания несущей способности промышленного здания (4) и значения $m_{\tilde{F}(H)}$, $m_{\tilde{F}(K)}$, определяем среднегодовую скорость износа:

$$\bar{V}_S = \frac{m_{\tilde{S}(H)} - m_{\tilde{S}(K)}}{n}, \quad (5)$$

где $m_{\tilde{S}(H)}$, $m_{\tilde{S}(K)}$ – математические ожидания резерва прочности при первом и втором обследованиях соответственно (рассчитываются по формуле (3)), n – промежуток времени между обследованиями (лет).

Тогда функция работоспособности с учетом износа принимает вид:

$$S(t) = m_{\bar{S}(H)} - t \bar{V}_S, \quad (6)$$

Одним из основных показателей теории надежности, позволяющим оценить долговечность здания и сохранение им работоспособности до наступления предельного состояния с момента последнего обследования, является гамма-ресурс [8].

Итоговым показателем оценки полного периода эксплуатации объекта от момента застройки до достижения предельного состояния является величина технического ресурса:

$$T = T_{(к)} + T_{\gamma}, \quad (7)$$

где $T_{(к)}$ – период времени от ввода объекта в эксплуатацию до момента последнего обследования.

Реализация программы позволяет решить следующие задачи:

- Предоставление удобного интерфейса по вводу, редактированию и сохранению исходных геометрических, жесткостных и нагрузочных характеристик промышленного здания и его оборудования (мостовых кранов).
- Проведение расчетов по:
 - разложению колебаний промышленного здания по собственным частотам;
 - определению максимальных значений перемещений и коэффициентов динамичности системы;
 - нахождению числовых характеристик форм колебаний: суммарной дисперсии, эффективного периода, среднего числа выбросов за расчетный период.
- Построение геометрической имитации колебательного процесса промышленного здания.
- Анализ полученных расчетных данных и их сравнение с результатами эксперимента.

Апробация программы [9] была выполнена на двух объектах исследования :

- Здание судокорпусного цеха судостроительного завода, имеющее следующие геометрические параметры: в поперечном направлении два пролета по 30 м; в продольном направлении общую длину 228 м с шагом колонн 12 м; общую высоту здания 30,8 м; отметку уровня головки рельса 18 м. Здание не имеет температурных швов. В каждом пролете здания установлены мостовые краны грузоподъемностью 50 т и 30 т. Несущая система здания – смешанный каркас: колонны, подкрановые и тормозные балки пролетом 12 м, стропильные пролетом 30 м и подстропильные пролетом 12 м фермы – стальные, стеновые панели толщиной 20 см и плиты покрытий 1,5х6 м – железобетонные.

- Здание цеха по производству железобетонных конструкций домостроительного комбината, имеющее следующие геометрические параметры: в поперечном направлении два пролета по 24 м; в продольном направлении общую длину 114 м с шагом колонн 6м; общую высоту здания 12 м; отметку уровня головки рельса 8,5 м. Здание не имеет температурных швов. В каждом пролете здания установлены мостовые краны грузоподъемностью 5 т. Несущая система здания – железобетонный каркас: колонны, подкрановые балки пролетом 6м, стропильные пролетом 24 м, стеновые панели толщиной 20 см и плиты покрытий 1,5х6 м – железобетонные, тормозные балки – стальные.

В качестве приборов для измерения колебаний каркаса, возникающих при движении крана с перекосом и при торможении тележки, выбраны электрические приборы, в которых кинематические параметры колебательного движения преобразуются в электрические величины, регистрируемые с помощью электроизмерительных приборов. Основным преимуществом электрических приборов является возможность дистанционного измерения и одновременной регистрации колебаний во многих точках. Это позволяет проследить за динамическими процессами в сооружении, установить формы колебаний, проанализировать связь колебаний с динамическими нагрузками [10].

Для измерения колебаний сооружений наибольшее распространение получили приборы с сейсмомассой, движение которой относительно корпуса преобразуется в электродвижущую силу (ЭДС) с помощью индукционных преобразователей. Мощность этих приборов позволяет регистрировать сигнал без усиления, что делает данную аппаратуру наиболее доступной и надежной. В проводимых экспериментальных исследованиях для записи колебаний каркаса используются вибродатчики (сейсмоприемники) с индукционными вибропреобразователями.

Принцип действия вибродатчика, 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 ЭДС.

Для регистрации колебаний используется быстродействующий самопишущий прибор (БСП), предназначенный для регистрации в аналоговой форме быстропротекающих процессов. Основными критериями при выборе аппаратуры являлись: соответствие рабочего диапазона частот БСП (от 0 до 150 Гц) и рабочего периода собственных колебаний маятника вибродатчика (от 0,2 до 100 Гц) спектру измеряемых колебаний, соответствие амплитудного диапазона вибродатчика (максимальная измеряемая амплитуда 15 мм) наибольшим ожидаемым амплитудам перемещения объекта. Располагая экспериментально определенной и рассчитанной зависимостью отношения

амплитуды перемещения инерционной массы датчика к амплитуде перемещения основания корпуса датчика, можно определить кинематические параметры измеряемых колебаний и за пределами рабочего диапазона частот, хотя и с меньшей точностью.

Калибровка измерительной аппаратуры включает в себя совокупность операций по определению количественных характеристик, необходимых для пересчета сигналов измерительной аппаратуры в величины, определяющие исследуемые колебания. Для статистической обработки результатов калибровки проводится регрессионный анализ, в результате которого получаются полиномиальные уравнения регрессии.

Для оценки ресурса промышленного здания с крановым оборудованием по прошествии конкретного срока эксплуатации разработана методика [6]. Применение ее алгоритма позволит внести конкретику в нахождение срока достижения предельного состояния конструкции. Основными способами, которые используются в алгоритме, является построение прямой, обратной и прогнозной задач.

Прямая задача заключается в определении причинно-следственной зависимости в поведении изучаемого объекта. Она состоит в определении, каким станет состояние объекта в какой-то момент времени, исходя из имеющихся в начальный момент времени исходных данных, начальных и граничных условий, известных закономерностей его поведения. Исходными данными для решения прямой задачи являются: геометрические размеры здания и его основных несущих конструкций, внешние и внутренние нагрузки, полная информация об используемых кранах, матрица жесткости и матрица масс.

Принцип обратной задачи заключается в том, чтобы, установив количество расчетных точек каркаса, в которых произошло изменение смещений, то есть их увеличение после нескольких лет эксплуатации, связанное с уменьшением жесткости каркаса, вывести новые значения жесткостных характеристик, полученные в ходе экспертизы. Результатом работы алгоритма является измененная матрица жесткости, учитывающая вновь введенные данные. Вновь полученная откорректированная матрица жесткости используется в дальнейших исследованиях при решении задач работоспособности конструкций под влиянием внешних воздействий [6].

Принцип решения прогнозной задачи заключается в определении временной точки, когда динамическая характеристика здания (частота колебания) снизится на 10 % от исходной. Во время решения прогнозной задачи программно-расчетный комплекс DINCIB-new использует для определения срока достижения состояния, требующего внепланового обследования, скорректированную матрицу жесткости, полученную по итогам обратной задачи.

Конечным результатом программа выдает информацию, показывающую:

- наименьший коэффициент запаса;
- наибольшую скорость износа конструкций;
- индекс надежности;
- наименьший остаточный ресурс каркаса.

Остаточный ресурс каркаса здания показывает срок достижения состояния, при котором здание будет нуждаться в применении конструктивных мер для восстановления целостности каркаса.

Следует отметить, что программа позволяет также рассчитывать здания с учетом действия сейсмических нагрузок.

Анализ результатов расчета показал, что при расчете здания без учета действия сейсмике, наименьший коэффициент запаса у исследуемых объектов был равен примерно 6. В проектной практике рекомендуется проектировать здания с коэффициентом запаса в интервале 6...8. Учет действия сейсмической нагрузки приводит к уменьшению коэффициента запаса до уровня 0,5...0,7. Полученные результаты являются недопустимыми для безопасной эксплуатации объекта, из чего следует, что при сейсмическом воздействии остаточный ресурс зданий будет исчерпан и их эксплуатация в дальнейшем будет невозможна.

Предлагаемая программа должна стать неотъемлемой частью работы проектировщика при составлении проектной документации для строительства промышленных зданий, оборудованных мостовыми кранами, и эксплуатационных служб – при мониторинге технического состояния зданий, так как позволяет оценить все возможные риски возникновения аварийных ситуаций и, тем самым, обеспечить их надежную безопасную эксплуатацию.

Дальнейшая разработка данной темы позволит сформировать научно-обоснованную программу проведения капитального ремонта эксплуатируемых одноэтажных промышленных зданий и спрогнозировать возникновение и последствия аварийных ситуаций на объектах промышленного назначения и своевременно принять меры по их предотвращению.

Список литературы

1. ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».
2. Свод правил 20.13330. 2011 «Нагрузки и воздействия».
3. Золина Т. В. Экспериментальные исследования вибрации, возникающей при работе мостовых кранов, в цехах заводов: «Красные Баррикады», Астраханского морского, Астраханского судостроительно-судоремонтного им. Ленина и железобетонных изделий АООТ «Промстройматериалы» (заключения по результатам испытаний). Астрахань : АИСИ, 1996. 17 с.
4. 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. М. : Изд-во АСВ, 2007. 482 с.
5. Программно-расчетный комплекс «DINCIB-new» : свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2014613866 (дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 9 апреля 2014 г.) / Т. В. Золина, П. Н. Садчиков.

6. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Методика оценки остаточного ресурса эксплуатации промышленного здания, оснащенного мостовыми кранами // Вестник ВолгГАСУ. Сер. Строительство и архитектура. 2013. № 32 (51).

7. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Моделирование работы конструкций промышленного здания с учетом изменения жесткости в процессе эксплуатации // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 120–124.

8. Пшеничкин А. П., Пшеничкина В. А. Надежность зданий и оснований в особых условиях : учеб. пособие / Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. 218 с.

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

10. Динамический расчет зданий и сооружений / М. Ф. Барштейн, В. А. Ильичев, Б. Г. Коренев и др. ; под ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1984. 303 с. (Справочник проектировщика).

УДК 624.042

УЧЕТ ПОЛЗУЧЕСТИ И СТАРЕНИЯ БЕТОНА В СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ НАРАЩИВАЕМЫХ ТЕЛ (ОБЗОР)

О. Б. Завьялова

Астраханский инженерно-строительный институт (Россия)

Рассмотрены литературные источники, включая историю вопроса и современное состояние проблемы учета сложных реологических свойств бетона, таких как ползучесть, старение, физическая нелинейность. Особое внимание уделено учету истории возведения быстровозводимых конструкций из монолитного железобетона с введением в расчет фактора времени.

Ключевые слова: железобетон, арматура, ползучесть, напряжения.

It was considered the literature sources, including the background and current state of the problem of accounting for complex rheological properties of concrete, such as creep, aging, physical nonlinearity. Special attention is paid to the history of the erection of prefabricated constructions made of reinforced concrete with the factor of time.

Keywords: concrete, iron armature, creep, voltage.

Расчету наращиваемых систем в последнее время уделяется большое внимание. Опция активации и деактивации элемента доступна пользователю в большинстве отечественных и зарубежных программных комплексов (SCAD, ANSYS и др.). Среди недавних работ на эту тему можно назвать исследования А. И. Сапожникова и С. М. Григоршева [1], О. В. Кабанцева и А. В. Карлина [2], О. Б. Завьяловой [3], выполненные для сборных конструкций с поэтажным формированием расчетной схемы. Однако расчет монолитного железобетона, особенно возводимого в короткие сроки, требует учета сложных реологических свойств бетона: старения, ползучести, изменения мгновенно-упругого модуля деформации.