

УДК 624.042.3:621.87

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ С МОСТОВЫМИ КРАНАМИ В ПРОЦЕССЕ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Т. В. Золина

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

В статье разработан комплексный подход к изучению изменений напряженно-деформированного состояния одноэтажного промышленного здания с мостовыми кранами. Деформация здания вызвана накоплением повреждений, появившихся в процессе эксплуатации. В работе описан алгоритм оценки и прогнозирования остаточного ресурса производственного объекта, основанный на оценке резерва прочности конструкций каркаса и позволяющий определить значения показателей надежности в корреляционном приближении на основе результатов обследований с использованием вероятностной модели. Путём решения прямой, обратной и прогнозной задач посредством анализа динамики частот собственных колебаний каркаса здания под действием совокупности нагрузок был рассчитан период времени достижения им предельно допустимого состояния. В качестве примера приведена демонстрация численной реализации алгоритма расчета здания судокорпусного цеха морского судостроительного завода.

Ключевые слова: промышленное здание; вероятностная модель; остаточный ресурс; напряженно-деформированное состояние; система коэффициентов надежности; матрица жесткости.

ASSESSMENT OF THE RESIDUAL RESOURCE OF THE INDUSTRIAL BUILDING WITH BRIDGE CRANES IN THE PROCESS OF ITS OPERATION

T. V. Zolina

Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering

The article developed an integrated approach to the study of changes in the stress-strain state of a one-story industrial building with bridge cranes. The deformation of the building is caused by the accumulation of damage that occurred during operation. The paper describes an algorithm for estimating and predicting the residual resource of a production facility, based on an assessment of the structural strength reserve of the carcass structures and allowing determining the values of reliability indicators in the correlation approximation based on the results of surveys using a probabilistic model. By solving the direct, inverse, and prediction problems by analyzing the dynamics of the frequencies of the natural vibrations of the building frame under the action of a set of loads, we calculated the time period when it reached its maximum permissible state. As an example, a demonstration of the numerical implementation of the algorithm for calculating the building of the ship hull workshop of an offshore shipyard is given.

Keywords: industrial building; probabilistic model; residual resource; stress-strain state; system of safety factors; stiffness matrix.

С каждым годом количество аварийных ситуаций на эксплуатируемых зданиях и сооружениях увеличивается. Этому способствует потеря устойчивости конструктивных элементов (накопление дефектов, увеличение смещений в узловых точках каркаса под воздействием нагрузок, имеющих техногенный характер (внутренние технологические процессы с участием мостовых кранов), и природный (порывы ветра, временные воздействия на неэксплуатируемую кровлю и т.д.), снижение несущей способности конструкций в процессе эксплуатации [1–7]. Такие возмущения имеют динамический и статический характер проявления [8].

В связи с этим необходимо техническое перевооружение промышленных зданий, находящихся в эксплуатации.

Первоочередной проблемой является оценка и прогнозирование их остаточного ресурса. Наиболее актуально решение проблемы в случае со зданиями, оснащенными мостовыми кранами, поскольку в качестве приоритетного варианта реконструкции выступает замена кранового оборудования с увеличением его грузоподъемности. Такие здания широко используются при организации технологического

процесса заводов. Часть эксплуатационного ресурса таких зданий выработана. Произошло усиление величины нагрузочного фактора за счет использования более тяжелого оборудования в связи с деформацией несущих оборудование колонн и подкрановых балок, что способствовало снижению жесткостных свойств материалов. Возникла необходимость расчета при изменившихся начальных условиях.

Последствия внешних воздействий на конструкции каркаса здания носят случайный характер, вызванный рядом причин: неравномерностью и разнонаправленностью нагрузок, неоднородностью структуры геометрических и жесткостных характеристик конструктивных элементов каркаса здания. В связи с этим возникает необходимость в расчетах при проектировании здания и дальнейшей его эксплуатации с вероятностных позиций. В случае промышленного здания, оснащенного мостовыми кранами, помимо внешних природных воздействий существуют другие разрушающие факторы, имеющие характер случайного воздействия (вертикальное давление крана, действие боковых сил, вызванных перекосным движением мостового крана, динамическое торможение крановой тележки и другие) [9, 10].

Оценка остаточного технического ресурса в большинстве случаев строится на детерминированном подходе, связанном с необходимостью натуральных обследований здания в определенное время. Соответствующий алгоритм сводится к оценке величины запаса прочности, основанной на сравнении результатов поверочного расчета фактических характеристик напряженно-деформированного состояния, полученных при обследовании здания, с соответствующими нормативными значениями.

Случайный характер изменения во времени жесткостных характеристик элементов конструкции, а также продолжительности и направленности возмущающих воздействий, предполагает определение периода времени безопасной эксплуатации здания в вероятностной постановке. Анализ научных источников [9, 11] позволил распределить задачи исследования изменений в поведении каркаса здания на следующие:

- определение свойств выходных параметров системы при известных вероятностных характеристиках входных сочетаний нагрузок (нахождение математического ожидания и стандарта ординат случайной функции, поиск значений искомых параметров сводится к анализу корреляционных зависимостей). Но в этом случае динамика изменений физических параметров материалов и статической схемы в результате силовых и несиловых воздействий на исследуемый объект, коррозии металлоконструкций и разрушения болтовых соединений не учитывается;

- решение краевой задачи, формализуемой через систему нелинейных дифференциальных уравнений, коэффициенты при неизвестных и нагрузка в которых являются случайными функциями (прямой метод оценки надежности здания, случайный характер которого определяется разбросом свойств геометрических и жесткостных параметров конструкции). В связи с отсутствием достаточного количества методик вероятностного расчета для пространственных моделей зданий и сложностью вычислительного характера метод не применяется в инженерной практике.

Проблема оценки остаточного ресурса важна, поскольку ее решение позволяет определить механизм изменения напряженно-деформированного состояния с учетом повреждений, возникающих в процессе эксплуатации технической системы, время исхода ее ремонтпригодности. Своевременность проведения работ по восстановлению конструктивных элементов с высокой степенью накопленных деформаций и физического износа способна продлить сроки дальнейшей эксплуатации объекта.

При недостатке средств для проведения модернизации строительного комплекса актуальность приобретает разработка методов оценки остаточного ресурса отдельно взятого объекта. В процессе работы автором статьи разработан целый комплекс математических моделей, положенных в основу реализации методик и схем по организации сбора данных и проведению расчетов объектов производственного назначения на различные виды воздействий [12]. Рассмотрение в различных вариантах нагрузок, которые испытывают конструкции каркаса, повышает достоверность результатов. Достоверность результатов повышается в связи с рассмотрением в различных вариантах сочетаний нагрузок, которые испытывают конструкции каркаса.

Подход, предложенный автором, построен на оценке резерва прочности конструкций каркаса [13], определяемым разностью между их несущей способностью и наибольшим значением обобщенной нагрузки.

Целью исследования является увеличение срока эксплуатации зданий и сооружений посредством проведения ремонтно-восстановительных работ на производственных объектах в расчетные периоды их эксплуатации.

Автором статьи предложена схема с данными (рис. 1), начиная с организации сбора данных по объекту обследования до установления сроков достижения предельных состояний в работе его конструктивных элементов, отражающая последовательность действий исполнителя [14].

Схема предполагает со стороны исполнителя возможности формирования загрузки расчетной схемы объекта исследования. Однако в качестве наиболее неблагоприятного сочетания возмущающих воздействий на каркас здания автором обосновано принимается комбинированное, включающее: 1) постоянные нагрузки от собственного веса ограждающих и несущих конструкций каркаса; 2) вертикальное давление от двух сближенных мостовых кранов; 3) боковую силу при движении с перекосом одного мостового крана, наибольшей грузоподъемности; 4) снеговую нагрузку; 5) ветровую нагрузку.

Данное сочетание формируется при участии и отсутствии кратковременной составляющей обобщенной нагрузки, представленной в виде сейсмического воздействия.

Начальной информацией в случае анализа напряженно-деформированного состояния промышленного здания является набор данных о значениях геометрических, жесткостных и нагрузочных параметров объекта. Выбор конкретной расчетной схемы определяет модель реального объекта, следовательно, и размерность матриц жесткости и инерционных характеристик.

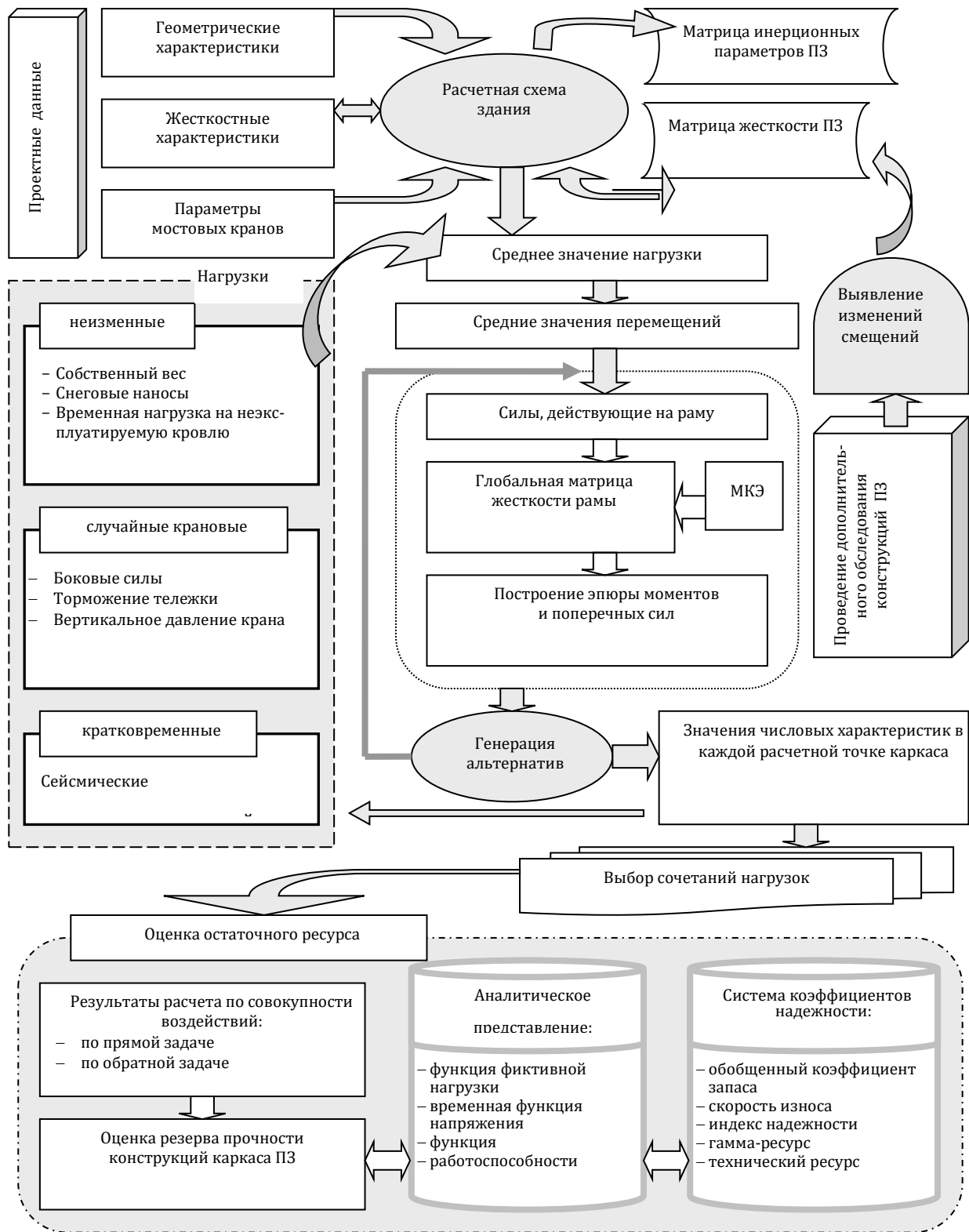


Рис. 1. Схема комплексного подхода к исследованию напряженно-деформированного состояния промышленного здания

Изменения амплитудных значений смещений в расчетных точках построенной модели здания для оценки остаточного ресурса промышленного здания определяются по итогам сравнительного анализа натуральных измерений соответствующих параметров в двух и более

контрольных точках временного диапазона эксплуатации данного объекта.

Среднегодовая скорость износа определяется при построении функции фиктивной нагрузки в виде регрессионной зависимости по фактору времени, учитывая расчётные значе-

ния математических ожиданий резерва прочности по результатам проведенных обследований.

Согласно представленному комплексному подходу, данная система показателей является основанием для реализации алгоритма определения остаточного срока службы промышленного здания.

Факторы, учитываемые при выборе пространственной расчетной схемы каркаса одноэтажного промышленного здания с мостовыми кранами: 1) представление мостового крана в виде распорки; 2) влияние продольных вертикальных связей на крутильную жесткость здания; 3) податливость диска покрытия в своей плоскости, если она присутствует; 4) неразрезность тормозных конструкций.

Общий вид пространственной расчетной схемы одноэтажного многопролетного промышленного здания, оборудованного мостовым краном [12], представлен на рисунке 2. За расчетные точки приняты узлы пересечения рам и продольной оси покрытия, колонн и тормозных конструкций. Точность получаемых результатов может быть достигнута при выборе оптимального числа степеней свободы. Каждая расчетная точка системы «балка – колонна» получает одну степень свободы – горизонтальное смещение в плоскости поперечной рамы, а расчетная точка на покрытии, две степени – горизонтальное смещение в этой же плоскости (β) и угол поворота в плоскости покрытия (φ).

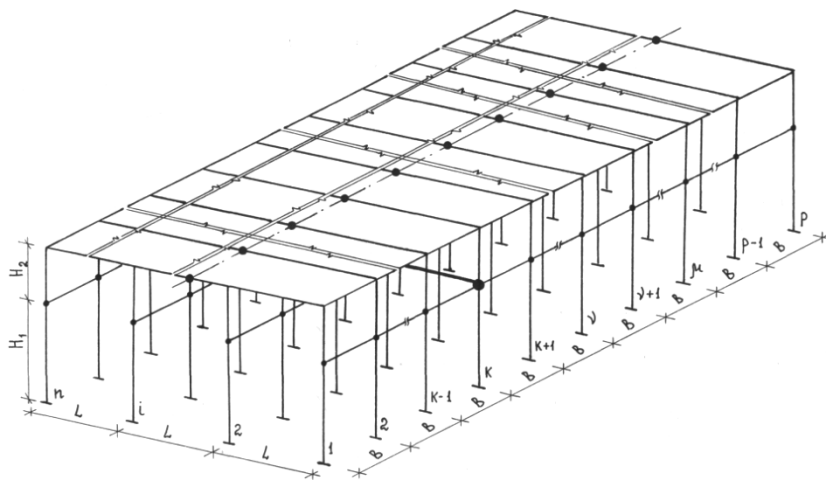


Рис. 2. Расчетная схема одноэтажного промышленного здания с податливым в своей плоскости покрытием

Данная схема характерна в основном для покрытия, выполненного с применением профилированного настила, уложенного на систему стальных прогонов. Принятие конструктивных решений выбора податливых в своей плоскости покрытий требуется также в ситуациях некачественного замоноличивания швов в сборном железобетонном покрытии с поперечной укладкой плит.

В случаях сборного железобетонного покрытия с продольной укладкой плит или при качественном замоноличивании швов при поперечной укладке покрытие в расчетах следует рассматривать в виде жесткого диска. Деформации в его плоскости не учитывать. Массы в уровне покрытия соответствующей расчетной схемы (рис. 3) следует сосредоточить в центре масс диска, косвенно упростив тем самым вид глобальной матрицы жесткости.

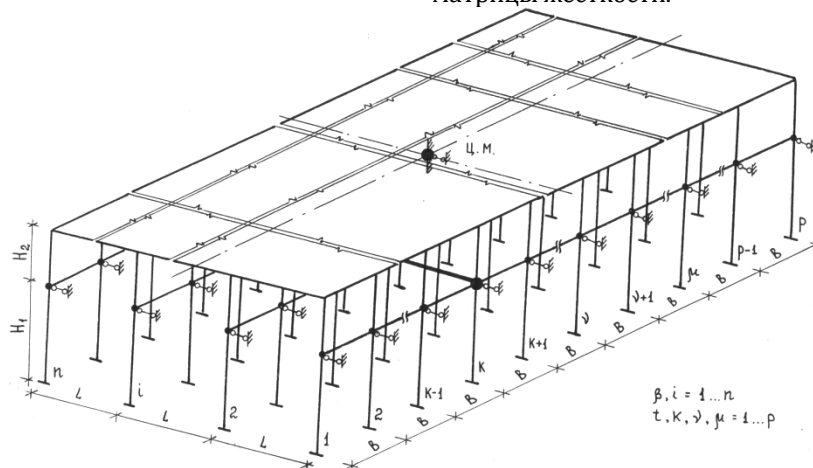


Рис. 3. Расчетная схема одноэтажного промышленного здания с жестким в своей плоскости покрытием

С помощью метода предельных состояний можно произвести расчёты по оценке надёжности и долговечности конструкций каркаса здания.

Алгоритм обработки полученной информации построен на оценке резерва прочности конструкций каркаса здания \tilde{S} , определяемой разностью между их несущей способностью \tilde{R}_S и наибольшим значением обобщенной нагрузки \tilde{F} , математическое ожидание которого вычисляется по формуле [12]:

$$m_{\tilde{S}} = m_{\tilde{R}_S} - m_{\tilde{F}}. \quad (1)$$

Величина $m_{\tilde{R}_S}$ представляется в виде среднего значения нормативного сопротивления каркаса по известной предельно допустимой величине нормативного сопротивления \bar{R}_{Sn} при заданном уровне значимости α

$$m_{\tilde{R}_S} = \frac{\bar{R}_{Sn}}{1 - t_{\alpha} f_s}, \quad (2)$$

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.

При многократном проведении обследования конструктивных элементов здания электроизмерительными приборами фиксируются смещения в конкретных точках принятой расчетной схемы. Динамика изменений, полученных смещений характеризует изменения жесткостных характеристик конструкции в целом. С помощью решения обратной задачи строительной механики с использованием средств ЭВМ можно определить матрицу жесткости здания по известным смещениям в расчетных точках каркаса [15].

Числовые характеристики изгибающих моментов и напряжений можно получить, имея откорректированную матрицу жесткости с учетом износа конструкций, а также, зная направление и величину действующей нагрузки. Результаты, полученные в ходе обработки данных проведенных обследований здания, позволяют сформировать временные ряды динамики напряжений в отдельных точках расчетной схемы. Коррелируя уровни каждого из них, появляется возможность построения соответствующих регрессионных зависимостей. Нормирование аналитической зависимости обобщенной нагрузки по фактору времени позволяет выполнить построение функции фиктивной нагрузки $g(t)$. Тогда временные функции ма-

тематического ожидания обобщенной нагрузки в отдельных точках расчетной схемы при известной величине $m_{\tilde{F}}$ в начальный момент времени t_0 принимают вид:

$$m_F(t) = m_{\tilde{F}(t_0)} g(t), \quad (3)$$

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

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

Принимая в расчет величины математических ожиданий несущей способности промышленного здания (2) и обобщенной нагрузки $m_F(t)$ (3), определяем скорость износа:

$$\bar{V}_S(t) = \frac{d}{dt} m_{\tilde{S}}(t). \quad (5)$$

Тогда функции работоспособности $S(t)$ и индекса надежности $\beta_S(t)$ с учетом износа принимают вид:

$$S(t) = m_{\tilde{S}(t_0)} - t \bar{V}_S(t), \quad (6)$$

$$\beta_S(t) = \frac{m_{\tilde{S}(t_0)} - t \bar{V}_S(t)}{\sqrt{\sigma_{\tilde{R}_S}^2 - t^2 \sigma_{V_S}^2}}, \quad (7)$$

где $m_{\tilde{S}(t_0)}$ – математическое ожидание резерва прочности при первом обследовании,

$\sigma_{\tilde{R}_S} = m_{\tilde{R}_S} f_s$ – стандарт несущей способности конструкций,

$\sigma_{V_S} = \bar{V}_S f_{V_S}$ – стандарт скорости износа, f_{V_S} – коэффициент вариации скорости износа.

Показателем надежности, позволяющим оценить долговечность здания и сохранение им работоспособности до наступления предельного состояния с момента последнего обследования, является гамма-ресурс. При заданной доверительной вероятности результатов, он определяется, как [16]:

$$|T_{\gamma}(t_n)| = \frac{2m_{\tilde{S}(t_0)} \bar{V}_S(t_n) - \sqrt{4m_{\tilde{S}(t_0)}^2 \bar{V}_S^2(t_n) - 4(\bar{V}_S^2 - \beta_S^2(t_n) \sigma_{\tilde{R}_S}^2)(m_{\tilde{S}(t_0)}^2 - \beta_S^2(t_n) \sigma_{V_S}^2)}}{2(\bar{V}_S^2(t_n) - \beta_S^2(t_n) \sigma_{\tilde{R}_S}^2)}, \quad (8)$$

где t_n – период времени от ввода объекта в эксплуатацию до момента последнего обследования.

В качестве итогового показателя оценки полного периода эксплуатации объекта от момента застройки до достижения предельного состояния принимается технический ресурс:

$$T = t_n + T_{\gamma}(t_n). \quad (9)$$

На основе линейного уравнения регрессии можно судить о снижении резерва прочности конструкций каркаса в последующие периоды и о динамике изменения технического ресурса здания.

Полагаясь на полное совпадение реальных конструктивных особенностей сдаваемого в эксплуатацию объекта с проектными решениями его застройки, получаем недостоверные результаты. Фактические значения смещений в фиксированных точках каркаса, вызванные влияниями сочетаний нагрузок, при пуске здания могут значительно отличаться от расчетных. Этот факт может быть определен рядом причин, например, несоответствиями при его возведении: 1) класса бетона, а, следовательно, и его прочностных характеристик; 2) системы армирования конструкций каркаса; 3) жесткостных характеристик покрытия и т. д., а также монтажом иного типа кранового оборудования.

Таким образом, необходимо проведение двух полных натуральных испытаний обследуемого объекта. Для достоверности получаемых ре-

зультатов первое из натуральных испытаний должно быть проведено на начальном этапе при пуске промышленного здания в эксплуатацию.

При наличии времени и средств необходимо увеличение числа обследований объекта с замерами смещений в фиксированных точках расчетной схемы.

Для решения спектра задач, связанных с оценкой надёжности, прочности и устойчивости, а также с анализом риска аварий промышленных зданий, подверженных различным внутренним и внешним воздействиям, исследователями разработан программно-расчётный комплекс «DINCIB-NEW» (рис. 4). В основе данного комплекса лежит ранее описанная пространственная расчётная модель одноэтажного промышленного здания, оснащенного мостовым краном [17].

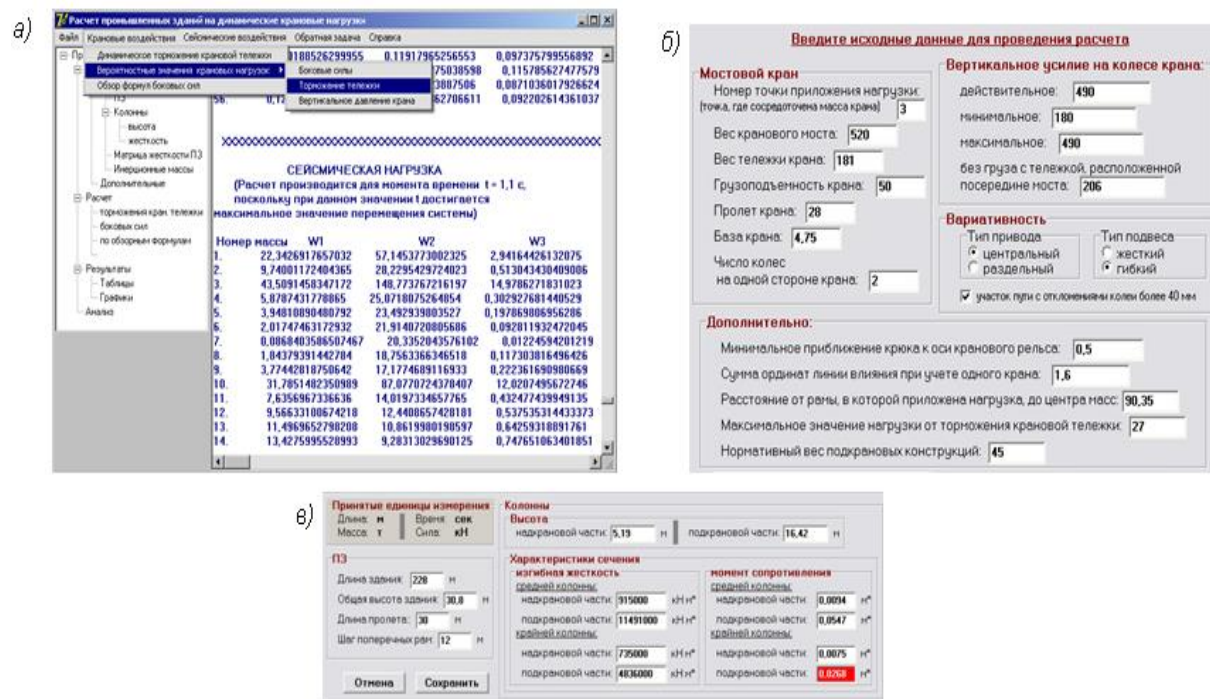


Рис. 4. Программно-расчётный комплекс «DINCIB-NEW»: а) главное окно; б) окно ввода исходных данных по крану; в) окно ввода исходных данных по зданию

С помощью данного комплекса можно решить обратные и прямые задачи, необходимые при оценке ресурса конструкции, находившейся в эксплуатации длительное время. Для этого необходимо экспериментальным путём определить результирующее поведение конструкции, найти реальные жесткостные характеристики посредством решения обратной задачи.

Для определения средних величин и показателей вариации расчетных параметров устойчивости и надежности строительной конструкции необходимо неоднократное проведение алгоритма, возникшего в результате отклонений значений входных параметров модели относительно соответствующих математических ожиданий. При использовании генератора случайных чисел

в известном диапазоне, формируется выборочная совокупность значений искомого параметра, что позволяет найти его статистические характеристики при заданном уровне значимости.

Преимуществом использования ЭВМ является возможность учета для каждой расчетной ситуации большого числа неблагоприятных сочетаний нагрузок (устанавливаются на основе результатов анализа разнообразных вариантов одновременного действия их с учетом возможности реализации различных схем приложения временных нагрузок). Основным критерием надежности строительных объектов является состояние невозможности превышения ими предельных состояний при действии наиболее

неблагоприятных сочетаний расчетных нагрузок в течение заданного срока службы.

Автором разработан алгоритм аналитического решения обратной задачи по составлению матрицы жёсткости пространственного каркаса

одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном, на основании которого был создан модуль программно-расчётного комплекса «DINCIB-NEW» (рис. 5).

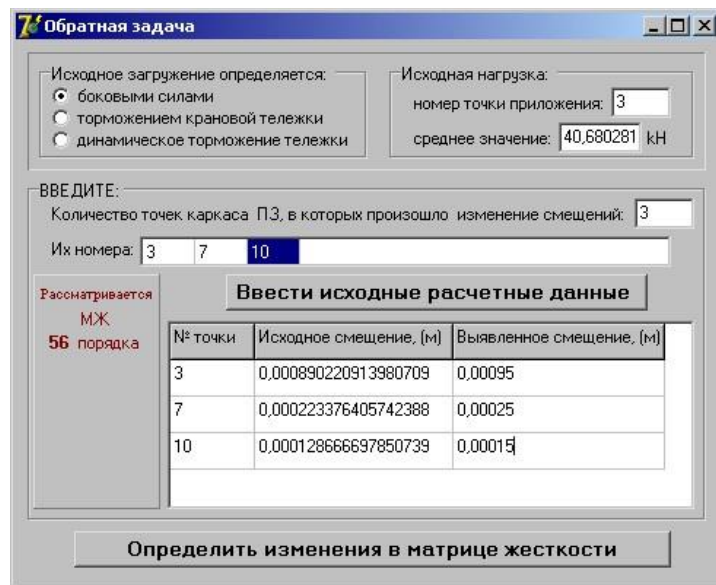


Рис. 5. Окно модуля «Обратная задача» программно-расчётного комплекса «DINCIB-NEW»

В соответствии с разработанным алгоритмом составления скорректированной матрицы жёсткости, 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; при обращении к модулю «Обратная задача» программно-расчётного комплекса, осуществляется выбор загрузки, указывается количество, и номера расчётных точек каркаса, в которых произошли изменения перемещений, вызванные действием одного из видов загрузки. Вводятся перемещения, полученные в ходе экспериментального исследования. В результате получаем скорректированную матрицу жесткости, учитывающую введённые перемещения. Она может быть использована в дальнейших исследованиях при решении задач работоспособности конструкций под влиянием иных внешних воздействий.

Таким образом, методика оценки среднегодовой скорости износа и остаточного ресурса, построенная на использовании корреляционно-регрессионных методов анализа, предоставляет возможности для:

1) осуществления прогноза по устойчивости здания к внешним и внутренним воздействиям по истечении конкретного срока эксплуатации объекта на основе выведенных регрессионных зависимостей; 2) построения функций фиктивной нагрузки и работоспособности здания, учитывающих динамику изменения напряжений в отдельных конструктивных элементах каркаса, возникающих под воздействием целого ряда

факторов; 3) оценки остаточного ресурса работоспособного состояния конструкций промышленного здания, находящегося в эксплуатации.

В качестве примера реализации предлагаемой методики, приведен расчет здания судокорпусного цеха Астраханского морского завода, автоматизированный посредством использования программного комплекса для ЭВМ «DINCIB-new» [17].

В результате расчета определены реакции колонн и покрытия. Максимальные деформации зафиксированы в элементах наиболее нагруженной поперечной рамы.

Напряжения и деформации отдельных ее элементов определены для двух моментов времени эксплуатации промышленного здания при неизменной величине и направленности нагрузочного фактора. Поиск их значений выполнен по итогам двух натурных обследований судокорпусного цеха, проведенных в 1986 и 1996 годах.

Рассматривалось состояние системы при выборе в качестве основного нагружения комплексного сочетания нагрузок как при учете сейсмических возмущений, так и при их отсутствии.

Отметим, что сводный алгоритм расчета, реализуемый средствами автоматизированной системы «DINCIB-new», предоставляет в качестве выходной информации целый комплекс таковых интегральных показателей [18]. Его компонентами являются: 1) коэффициент запаса (равный отношению среднего значения нормативного сопротивления материала каркаса по известной предельно допустимой величине расчетного сопротивления к математическому ожиданию случайной величины нагру-

зочного фактора при заданном уровне значимости); 2) *скорость износа конструкций* (указывает на изменение математического ожидания резерва прочности за определенный период времени); 3) *индекс надежности* (равен отношению математического ожидания случайной величины резерва прочности к ее среднеквадратическому отклонению);

4) *остаточный ресурс каркаса* (демонстрирует срок достижения состояния, при котором здание будет нуждаться в применении конструктивных мер для восстановления целостности его каркаса).

В таблице 1 приведены результаты оценки безопасности эксплуатации рассматриваемого здания цеха по спектру наиболее неблагоприятных значений указанных показателей, определенных для всех узловых точек расчетной схемы.

Таблица 1
Экстремальные значения показателей безопасности эксплуатации объекта

Комбинированное сочетание нагрузок	Обобщенный коэффициент запаса	Индекс надежности	Скорость износа (кПа/год)	Остаточный ресурс (лет)
без учета сеймики	6,2	4,37	97	17
с учетом сеймики	1,1	0,73	4751	0,43

Анализ результатов расчета без учета действия сеймики показал, что наименьший обобщенный коэффициент запаса у исследуемого объекта равен 6,2, что укладывается в диапазон 6...8, рекомендуемый проектной практикой.

Учет действия сейсмической нагрузки приводит к уменьшению значения данного показателя до уровня 1,1, что обусловлено резким увеличением скорости износа конструкций. Полученный результат является недопустимым для безопасной эксплуатации объекта.

Прогнозируемый срок службы, по истечении которого динамическая характеристика изменится на 10 %, т.е. на эту величину произойдет падение значений собственных частот колебаний, снижается при учете сейсмической нагрузки с 17 до 0,43 лет. Указанные параметры являются основанием для принятия решения о внедрении конструктивных мер по усилению каркаса.

Результатом выполнения завершающей стадии сводного алгоритма по оценке надежности и долговечности объекта является построение корреляционных зависимостей.

В основу зависимостей положены известная скорость износа элемента конструкции и планируемое количество лет эксплуатации объекта исследования.

На рисунках 6-8 представлены графики функций обобщенного коэффициента запаса, работоспособности и индекса надежности.

Обобщенный коэффициент запаса, оценивающий фактор риска дальнейшей эксплуатации конструкций здания в разные моменты времени, описывается функцией, графически представленной на рисунке 6.

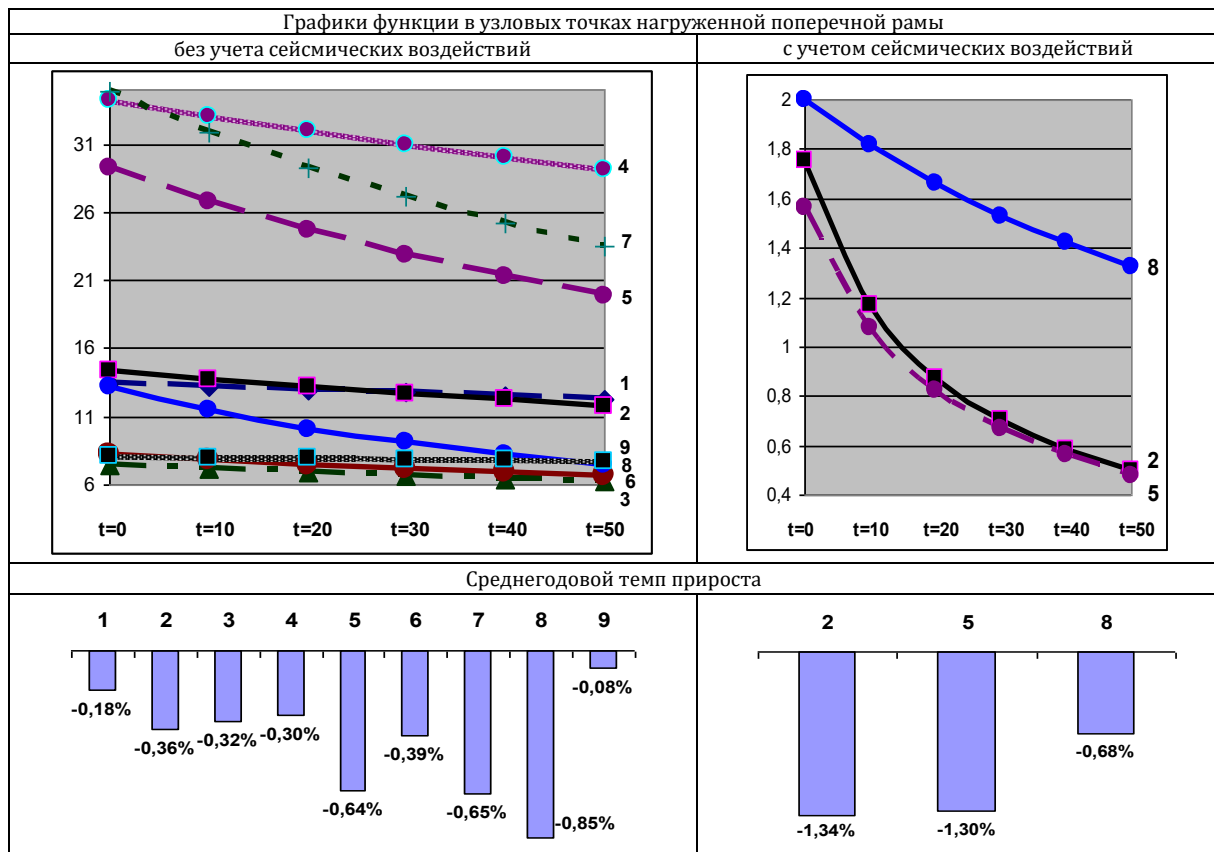


Рис. 6. Функция обобщенного коэффициента запаса

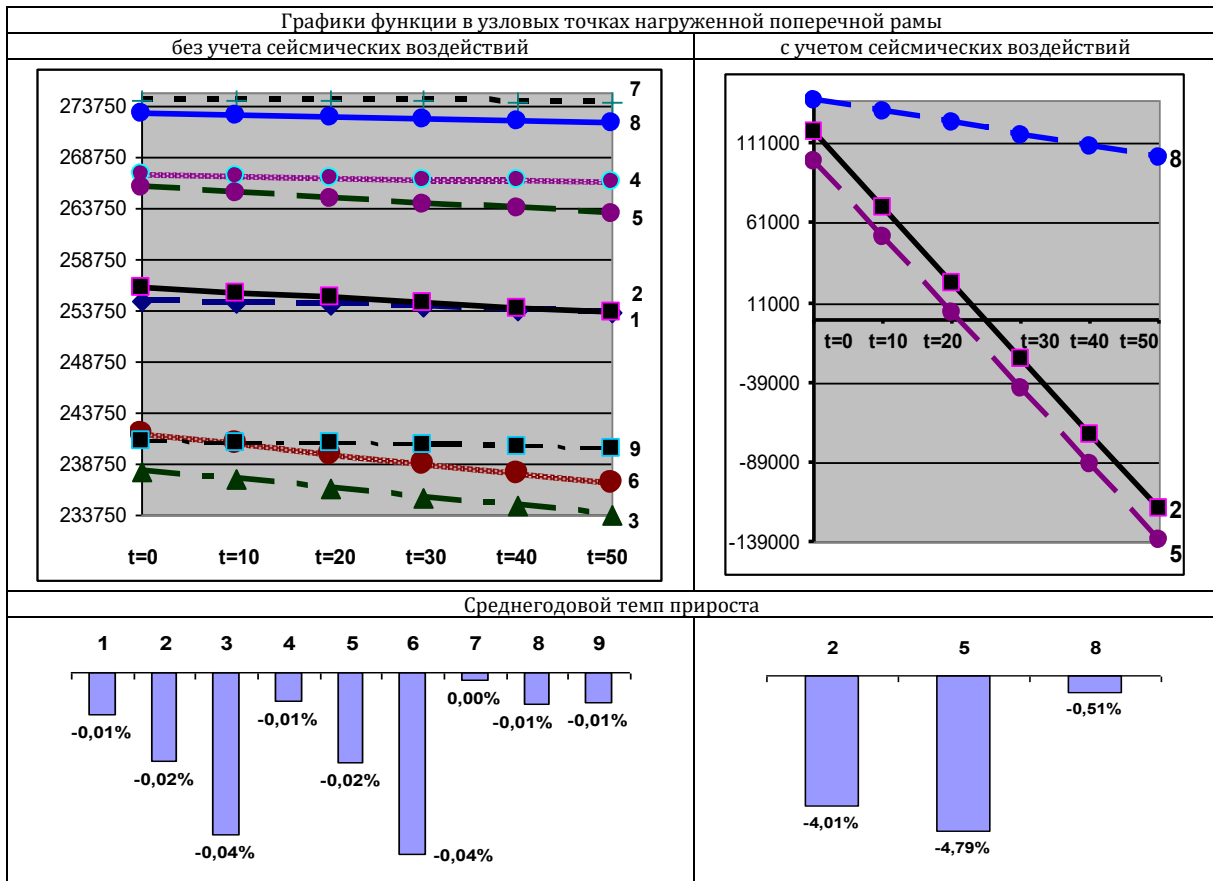


Рис. 7. Функция работоспособности

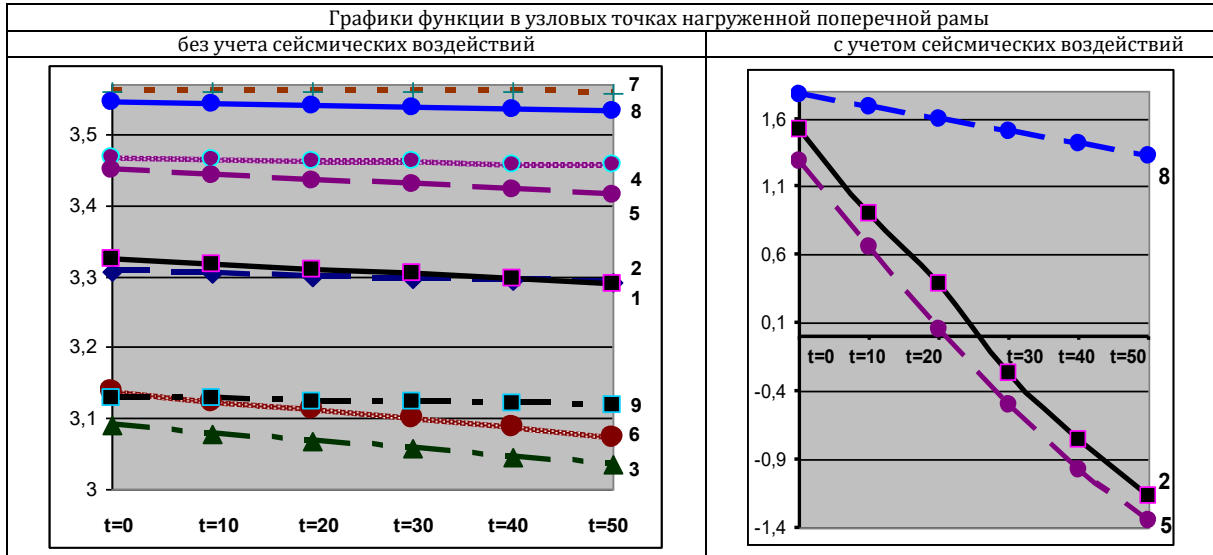


Рис. 8. Функция индекса надежности

На рисунках 6–8, кроме графиков функций, представлены диаграммы, демонстрирующие по введенным в обозначения точкам среднегодовой темп прироста. При действии комплексного сочетания нагрузок с учетом сейсмике значительные приращения по всем рассматриваемым динамическим показателям зафиксированы в уровне заделки колонн, что объясняется подвижками грунта в основании каркаса.

Для возможности прогнозирования рассматриваемых показателей надежности, исходя из разности сумм математических ожиданий всех напряжений от действия неизменного нагрузочного фактора по итогам двух обследований, определялась среднегодовая скорость износа. С учетом данной величины проведено построение функций работоспособности (рис. 7) и индекса надежности (рис. 8), в которых описывает-

ся снижение несущей способности системы в процессе эксплуатации объекта.

Снижение надёжности конструктивных элементов каркаса здания в соответствии с графиками функций на рисунках 6–8 является следствием постепенного уменьшения горизонтальной жёсткости и накопления повреждений в узловых сопряжениях несущих конструкций кар-

каса. При подвижках грунта в основании цеха в случае прохождения сейсмически активной волны уже через 1 год и 5 месяцев после первого обследования здания в расчетных сечениях средней колонны, и через 9 лет и 8 месяцев – в крайней правой колонне возникнут такие напряжения. Это приведёт к 10 % снижению динамической характеристики (рис. 9).

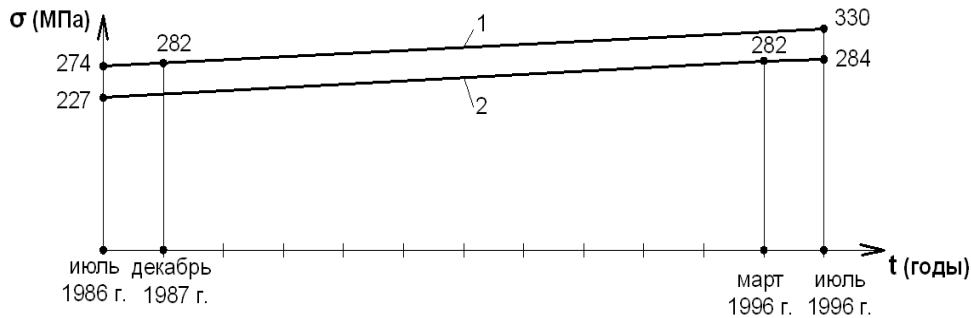


Рис. 9. Нормальные напряжения в средней (1) и крайней (2) колоннах поперечной рамы с мостовым краном

Таким образом, на основе оценки технического состояния и измерения динамических характеристик здания можно определить не только его пригодность к дальнейшей эксплуатации, но и установить сроки наступления опасного состояния. Разработанный алгоритм оценки надёжности про-

мышленного здания может быть использован в качестве инструмента дальнейших исследований. Его реализация позволяет точно отследить кинетику напряженно-деформированного состояния отдельных элементов и каркаса в целом конкретного объекта во времени эксплуатации.

Список литературы

1. Патрикеев А.В., Салатов Е.К. Основы методики динамического мониторинга деформационных характеристик зданий и сооружений // Вестник МГСУ, 2013. № 1. С. 133-138.
2. Улыбин А.В., Ватин Н.И. «Качество визуального обследования зданий и сооружений и методика его выполнения» // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 10(25). С. 134-146.
3. Брайла Н.В., Хазиева Л.Ф., Старицына А.А. Результаты мониторинга технического обследования объекта эксплуатации // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 6(74). С. 70-77.
4. Бедов, А.И. Оценка технического состояния, восстановление и усиление оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. В 2-х частях. Оценка технического состояния оснований
5. Дормидонтова, Т.В. Комплексное применение методов оценки надёжности и мониторинга строительных конструкций и сооружений: монография / Т.В. Дормидонтова, С.В. Евдокимов. – Самара: СГАСУ, 2012. – 128 с.
6. Тамразян А.Г. Оценка риска и надёжности конструкций и ключевых элементов – необходимое условие безопасности зданий и сооружений // Вестник ЦНИИСК. 2009. №1. с. 160-171.
7. Данилов А.И. Концепция управления процессом разрушения строительного объекта // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 8. С. 74–77.
8. Булгаков, С.Н. Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера / С.Н. Булгаков, А.Г. Тамразян, А.Г. Рахман, А.Ю. Степанов. - М.: МАКС Пресс, 2004. - 304 с.
9. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лященко, В.А. Пашинский, А.В. Перельмутер, С.Ф. Пичугин; под общей ред. А.В. Перельмутера. – М.: Изд. АСВ, 2007. – 482 с. – ISBN 978-5-93093-404-5.
10. Zolina, T.V. Skewed Crane Movement as a Cause of Defect Accumulation and Damages of Bearing Frame Structures of Industrial Building / T.V. Zolina // Scientific Herald of The Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2015. №4. – Pp. 7-15. - ISSN: 2075-0811.
11. Надёжность зданий как пространственных составных систем при сейсмических воздействиях / Пшеничкина В.А., Белоусов А.С., Кулешова А.Н., Чураков А.А. / под ред. Пшеничкиной В.А. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2010. – 180 с.
12. Zolina, T.V. Residual resource of a one-storey steel frame industrial building constructed with bridge cranes / T.V. Zolina, P.N. Sadchikov // Magazine of Civil Engineering. 2018. 84(8). Pp. 150–161. DOI: 10.18720/MCE.84.15.
13. Перельмутер А.В., Кабанцев О.В. Учет изменения жесткостей элементов в процессе монтажа и эксплуатации // Инженерно-строительный журнал. 2015. №1. С. 6-14.
14. Золина, Т.В. Концептуальная схема исследования напряженно-деформированного состояния промышленного здания / Золина Т.В., Садчиков П.Н. // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура, вып. 33(52). – Волгоград: ВолгГАСУ, 2013. – С. 47-50.
15. Золина, Т.В. Моделирование работы конструкций промышленного здания с учетом изменения жесткости в процессе эксплуатации / Т.В. Золина, П.Н. Садчиков // Вестник МГСУ. – 2012. – № 10. – С. 69-76.



16. Пшеничкин А.П. Надежность зданий и оснований в особых условиях: учебное пособие / А.П. Пшеничкин, В.А. Пшеничкина; Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2009. – 218 с. – ISBN 978-5-98276-262-7.

17. Zolina, T.V. Evaluation of software realization algorithms of industrial building operation life / T.V. Zolina, P.N. Sadchikov // Advances in Energy, Environment and Materials Science Proceedings of the International Conference on Energy, Environment and Materials Science (EEMS 2015), Guangzhou, P.R. China, August 25-26, 2015 / Edited by Yeping Wang and Jianhua Zhao. – CRC Press. – 2016. – Pp. 777-780. – Print ISBN: 978-1-138-02931-6. – eBook ISBN: 978-1-315-64056-3. – DOI: 10.1201/b19635-154

18. Золина, Т.В. Сводный алгоритм расчета промышленного объекта на действующие нагрузки с оценкой остаточного ресурса / Т.В. Золина // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 6. – С. 3-5.

© Т. В. Золина

Ссылка для цитирования:

Золина Т. В. Оценка остаточного ресурса промышленного здания с мостовыми кранами в процессе его эксплуатации // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 3 (29). С. 6–16.