

УДК 624.042.3:621.87

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РАСЧЕТНОГО СОЧЕТАНИЯ НАГРУЗОК ПРИ ОЦЕНКЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КАРКАСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ С МОСТОВЫМИ КРАНАМИ В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**Т. В. Золина**

*Астраханский инженерно-строительный институт*

Для достоверной оценки остаточного эксплуатационного ресурса промышленного здания, оборудованного мостовыми кранами, важно правильно определить неблагоприятное сочетание воспринимаемых зданием нагрузок. В работе предлагается производить оценку остаточного ресурса по комбинированному сочетанию, что приводит к увеличению расчетных усилий в несущих конструкциях каркаса и, как следствие, к меньшему эксплуатационному ресурсу.

**Ключевые слова:** *одноэтажное промышленное здание, мостовые краны, сочетания действующих нагрузок, остаточный эксплуатационный ресурс, надежность, долговечность.*

It is important to determine the adverse combination of perceived building loads for a veracious assessment of the residual service life of industrial buildings, equipped with overhead cranes. The paper proposes to estimate the residual exploitation resource of the composite combination, which leads to increasing the estimated effort in the supporting structures of the framework and, as a result - fewer operational resources.

**Key words:** *one-storey industrial building, bridge cranes, a combination of acting loads, residual exploitation resource, reliability and durability.*

В последние годы в промышленности материальные и финансовые ресурсы в первую очередь направляются на техническое перевооружение и реконструкцию существующих предприятий с целью увеличения производственных мощностей без строительства новых зданий, то есть промышленность модернизируется с меньшими капитальными затратами. При этом безопасная эксплуатация на производстве и безаварийный режим работы существующих предприятий, оценка их надежности и долговечности приобретают важное значение. Возросшее в последние годы число аварий на промышленных объектах наглядно иллюстрирует тот факт, что средний срок службы большинства промышленных объектов в Российской Федерации значительно превышает нормативный.

Анализ показывает, что аварии практически всегда происходят в зданиях, находящихся в эксплуатации длительное время. Это обусловлено существенным физическим износом несущих конструкций, который происходит в результате накопления в конструкциях и их узловых сопряжениях дефектов и повреждений, возникающих вследствие воздействия на каркас различных сочетаний статических и динамических нагрузок. Такие явления приводят к снижению несущей способности здания и обязательно должны быть учтены при оценке остаточного эксплуатационного ресурса объекта.

Реальный срок службы промышленного здания на практике зачастую зависит от степени интенсивности его эксплуатации. Чем она выше, тем больше вероятность того, что здание может



достигнуть предельного состояния и потерять надежность задолго до исчерпания установленного нормами срока службы. Отсюда и возникающие в зданиях аварии и нарушения в работе кранового оборудования. Из сказанного следует, что постоянный мониторинг технического состояния несущих конструкций каркасов промышленных зданий крайне необходим. Это позволит правильно оценить остаточный ресурс существующего здания и эффективно определить время достижения конструкциями предельного состояния.

Следует отметить, что в промышленных зданиях с мостовыми кранами бывает затруднительно собрать необходимую информацию о состоянии несущих конструкций в конкретный период эксплуатации здания, так как данные о силовых воздействиях кранов бывают крайне ограниченными и недостоверными. А ведь именно крановые нагрузки очень часто являются определяющими в напряженно-деформированном состоянии несущих конструкций каркаса, что объясняется, наряду с целым рядом причин, и их случайным характером. Кроме того, не следует забывать о том факте, что физико-механические и прочностные параметры материала, из которого изготовлены конструкции, и условия их эксплуатации тоже имеют случайный характер. При этом присутствует и определенная погрешность проводимых при мониторинге измерений. Таким образом, практически всегда отсутствует достаточно полная информация об исследуемом объекте.

Исходя из вышесказанного, следует признать, что на основании ограниченных данных проводимого мониторинга технического состояния промышленных объектов, учитывающего особенности изменения во времени процессов износа несущих конструкций, необходима методика, позволяющая объективно оценить остаточный эксплуатационный ресурс здания с максимальной полнотой.

Как уже указывалось, наибольшее воздействие на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций промышленных зданий оказывают в основном мостовые краны, которые в процессе работы передают на поддерживающие их конструкции вертикальные и горизонтальные нагрузки – случайные и по величине, и в пространстве и во времени [1, 20].

Для объективной оценки остаточного ресурса промышленного здания автором обосновывается необходимость уточнения крановых воздействий [6, 7, 11]. Экспериментально и теоретически доказывается, что при оценке остаточного ресурса в качестве горизонтальной крановой нагрузки следует брать боковые силы, возникающие при движении мостового крана с перекосом. Такое движение крана является

единственным возможным, так как практически невероятно, чтобы среди множества факторов отсутствовал такой, который способствует движению крана с перекосом [19]. Следует отметить, что в нормах [26] при расчете поперечных рам промышленных зданий предлагается учитывать нагрузку, возникающую от торможения крановой тележки – поперечную тормозную силу, а боковые силы учитывать только при расчете прочности и устойчивости подкрановых балок и их креплений к колоннам в зданиях с кранами определенных режимов работы, поскольку эти силы якобы не вовлекают каркас в колебательный процесс.

Однако результаты эксперимента, проведенного автором и другими исследователями [1, 8, 9], показали, что под воздействием боковых сил каркас здания вовлекается в колебательный процесс. При этом величина амплитуд колебаний от боковых сил в 1,5–2,5 раза больше величины амплитуд колебаний, возникающих от поперечной тормозной силы. Это объясняется, во-первых, тем, что боковые силы по величине значительно превосходят поперечную тормозную силу, возникающую при работе крановых тележек, а во-вторых, тем, что существуют неучтенные факторы, влияющие на величину фактической боковой силы. Так, результаты экспериментов, проведенных автором в 1986 и 1996 гг. [8, 9], показали: 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 [20]. Это явление объясняется тем фактом, что преобладающее влияние на образование перекоса и возникновение существенных для каркаса боковых сил оказывают случайные отклонения подкрановых путей в горизонтальной плоскости от проектного положения, которые, как показывают результаты обследования многих промышленных зданий [1, 8, 27], могут быть очень значительными – порядка 20...60 мм.

Автором предлагается определять фактическую боковую силу умножением расчетной боковой силы [22] на так называемый коэффициент модуляции [6], полученный путем сравнения результатов проведенных экспериментальных исследований по определению смещений отдельных расчетных точек каркаса с результатами расчета здания на расчетные боковые силы в вероятностной постановке.

Влияние значительных по величине фактических боковых сил на работу каркаса, которое не учитывалось при проектировании промышленного здания, приводит к тому, что через некоторый период эксплуатации у здания значительно снижается горизонтальная жесткость.



Данный факт подтверждается результатами экспериментальных исследований, проведенных автором в одном и том же здании судокорпусного цеха (СКЦ), оборудованного мостовыми кранами грузоподъемностью 50 т, с интервалом в 10 лет: в 1986 и 1996 гг. [8, 9]. При этом было зафиксировано увеличение через 10 лет горизонтальных смещений каркаса от работающих мостовых кранов на 18...25 % в расчетных точках, где производились замеры. Кроме того, в процессе мониторинга технического состояния обследуемого здания были выявлены повреждения в узловых сопряжениях несущих конструкций, что также говорит о снижении горизонтальной жесткости каркаса в поперечном направлении вследствие отрицательного влияния не учтенных расчетом крановых воздействий.

Оценить уровень снижения горизонтальной жесткости каркаса промышленного здания в процессе эксплуатации можно на основании повторных экспериментальных исследований, проведенных по прошествии некоторого срока, путем формирования так называемой «обратной матрицы жесткости» [15, 16], которая позволяет определить увеличение смещений расчетных точек каркаса вследствие снижения его горизонтальной жесткости в процессе эксплуатации.

Следует отметить, что действительная работа несущих конструкций каркаса промышленного здания и возникающее в них напряженно-деформированное состояние сильно отличаются от идеализированной системы и условий, рассматриваемых на проектной стадии. В реальности напряжения и деформации, возникающие от действующих на здание нагрузок, являются случайными величинами из-за многих неучитываемых факторов, уже упомянутых ранее. В связи с этим проектирование каркаса промышленного здания должно производиться только в вероятностной постановке. Кроме того, сегодня именно вероятностные методы используются при расчете строительных конструкций на безопасность и при оценке их надежности и долговечности [4, 5, 20, 21, 24].

Учитывая вышеизложенное, на основании многолетних теоретических и экспериментальных исследований автор предлагает методику вероятностного расчета промышленных зданий с крановым оборудованием с целью определения их работоспособности и оценки возникновения возможных рисков при их эксплуатации [10, 12–16]. Данная методика базируется на современном программно-расчетном комплексе DINCIB-new [23], позволяющем оценить [7, 14]:

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

Наименьший коэффициент запаса дает возможность оценить риск дальнейшей эксплуатации здания в различные временные интервалы:

$$\xi(t) = \frac{m_{\bar{R}_s}}{m_F(t)}, \quad (1)$$

где  $m_{\bar{R}_s}$  – среднее значение нормативного сопротивления материала каркаса по известной предельно допустимой величине расчетного сопротивления при заданном уровне значимости;  $m_F(t)$  – математическое ожидание случайной величины обобщенной нагрузки на здание.

По наибольшей скорости износа судят об изменении математического ожидания резерва прочности за определенный период времени:

$$\bar{V}_S = \frac{m_{S(н)} - m_{S(к)}}{n}, \quad (2)$$

где  $m_{S(н)}$ ,  $m_{S(к)}$  – математические ожидания резерва прочности при первом и последующем обследовании, соответственно;  $n$  – промежуток времени между данными обследованиями.

Индекс надежности является характеристикой безопасности:

$$\beta = \frac{m_{\bar{R}_s} - m_{\bar{F}}}{\sigma_{m_S}}, \quad (3)$$

где  $m_{\bar{F}}$  – математическое ожидание случайной величины обобщенной нагрузки на здание;  $\sigma_{m_S}$  – стандарт резерва прочности.

Остаточный ресурс здания показывает суммарную наработку объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние, то есть за какой срок будет достигнуто состояние, при котором станет необходимым применить конструктивные меры для восстановления работоспособности здания.

Таким образом, программно-расчетный комплекс DINCIB-new позволяет автоматизировать расчет промышленного здания на основе вероятностной модели, целью которого является анализ прочности, устойчивости и надежности несущих конструкций каркаса при нагрузках самого различного характера.

Для достоверной оценки остаточного эксплуатационного ресурса промышленного здания, оборудованного мостовыми кранами, очень важно правильно определить неблагоприятное сочетание воспринимаемых зданием нагрузок.

Для зданий, расположенных в сейсмически не опасных районах, нормы [26] предписывают вести расчет конструкций по основным сочетаниям нагрузок, которые в случае с промышленным зданиями с мостовыми кранами включают в себя:

- постоянные нагрузки от собственного веса ограждающих и несущих конструкций каркаса, принимающиеся в полном объеме;



• кратковременные нагрузки от воздействия ветра, снега и мостовых кранов, принимающиеся с коэффициентами сочетаний.

Для основных сочетаний нагрузок необходимо использовать следующие коэффициенты сочетаний для кратковременных нагрузок: 1 – для основной по степени влияния кратковременной нагрузки; 0,9 – для второй по степени влияния и 0,7 – для остальных кратковременных нагрузок. В качестве горизонтальной нагрузки, направленной поперек кранового пути, нормы предписывают брать нагрузку, вызываемую торможением электрической тележки [27].

В сейсмически опасных районах расчет конструкций должен производиться по особому сочетанию нагрузок, включающему в себя для промышленных зданий с мостовыми кранами [25]:

• постоянные нагрузки от собственного веса ограждающих и несущих конструкций каркаса с понижающим коэффициентом сочетания, равным 0,9;

• кратковременную нагрузку, основную по степени влияния, практически всегда – сейсмическую;

• кратковременные нагрузки от снега (с понижающим коэффициентом, равным 0,5) и вертикального давления мостовых кранов.

Ветровые нагрузки, тормозные и боковые усилия от движения кранов при этом не учитываются.

Для особых случаев необходимо использовать коэффициенты сочетаний для всех кратковременных нагрузок, равные 0,8, за исключением случаев, оговоренных в [26] для постоянных нагрузок (собственный вес конструкций), и кратковременной нагрузки от снега.

С учетом вышесказанного для промышленного здания в сейсмически не опасном районе остаточный ресурс должен определяться по основному сочетанию нагрузок. Однако при оценке остаточного ресурса рекомендуется учитывать сейсмические воздействия даже в сейсмически не опасных районах, так как любые экстремальные воздействия всегда усугубляют ситуацию [2]. Кроме того, имеются сведения, что в некоторых районах с течением времени изменяется сейсмичность в сторону повышения балльности возможных землетрясений [17, 27], так что при оценке остаточного ресурса в качестве расчетного сочетания действующих на здание нагрузок следует всегда принимать не основное, а особое сочетание.

В дополнение к изложенному автор предлагает производить оценку остаточного ресурса эксплуатирующегося промышленного здания с мостовыми кранами по так называемому комбинированному сочетанию, включающему в себя следующие виды нагрузок:

• постоянные нагрузки от собственного веса ограждающих и несущих конструкций каркаса (без понижающего коэффициента);

• в качестве кратковременной нагрузки, основной по степени влияния, следует брать сейсмическое воздействие, так как от данной нагрузки всегда возникают наибольшие напряжения в несущих конструкциях каркаса (с коэффициентом сочетания, равным 1);

• вертикальное давление следует брать от двух сближенных, наиболее неблагоприятных по воздействию мостовых кранов;

• в качестве горизонтальной нагрузки следует учитывать боковую силу, возникающую при движении с перекосом одного крана, так как автором уже доказано влияние боковых сил на вовлечение каркаса в колебательный процесс и их большее значение, чем поперечная тормозная сила; при этом маловероятно, что в один и тот же момент времени с двух кранов передастся на каркас боковая сила; не учитывать же ее, как предписывают нормы [25], будет неправильным, так как сейсмическое воздействие на здание может произойти и при работающем мостовом кране;

• снеговая нагрузка (с понижающим коэффициентом);

• ветровая нагрузка (не учитывается).

Коэффициенты сочетаний для крановых (вертикальное давление и боковая сила) и снеговой нагрузок предлагается назначать следующим образом: к большей (из суммы крановых и снеговой) нагрузок берется коэффициент сочетаний, равный 0,9, а к меньшей из них – 0,7.

В качестве примера, иллюстрирующего сравнение применения особого и предлагаемого автором комбинированного сочетания нагрузок для оценки долговечности здания, то есть способности сохранять работоспособное состояние при установленной системе технического обслуживания, приведем результаты расчета каркаса судокорпусного цеха (СКЦ), имеющего два пролета по 30 м, высоту 22 м, шаг поперечных рам 12 м, уровень головки рельса 18 м, длину 228 м, оборудованного мостовыми кранами грузоподъемностью 50 т, по двум вышеназванным сочетаниям.

Ранее уже упоминалось, что для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации любого промышленного здания необходим постоянный мониторинг технического состояния его конструкций.

В процессе эксплуатации здания его несущая способность снижается из-за накопления в узловых сопряжениях отдельных конструкций различных дефектов и повреждений, возникающих вследствие воздействия на каркас сочетаний статических и динамических нагрузок, в том



числе неучтенных при проектировании – влияние фактических боковых сил на деформативность здания в поперечном направлении, на что уже указывалось автором. Таким образом, в процессе эксплуатации здания происходит уменьшение жесткости каркаса в целом. Это явление безусловно должно быть учтено в расчете.

Для здания СКЦ на исходном этапе (в 1986 г.) была произведена оценка его технического состояния и произведены замеры динамических параметров. Их определение осуществлялось через измерения в уровнях подкрановой балки и покрытия перемещений от горизонтальных крановых нагрузок, действующих на каркас здания. По исходным параметрам строительных конструкций были вычислены матрицы жесткости и инерционных параметров каркаса здания.

Через 10 лет эксплуатации (в 1996 г.) была произведена повторная оценка технического состояния, и в тех же расчетных точках, что и на исходном этапе, были определены смещения от горизонтальных крановых нагрузок. С учетом проведенных замеров, когда было зафиксировано увеличение смещений по прошествии 10 лет, была составлена уточненная матрица жесткости каркаса.

На всех этапах оценки технического состояния с помощью программного комплекса DINCIB-new [23] определялись частоты и формы собственных колебаний здания. На исходном этапе (в 1986 г.) частота колебаний по первой форме составила  $\omega_1 = 4,13 \text{ с}^{-1}$ ; через 10 лет эксплуатации (в 1996 г.)  $\omega_1 = 3,9 \text{ с}^{-1}$ . Таким образом, изменение динамической характеристики через 10 лет эксплуатации составило 5,5 %, что не превышает 10 %, установленных нормами [3], в соответствии с которыми в случае, если динамические характеристики здания снижаются более, чем на 10 % в сравнении с исходными, здание подлежит обязательному внеплановому обследованию.

Учитывая, что жесткость и частоты колебаний каркаса изменяются во времени взаимосвязанно, можно спрогнозировать для конкретного здания момент времени, по наступлении которого частота уменьшится на 10 %. Для рассматриваемого здания СКЦ при изменении динамической характеристики на 10 % частота по первой форме колебаний составит  $\omega_1 = 3,71 \text{ с}^{-1}$ .

Таким образом, в процессе исследования решаются последовательно три задачи – прямая, обратная и прогнозная.

Прямая задача позволяет определить, каким будет состояние здания, исходя из имеющихся в начальный момент эксплуатации исходных данных и закономерностей его поведения. Такими данными для решения прямой задачи являются: геометрические размеры здания и его основных несущих конструкций, действующие нагрузки, информация об используемых мостовых кранах, матрица жесткости и матрица инерционных параметров (рис. 1, 2).

В обратной задаче, установив количество расчетных точек каркаса, в которых зафиксировано увеличение смещений по прошествии определенного срока эксплуатации (в рассматриваемом случае – 10 лет), обусловленное уменьшением жесткости каркаса, получены новые значения измененной матрицы жесткости. Откорректированная в результате расчета матрица жесткости используется в дальнейших исследованиях при решении задач оценки работоспособности здания под влиянием внешних воздействий.

Суть прогнозной задачи заключается в определении момента времени, когда частота колебания здания снизится на 10 % в сравнении с исходной. В процессе решения прогнозной задачи в программно-расчетном комплексе DINCIB-new для определения срока достижения состояния, требующего внепланового обследования, используется скорректированная матрица жесткости, полученная по итогам решения обратной задачи.

В таблице 1 в качестве примера, иллюстрирующего сравнение особого и комбинированного сочетаний, приведены значения расчетных усилий (изгибающих моментов  $M$  и продольных сил  $N$ ), возникающих в крайней и средней колоннах СКЦ на уровне заделки колонны в фундамент для прямой, обратной и прогнозной задач.

Анализ результатов расчета, представленных в таблице 1, показывает увеличение расчетных усилий при расчете по комбинированному сочетанию нагрузок в сравнении с особым сочетанием на 2...7 %.

Теперь следует выяснить, как такое увеличение значений расчетных усилий, возникающих в колоннах, сказывается на их прочности и устойчивости в процессе эксплуатации с учетом уменьшающейся с течением времени горизонтальной жесткости каркаса. В таблице 2 представлены значения нормальных напряжений, возникающих в том же сечении для тех же колонн, что и в таблице 1

Таблица 1

Значения расчетных усилий в колоннах каркаса СКЦ на уровне заделки

Колонна	Вид сочетания нагрузок	Прямая задача		Обратная задача		Прогнозная задача	
		$M(\text{кН}\cdot\text{м})$	$N(\text{кН})$	$M(\text{кН}\cdot\text{м})$	$N(\text{кН})$	$M(\text{кН}\cdot\text{м})$	$N(\text{кН})$
Крайняя	Особое	4009	1417	5262	1417	6082	1417
	Комбинированное	4126	1517	5393	1517	6222	1517
Средняя	Особое	9201	2981	11771	2981	13477	2981
	Комбинированное	9421	3120	12020	3120	13746	3120

а) **Исходные данные**

**Принятые единицы измерения:**  
 Длина: м | Время: сек  
 Масса: т | Сила: кН

**Колонны:**  
 Высота надкрановой части: 5,19 м | подкрановой части: 16,42 м

**ПЗ:**  
 Длина здания: 228 м  
 Общая высота здания: 30,8 м  
 Длина пролета: 30 м  
 Шаг поперечных рам: 12 м

**Характеристики сечения:**

**изгибная жесткость:**  
 средней колонны:  
 надкрановой части: 915000 кН м\*  
 подкрановой части: 11491000 кН м\*  
 крайней колонны:  
 надкрановой части: 735000 кН м\*  
 подкрановой части: 4836000 кН м\*

**момент сопротивления:**  
 средней колонны:  
 надкрановой части: 0,0094 м\*  
 подкрановой части: 0,0547 м\*  
 крайней колонны:  
 надкрановой части: 0,0075 м\*  
 подкрановой части: 0,0268 м\*

Пример | Сохранить

б) **Исходные данные по мостовым кранам**

**Мостовой кран №1**

**Основные параметры:**  
 Вес кранового моста: 520  
 Вес тележки крана: 181  
 Грузоподъемность крана: 50  
 Пролет крана: 28  
 База крана: 4,75  
 Число колес на одной стороне крана: 2

**Верт. усилие на колесе крана:**  
 действительное: 490  
 минимальное: 180  
 максимальное: 490  
 без груза с тележкой, расположенной посередине моста: 206

**Вариативность:**  
 Тип привода:  центральный  раздельный  
 Тип подвеса:  жесткий  гибкий  
 участок пути с отклонениями колес более 40 мм

**Дополнительно:**  
 Минимальное приближение крюка к оси кранового рельса: 0,5  
 Сумма ординат линии влияния при учете одного крана: 2,7  
 Максимальное значение нагрузки от торможения крановой тележки: 49,06

**Проверка:**  
 Нормативное значение нагрузки от торможения тележек:   
 Нормативное значение боковой силы:   
 Нормативное значение вертикального давления крана:

**Мостовой кран №2**

**Основные параметры:**  
 Вес кранового моста: 520  
 Вес тележки крана: 181  
 Грузоподъемность крана: 50  
 Пролет крана: 28  
 База крана: 4,75  
 Число колес на одной стороне крана: 2

**Верт. усилие на колесе крана:**  
 действительное: 490  
 минимальное: 180  
 максимальное: 490  
 без груза с тележкой, расположенной посередине моста: 206

**Вариативность:**  
 Тип привода:  центральный  раздельный  
 Тип подвеса:  жесткий  гибкий  
 участок пути с отклонениями колес более 40 мм

**Параметры для всех мостовых кранов:**  
 Номер точки приложения нагрузки (точка, где сосредоточена масса крана): 3  
 Расстояние от рамы, в которой приложена нагрузка, до центра масс: 90,35  
 Нормативный вес подкрановых конструкций: 45  
 Максимальное значение расчетного сопротивления: 230

Пример проведения расчета | Сохранить

в) **Статическое нагружение**

**Коэффициент учета полноты нагрузки:**  
 - собственного веса конструкций (M1): 1,0  
 - снеговых накоплений (M2): 0,5

**Временная нагрузка на неэксплуатируемую кровлю (M3): 0,65**  
 с учетом ветровых воздействий (M4)

**Количество мостовых кранов, одновременно находящихся в створе расчетной поперечной рамы: 2**

Пример расчета | Сохранить

**Изгибающие моменты**

	M1	M2	M3	M4
1	9	1,6	1,28	
2	9	1,6	1,28	
3	-12	-2	-1,6	
4	87	15,2	12,16	
5	-217	-38,1	-30,48	
6	106	18,5	14,8	
7	-96	-17	-13,6	
8	208	37	29,6	
9	-94	-17	-13,6	

Рис. 1. Ввод исходных данных для проведения расчета:  
 а – геометрические размеры здания и жесткостные характеристики конструкций; б – данные по мостовому крану;  
 в – сопутствующие нагрузки

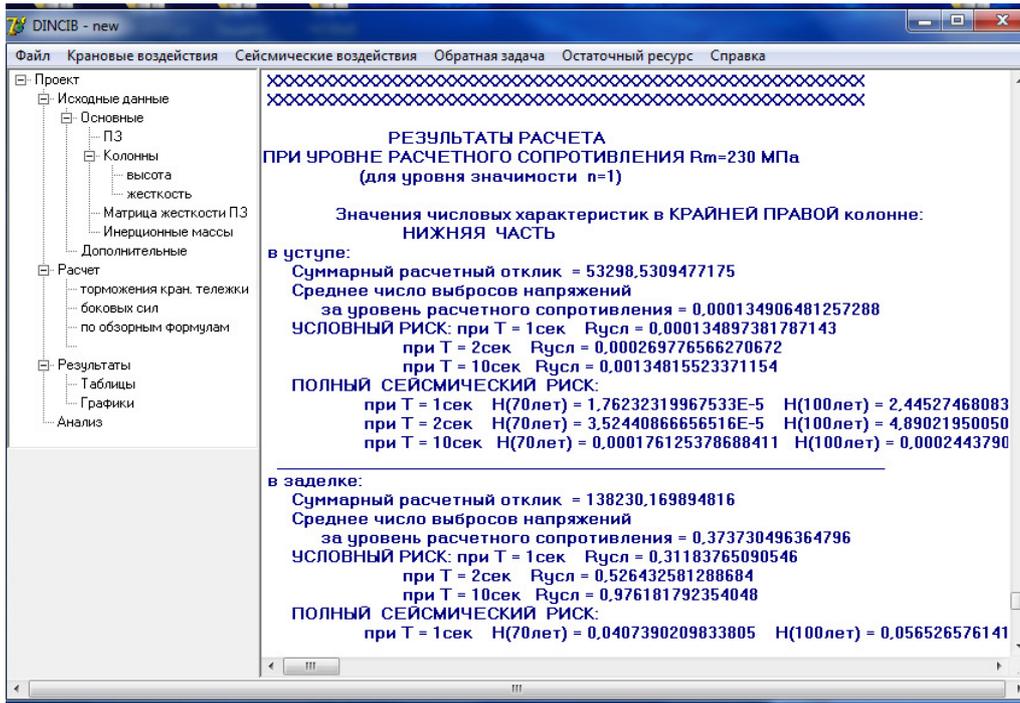


Рис. 2. Результаты расчета на сейсмическое воздействие

Таблица 2  
Значения нормальных напряжений в колоннах каркаса СКЦ на уровне заделки (МПа)

Колонна	Вид сочетания нагрузок	Прямая задача	Обратная задача	Прогнозная задача
Крайняя	Особое	219	275	312
	Комбинированное	227	284	321
Средняя	Особое	266	322	359
	Комбинированное	274	330	368

Анализ результатов расчета, представленных в таблице 2, показывает, что через 10 лет эксплуатации, когда горизонтальная жесткость каркаса уже снижена, и тем более на прогнозируемом этапе, когда частота колебания каркаса становится на 10 % меньше от ее исходного значения в начале эксплуатации здания, нормальные напряжения на 11...31 % превышают среднее значение сопротивления стали, равное 281 МПа.

До недавнего времени г. Астрахань относилась к сейсмически не опасным районам. Поэтому на стадии проектирования здания СКЦ нормы строительства для сейсмических районов не учитывались. Несмотря на это здание СКЦ на исходном этапе эксплуатации обладало достаточной несущей способностью для восприятия сейсмической нагрузки в 7 баллов. Такие выводы были сделаны на основании расчета каркаса СКЦ на восприятие сейсмической

нагрузки с исходными жесткостными характеристиками.

В настоящее время, в соответствии с комплектом карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-97), для объектов повышенной ответственности, к каким относятся производственные объекты со стационарно установленными грузоподъемными механизмами [22], с учетом слабых водонасыщенных грунтов, которые преобладают на территории Астраханской области, сейсмичность площадки строительства должна быть повышена на 1 балл. В связи с этим при проверке прочности и устойчивости несущих конструкций необходимо учитывать сейсмическую нагрузку, что и было сделано в упомянутых выше расчетах.

Анализируя результаты расчета на особое и комбинированное сочетание нагрузок (см. табл. 2), можно сделать вывод, что с учетом уменьшения горизонтальной жесткости каркаса в процессе эксплуатации здание, выдерживающее сейсмическую нагрузку на начальном этапе, имея исходные жесткостные характеристики, уже через 10 лет эксплуатации, а тем более на прогнозируемом этапе, такую нагрузку не выдерживает, о чем свидетельствует увеличение нормальных напряжений сверх 281 МПа.

Таким образом, на основании оценки технического состояния промышленного здания, оборудованного мостовыми кранами, и измерения в процессе эксплуатации его динамиче-



ских характеристик можно не только определить пригодность здания к дальнейшей эксплуатации, но и предугадать наступление опасного состояния.

Также обособленным является учет предлагаемого автором комбинированного сочетания нагрузок, так как это приведет к более раннему достижению состояния, требующего внепланового обследования, и, как следствие, меньшему остаточному эксплуатационному ресурсу.

При необходимости на основании расчетов и определения динамических параметров,

можно спланировать капитальный ремонт несущих конструкций промышленных зданий с целью повышения срока их службы.

Предлагаемый автором программно-расчетный комплекс DINCIB-new может быть использован при проектировании промышленных зданий с крановым оборудованием, а в процессе эксплуатации – при мониторинге технического состояния зданий, так как позволяет оценить все возможные риски возникновения аварийных ситуаций и тем самым обеспечить надежную безопасную эксплуатацию промышленных объектов.

#### Список литературы

1. Барштейн М. Ф., Зубков А. Н. Исследование поперечных сил, возникающих при движении мостового крана // Динамика сооружений. М. : Стройиздат, 1968. С. 4–31.
2. Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М. : Машиностроение, 1984. 312 с.
3. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния : введ. 25.03.2010. М. : Изд-во стандартов, 2010. III, 25 с.: ил.; 61 с.
4. Завьялова О. Б. Исследование работы рам на горизонтальные нагрузки // Известия вузов. Строительство. 2004. № 3. С. 93–99.
5. Завьялова О. Б., Шейн А. И. Применение условного сдвига-изгибного стержня при расчете рам на устойчивость // Известия вузов. Строительство. 2010. № 1. С. 99–105.
6. Золина Т. В. Вычисление крановых нагрузок, определяющих несущую способность каркаса промышленного здания, при оценке его работоспособности // Научный потенциал регионов на службу модернизации. 2013. № 3 (6). Т. 1. С. 14–17.
7. Золина Т. В. Исследование напряженно-деформированного состояния несущих конструкций промышленного здания с крановым оборудованием и методика оценки его остаточного ресурса в процессе эксплуатации // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-техн. журнал. 2014. № 1 (7). С. 44–52.
8. Золина Т. В. Проблемы реконструкции промышленных зданий при увеличении технологических нагрузок // Изв. ЖКА. Городское хозяйство и экология. 1997. № 4. С. 54–60.
9. Золина Т. В. Расчет одноэтажных промышленных зданий, оборудованных мостовыми кранами, на горизонтальное крановое воздействие с учетом пространственной работы : дис. ... канд. техн. наук. М. : МИСИ, 1989. 242 с.
10. Золина Т. В. Сводный алгоритм расчета промышленного объекта на действующие нагрузки с оценкой остаточного ресурса // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 6. С. 3–5.
11. Золина Т. В. Экспериментальное обоснование необходимости уточнения крановых воздействий для объективной оценки остаточного ресурса промышленного здания // Перспективы развития строительного комплекса : сборник материалов VII Международной науч.-практ. конф. Астрахань : АИСИ, 2013. С. 6–12.
12. 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.
13. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Концептуальная схема исследования напряженно-деформированного состояния промышленного здания / Т. В. Золина, П. Н. Садчиков // Вестник ВолгГАСУ. Сер. Строительство и архитектура. 2013. № 33 (52). С. 47–50.
14. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Методика оценки остаточного ресурса эксплуатации промышленного здания, оснащенного мостовыми кранами // Вестник ВолгГАСУ. Сер. Строительство и архитектура. 2013. № 33 (52). С. 51–56.
15. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Моделирование изменений матрицы жесткости промышленного здания в процессе его эксплуатации // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 19–20.
16. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Моделирование работы конструкций промышленного здания с учетом изменения жесткости в процессе эксплуатации // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 69–76.
17. Колинченко А. Ф., Нестеренко Ю. М. Природная и техногенная сейсмичность Оренбуржья // Вестник ОГУ. Т. 2. Естественные и технические науки. 2006. № 1. С. 98–103.
18. Комплексное обследование кранового пути 3-х мостовых кранов судокорпусного цеха № 1, 2-й пролет ОАО «Астраханское судостроительное производственное объединение»: ООО ПКТБ «Стальконструкция» (лицензия ФС по технологическому, экологическому и атомному надзору России № ДЭ-00-005982 (П) от 03.11.2010).
19. Лобов Н. А. Динамика грузоподъемных кранов. М. : Машиностроение, 1987. 160 с.
20. 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.
21. Новые конструкции и технологии при реконструкции и строительстве зданий и сооружений / под общ. ред. Д. П. Ануфриева. – М. : Ассоциация строительных вузов, 2013. 208 с.
22. О промышленной безопасности опасных производственных объектов : Федеральный закон РФ № 116-ФЗ от 21.07.1997 (ред. от 02.07.2013).
23. Программно-расчетный комплекс DINCIB-new : свид. о гос. рег. программ для ЭВМ № 2014613866 : дата гос. рег. в Реестре программ для ЭВМ 09.04.2014 / Т. В. Золина, П. Н. Садчиков.
24. Пшеничкина В. А., Белоусов А. С., Кулешова А. Н., Чураков А. А. Надежность зданий как пространственных составных систем при сейсмических воздействиях. Волгоград : ВолгГАСУ, 2010. 180 с.
25. Свод правил 14.13330.2011 «Строительство в сейсмических районах» : утв. приказом Министерства регионального развития РФ (Минрегион России) от 27.12.2010 № 779 ; введ. в действие 20.05.2011.
26. Свод правил 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» : утв. приказом Министерства регионального развития РФ (Минрегион России) от 27.12.2010 № 787 ; введ. в действие 20.05.2011.
27. Юрченко П. А. Измененная сейсмичность и новые проблемы защиты опасных производственных объектов. URL: <http://sgm-oil.ru/articles/konkurs2/nominatsia3/article1.pdf>.