

УДК 624.042:621.875

ДИНАМІЧНА ДІАГНОСТИКА НЕСНИХ КОНСТРУКЦІЙ ГРЕЙФЕРНОГО МОСТОВОГО ПЕРЕВАНТАЖУВАЧА – ШЛЯХ ДО ЗАПОБІГАННЯ АВАРІЙ

МАКАРОВ А. В.*

* Проектний інститут "Дніпропроектстальконструкція", пр. Карла Маркса, 59-а, 49000, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 7440071, e-mail: macandr@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1610-5598

Анотація. *Постановка проблеми.* На підприємствах гірничо-металургійного комплексу України, хімічної та енергетичної галузі експлуатують грейферні мостові перевантажувачі для навантаження і вивантаження різних сипучих матеріалів. Усі перевантажувачі встановлено на відкритих промислових ділянках, внаслідок чого вони сприймають дію зовнішніх природних факторів (атмосферних опадів) та агресивних технологічних факторів (водяних парів градирень, гасильних веж коксохімічного заводу, вапна, парів повітря від спучування шлаку тощо). Робочі амплітуди коливань несних конструкцій перевантажувача під час руху візків із масою в сотні тонн спричиняють утомі пошкодження, що потребує значних часових та матеріальних витрат на їх усунення. У літературі з розрахунків та експлуатації перевантажувачів мало розглянуті питання дослідження динамічних навантажень під час технологічних операцій, уточнення динамічних розрахунків несних металоконструкцій і можливості теоретичного прогнозування їх стану, зниження амплітуд коливань і прискорення виконання робіт під час натурального обстеження. Після закінчення нормативного терміну експлуатації перевантажувача для визначення технічного стану крана, проводять експертні обстеження з періодичністю не рідше ніж раз на 2 роки за ОМД 0120253.001-2005 «Методика проведення експертного обстеження (технічного діагностування кранів мостового типу)» [9]. Проблеми під час оцінювання залишкового ресурсу старіючого обладнання зумовлені недостатньою ефективністю традиційних методів неруйнівного контролю. *Мета.* Встановити зв'язок частоти і форми власних коливань просторової моделі несних сталевих конструкцій перевантажувача з основними варіантами можливих пошкоджень на підставі теоретичних досліджень. *Висновок.* Шляхом моделювання різних варіантів аварійних ситуацій на перевантажувача можна скласти атлас пошкоджень несних сталевих конструкцій. Це дозволить проводити швидкий аналіз в умовах зміни частоти власних коливань і співвідношення нормованих переміщень однією із форм, із визначенням місць і можливої причини пошкоджень основних несних металоконструкцій.

Ключові слова: аварії несних конструкцій, мостовий перевантажувач, вібраційний контроль, діагностика, динаміка.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ГРЕЙФЕРНОГО МОСТОВОГО ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ – ПУТЬ К ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ АВАРИЙ

МАКАРОВ А. В.*

* Проектний інститут "Днепрпроектстальконструкція", пр. Карла Маркса, 59-а, 49000, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 7440071, e-mail: macandr@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1610-5598

Аннотация. *Постановка проблемы.* В украинском горно-металлургическом комплексе, химических и энергетических отраслях эксплуатируют грейферные мостовые перегружатели для погрузки и выгрузки различных сыпучих материалов. Все перегружатели установлены на открытом воздухе и, помимо атмосферных осадков, воспринимают еще технологические агрессивные воздействия от основного производства (водяные пары градирен, тушильных башен коксохимического завода, известь, пары воздуха от вспучивания шлака и др.). Рабочие амплитуды колебаний несущих конструкций перегружателя при движении тележек с массой в сотни тонн приводят к усталостным повреждениям, отсюда большие затраты времени и средств по их устранению. В литературе по расчетам и эксплуатации перегружателей практически не рассматриваются вопросы исследования динамических нагрузок при технологических операциях, уточнения динамических расчетов несущих металлоконструкций и возможности теоретического прогнозирования их состояния, снижения амплитуд колебаний и ускорения производства работ при выполнении натурального обследования. После окончания нормативного срока службы перегружателя для определения дальнейшего технического состояния крана проводятся экспертные обследования с частотой не реже раз в 2 года по ОМД [9]. Проблемы при оценке остаточного ресурса стареющего оборудования обусловлены недостаточной эффективностью традиционных методов неразрушающего контроля. *Цель.* На основании теоретических исследований

установить связь частоты и формы собственных колебаний пространственной модели несущих стальных конструкций перегружателя с основными вариантами возможных повреждений. **Вывод.** На основании создания набора всевозможных аварийных ситуаций перегружателя можно составить атлас повреждений несущих стальных конструкций. Это позволит проводить быстрый анализ при изменении частоты собственных колебаний и соотношения нормированных перемещений одной из форм, с последующим указанием мест и возможной причины повреждений основных несущих металлоконструкций.

Ключевые слова: аварии несущих конструкций, мостовой перегружатель, вибрационный контроль, диагностика, динамика.

DYNAMIC DIAGNOSTICS OF BEARING CONSTRUCTION OF WIDE SPAN GANTRY – THE WAY TO PREVENT THE ACCIDENTS

MAKAROV A. V.*

* Design institute "Dneprproektstalkonstruksiya", prospectus Karla Marksa, 59-a, Dnipropetrovsk 49000, Ukraine, tel. +38 (056) 7440071, e-mail: macandr@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1610-5598

Summary. Raising of problem. In the Ukrainian mining and metallurgical complex, chemical and energy industries exploit the wide span gantry for loading and unloading of bulk materials. All the wide span gantry are installed outdoors and, in addition to the atmospheric precipitation, perceive more aggressive technological impact on primary production (water vapor cooling towers, towers quenching coking plant, lime, a pair of air from swelling slag et al.). Working amplitude of oscillations bearing structures of the wide span gantry loader when driving trucks with weighing hundreds of tons lead to fatigue damage - hence the high cost of time and money to remove them. In the literature by calculations and operation of wide span gantry it isn't consider the questions of research of dynamic loads with technological operations, the accurate definition of dynamic calculations of bearing metal and the possibility of the theoretical prediction their condition, the amplitude decay of oscillations and accelerate production of works with implementation of full-scale study. It's doing the expert survey with the frequency at least once every 2 years after the end of their service life time of the wide span gantry to determine further technical condition of the crane [9]. The problems in the assessment of aging equipment residual bind with the lack of efficacy of traditional methods of indestructible control. **Purpose.** On the basis of theoretical research, it will connect the frequency and the shape of the natural oscillations of the spatial model of steel structures wide span gantry with basic versions for possible damage. **Conclusion.** On the basis of creating a set of emergency wide span gantry you can make the atlas of damage of steel structures. It will allow to do the rapid analysis with changing of the oscillation frequency one of the form, following indication site and possible cause of damage to the main load-bearing steel structures.

Keywords: accident of bearing structures, wide span gantry, vibration-based check, diagnostics, dynamics.

Постановка проблемы. В украинском горно-металлургическом комплексе, химических и энергетических отраслях эксплуатируют грейферные мостовые перегружатели (далее – перегружатель) для погрузки и выгрузки различных сыпучих материалов. Все перегружатели установлены на открытом воздухе и, помимо атмосферных осадков, воспринимают еще технологические агрессивные воздействия от основного производства (водяные пары градирен, тушильных башен коксохимического завода, известь, пары воздуха от вспучивания шлака и др.). Рабочие амплитуды колебаний несущих конструкций перегружателя при движении тележек с массой в сотни тонн приводят к усталостным повреждениям, отсюда – большие затраты времени и

средств по их устранению. (Интересно отметить, что в последнее время в мировой литературе появляется информация о проектировании новой машины в технике, которую для различных областей применения называют одним словом «3D-принтер». Размеры этой машины от миниатюрной быстро вырастают до домостроительного уровня, при котором очертания, технологии и конструкции машины, печатающие дома, могут приблизиться к исследуемым перегружателям и даже их превзойти. В этих случаях может быть использован опыт проектирования, обследования, испытания и реконструкции перегружателей при создании новых машин [1; 6; 14]).

В литературе по расчетам и эксплуатации перегружателей практически не рассматриваются вопросы исследования динамических нагрузок при технологических операциях, уточнения динамических расчетов несущих металлоконструкций и возможности теоретического прогнозирования их состояния, снижения амплитуд колебаний и ускорения производства работ при выполнении натурного обследования.

Анализ публикаций. В большинстве случаев перегружатели отслужили по одному, а то и по три эксплуатационных срока. Вопрос определения остаточного ресурса перегружателя регламентируется сроком службы его несущих металлоконструкций. В организационном методическом документе [8] норма срока службы – 12 лет. После окончания нормативного срока службы перегружателя для определения дальнейшего технического состояния крана проводятся экспертные обследования с частотой не реже раза в 2 года по ОМД. Проблемы при оценке остаточного ресурса стареющего перегружателя обусловлены недостаточной эффективностью традиционных методов неразрушающего контроля [3].

Известно, что обследования стальных конструкций проводятся различными методами неразрушающего контроля: акустический (ультразвук); акустико-эмиссионная диагностика; магнитный (коэрцитивная сила, намагниченность, индукция, магнитная проницаемость); вихретоковый; визуально-оптический; капиллярный; вибрационный и др [4; 5; 9; 12].

Вопросы расчетов колебаний различных сооружений и оценки их воздействия рассмотрены в литературе [2; 11].

Цели и задачи. На основании теоретических исследований установить связь частоты и формы собственных колебаний пространственной модели несущих стальных конструкций перегружателя с основными вариантами возможных повреждений.

Изложение материала. Исторически одной из величин, которая характеризовала

и динамические нагрузки на сооружение, и динамические свойства самого сооружения, являлся динамический коэффициент. В различных задачах и отраслях техники наполнение этого коэффициента принималось разным. В мостостроении ограничивались долгие годы одним коэффициентом, являющимся как бы добавкой к статической нагрузке от собственного веса.

А в классической теории колебаний, по учебнику Я. Г. Пановко, под коэффициентом динамичности понимается, во сколько раз амплитуда установившихся вынужденных колебаний на круговой частоте θ при моногармонической силе $P(t) = P_0 \sin \theta t$ больше перемещения, вызываемого статически приложенной амплитудой этой силы P_0 [10].

В этом случае динамический коэффициент (по перемещениям) равен:

$$\mu = \frac{A^{дин}}{A^{стат}}, \quad (1)$$

где: $A^{дин}$, $A^{стат}$ – перемещения динамическое и статическое соответственно.

Для системы с одной степенью свободы (для так называемого осциллятора) эта методика понятна и справедлива. Однако некоторые учебники по строительным конструкциям иногда распространяют такую методику «единого динамического коэффициента» на систему с несколькими степенями свободы, допуская серьезную неточность. Если в осцилляторе такой коэффициент справедлив для перемещений, скоростей, ускорений, динамических напряжений и т. п., то в дискретных моделях с конечным числом степеней свободы имеется несколько пиков на амплитудно-частотной характеристике, которая, в свою очередь, различна для разных сечений конструкций с переменными параметрами.

Именно такой конструкцией и является рассматриваемый грейферный мостовой перегружатель. Если в протяженной конструкции имеются элементы с большей и меньшей жесткостями, то они могут на разных частотах по-разному откликаться на одно и то же возмущение. Следовательно, в разных сечениях пространственной

конструкции будут различные динамические коэффициенты, что удобно изображать на эпюрах этого параметра. Ниже приведен пример использования эпюр динамических коэффициентов перемещений перегружателя трубчатого типа. Покажем результаты исследований для двух основных рабочих форм колебаний. Первая – продольно-

горизонтальная форма колебаний в вертикальной плоскости перегружателя, вызванная, например, разгоном или торможением грейферной тележки (рис. 1 а). Другая форма колебаний – вертикальная (изгибная), вызванная работой механизма подъема груза (рис. 1 б).



Рис. 1. Основные формы собственных колебаний перегружателя:
а – продольно-горизонтальная на частоте 0,64 Гц; б – вертикальная на частоте 1,61 Гц

Для анализа динамического поведения пространственных рам к модели перегружателя прикладывалась сначала к мосту по его продольной оси в вертикальной плоскости горизонтальная гармоническая нагрузка $P_0 \sin \theta t$ на резонансной частоте 0,64 Гц. Затем прикладывалась к той же точке, только статическая нагрузка P_0 . Результаты

вычислений приведены в виде эпюр динамических коэффициентов по перемещениям, вычисленных по формуле (1) для каждого сечения отдельно, см. рисунок 2а. Аналогично исследовалась и вертикальная форма колебаний (рис. 2б).

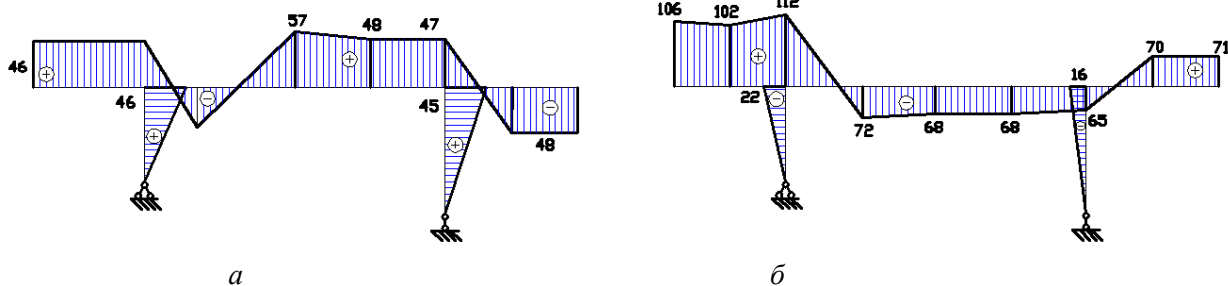


Рис. 2. Эпюры динамических коэффициентов по перемещениям для основных форм колебаний перегружателя:
а – продольно-горизонтальная форма колебаний в плоскости перегружателя; б – вертикальная форма изгибных колебаний основного тона

Как видно из пространственных эпюр динамических коэффициентов, такое представление нагруженности системы позволяет увидеть реальную картину распределения амплитуд перемещений крана от динамической нагрузки $P(t)$ и показывает наглядно ошибочность стандартной методики умножения всех статических нагрузок на единый «динамический коэффициент».

Другой метод основан на применении метода вибрационного неразрушающего контроля. Он позволяет интегрально определить по анализу динамических

характеристик (частоты, амплитуды, формы, логарифмический декремент колебаний) состояние и работоспособность конструкций, выявить локализации разрушений даже в труднодоступных местах. Такая работа была проведена, например, на основных конструкциях мостового перегружателя решетчатого типа (рис. 3). Она позволила определить возможные места аварийных разрушений элементов.

Рассмотрим этот алгоритм на примере моделирования динамических характеристик и нагруженности металлоконструкций

пространственной модели перегружателя с использованием программно-вычислительного комплекса «Selena» [13].



Рис. 3. Мостовой перегружатель решетчатой конструкции с гибкой и жесткой опорами

Пространственная расчетная схема модели включает в себя: пространственную схему решетчатого перегружателя по рабочим чертежам в ПК Selena, которая

имеет 339 узлов, 717 элементов, 22 типа конечных элементов, 20 сосредоточенных масс (рис. 4).

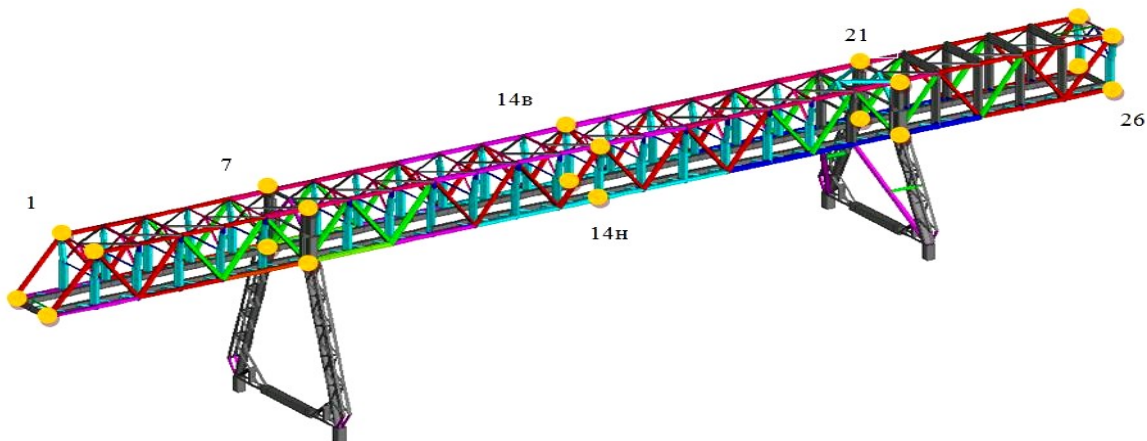


Рис. 4. Пространственная 3-D модель решетчатого перегружателя с приложенными сосредоточенными массами: $m.1 - 4 \times 8,78 \text{ т}$; $m.7 - 4 \times 39,06 \text{ т}$; $m.14в - 4 \times 37,77 \text{ т}$; $m.14н - 2 \times (37,77 \text{ т} + 63,9 \text{ т})$; $m.21 - 4 \times 41,24 \text{ т}$; $m.26 - 4 \times 10,62 \text{ т}$

А многотонная подвижная грейферная тележка располагалась при описанных ситуациях в середине пролета.

Проведем расчет собственных колебаний перегружателя при условиях, что грейферная тележка стоит в середине пролета, а обе опоры крана закреплены. На рисунке 5 приведены пять низших форм собственных колебаний (за единицу примем наибольшее перемещение амплитуды колебаний).

Инженеру-практику при обследовании металлоконструкций огромного перегружателя надо визуально осмотреть в первую очередь

основные несущие элементы сооружения массой порядка 800 т. Эта огромная работа обычно ещё усложняется кратчайшими сроками её выполнения. В данной статье делается попытка облегчения такого поиска путем применения интегральной динамической диагностики всего объекта – здесь предлагается составлять как бы атлас (альбом) динамических паспортов перегружателя, которому искусственно наносится какое-либо весьма серьезное повреждение.

В данной работе для решетчатого перегружателя устранялись поочередно

некоторые характерные стержневые несущие элементы. Составлялся теоретический динамический паспорт, который можно сравнивать с паспортом без нанесения повреждения.

Например, на рисунке 6 а представлен случай разрушения элемента верхнего пояса у гибкой опоры перегружателя. Как видно из сравнения рис. 5 а и рис. 6 б, отсутствие разрушенного элемента (по схеме рис. 6 а) привело к новым (которого не было ранее на рис. 5 а, здесь наибольшее перемещение на

единицу было по всем сечениям моста в горизонтальном направлении; закручивания рам моста относительно его продольной оси также не было) горизонтально-поперечным перемещениям моста на 0,95 единицы (за единицу примем наибольшее перемещение в этой форме (рис. 6 б по горизонтально-продольному направлению в вертикальной плоскости перегружателя). Аналогично в этой форме появилось и новое закручивание среднего сечения основного пролета моста на 0,02 единицы.

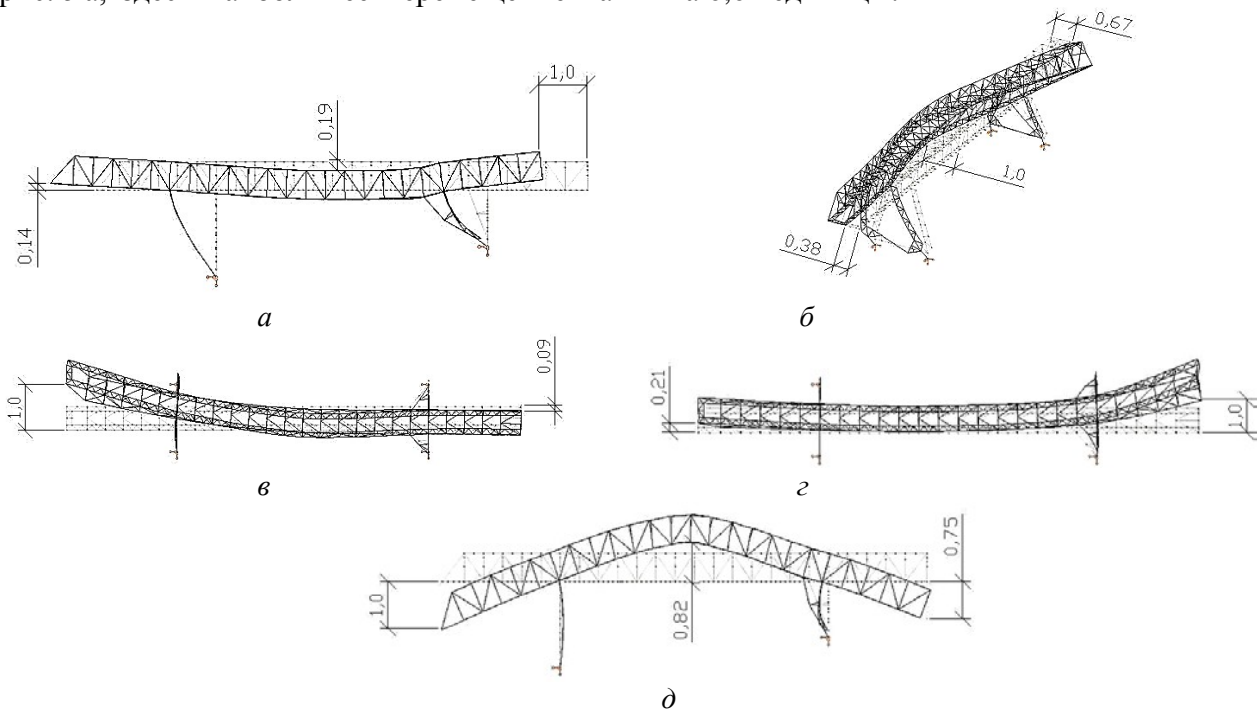
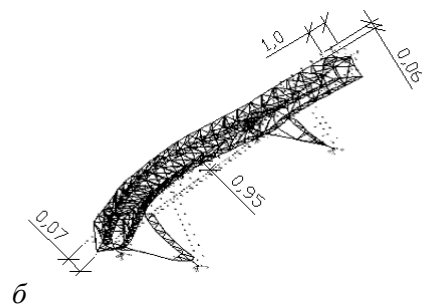
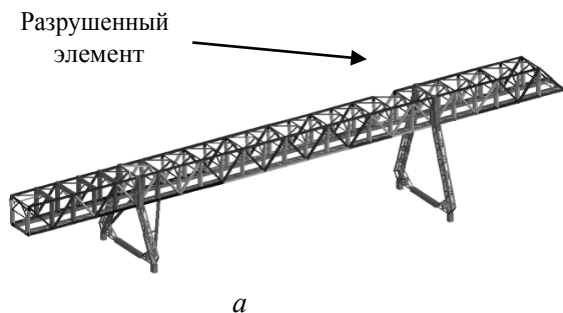


Рис. 5. Схемы собственных колебаний перегружателя: а – 0,61 Гц горизонтально-продольная в вертикальной плоскости; б – 0,62 Гц горизонтально-поперечные изгибные колебания моста с закручиванием и смещением гибкой опоры моста; в – 0,83 Гц горизонтально-поперечные колебания консоли гибкой опоры (вид сверху); г – 1,03 Гц горизонтально-поперечные колебания консоли жесткой опоры (вид сверху); д – 1,72 Гц изгибные вертикальные колебания моста

Происходит добавление к низшей собственной форме (рис. 5 а) горизонтально-

изгибных колебаний с закручиванием моста (рис. 6 б).



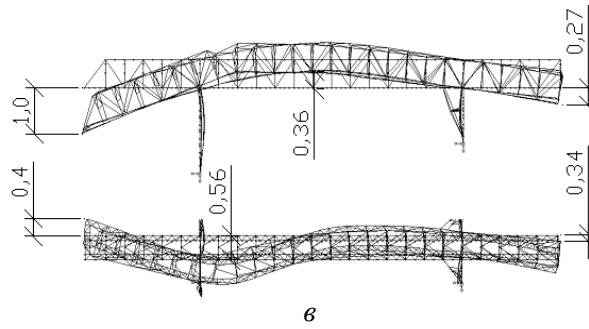


Рис. 6. Формы собственных колебаний перегружателя с поврежденным верхним поясом:
 а – пространственная модель перегружателя с разрушенным элементом верхнего пояса у гибкой опоры; б – низшая форма собственных колебаний на частоте 0,61 Гц; в – пятая форма собственных колебаний на частоте 1,43 Гц

Кроме того, при таком дефекте понижалась частота третьей формы с 0,83 Гц до 0,72 Гц (горизонтальные колебания консоли, рис. 5 в) и пятой – в вертикальной плоскости: с 1,72 Гц до 1,43 Гц (с резким добавлением местного изгиба в горизонтальной плоскости в зоне нанесения дефекта, рис. 6 в). На рисунке 7 а представлен случай разрушения элемента гибкой опоры. Реакция динамической модели перегружателя показала снижения частоты 0,61 Гц второй формы собственных колебаний (рис. 7 б) до низшей формы с частотой 0,58 Гц.

снижение частот первой (рис. 5 а) и пятой (рис. 5д) формы собственных колебаний. Таким образом составлена база данных теоретического (без повреждений) и аварийного паспорта (с присутствующими повреждениями) - таблица 1. Снижение частоты при разрушении верхнего пояса главной фермы составляет 13 % для третьей и 17 % для пятой форм собственных колебаний. При разрушении элемента гибкой опоры перегружателя происходит снижение на 6 % частоты второй формы собственных колебаний; понижение частот на 26 % и 4 % соответственно для первой и пятой форм собственных колебаний.

Следующий случай представлен разрушением элемента опорного подкоса (рис. 8). Реакция динамической модели –

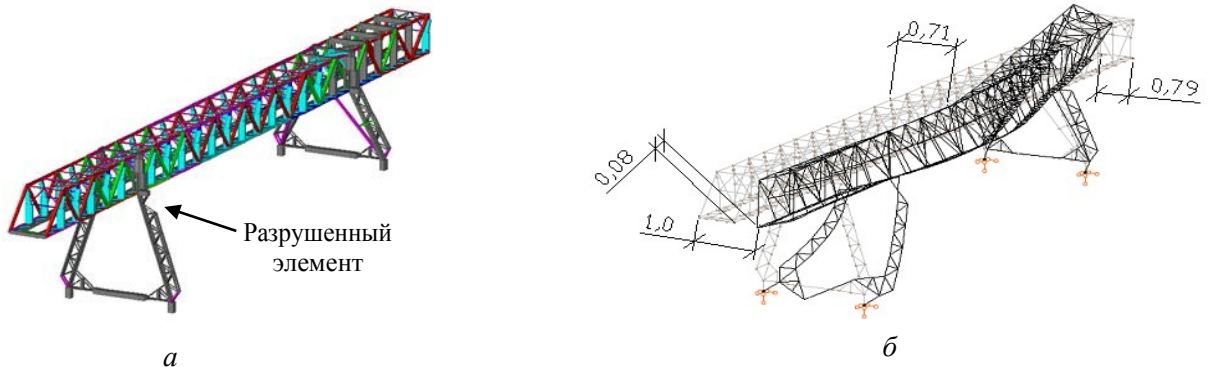


Рис. 7. Низшая форма собственных колебаний перегружателя с поврежденным элементом гибкой опоры: а – пространственная модель перегружателя с разрушенным элементом гибкой опоры; б – низшая форма горизонтально-поперечных изгибных колебаний моста с закручиванием и смещением гибкой опоры на частоте 0,58 Гц



Рис. 8. Схема перегружателя с разрушенным опорным подкосом

Таблиця 1

Составление динамического паспорта

Состояние металлоконструкций перегружателя	Динамический частотный паспорт	Указание места разрушенного элемента
Работоспособное		
Аварийное		
Работоспособное		
Аварийное		
Работоспособное		
Аварийное		

Выводы. На основании создания набора всевозможных аварийных ситуаций перегружателя можно составить атлас повреждений несущих стальных конструкций. Это позволит проводить быстрый анализ при

изменении частоты собственных колебаний и соотношения нормированных перемещений одной из форм, с последующим указанием мест и возможной причины повреждений основных несущих металлоконструкций.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Альперин В. М. Натурные испытания металлических конструкций трубчато-балочного крана-перегружателя / В. М. Альперин, О. И. Ганиза, В. И. Латыш // Материалы по металлическим конструкциям / ЦНИИпроектстальконструкция. – М., 1977. – Вып. 19. – С. 148-160.
2. Вибрации в технике : справочник в 6 т. / гл. ред. В. Н. Челомей. – М. : Машиностроение, 1978-1981.
3. Дубов А. А. Проблемы оценки остаточного ресурса стареющего оборудования / А. А. Дубов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2010. – № 2. – С. 49-54.
4. Иванов В. Н. Техническое диагностирование подъемно-транспортных машин и оборудования : монография / В. Н. Иванов. – Харьков : Индустрия, 2009. – 204 с. : ил.
5. Исследование и практика применения магнитной структуроскопии при техническом диагностировании кранов-прегружателей завода «Сибтяжмаш» / В. А. Гудошник, С. А. Губский, В. А. Попов, Ю. В. Чмырь // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2011. – № 2. – С. 46-50.
6. Крылов Н. А. Испытание конструкций сооружений / Н. А. Крылов, К. А. Глуховский. – Ленинград : Стройиздат, 1970. – 270 с.
7. Кулябко В. «Безопасность по проекту» сооружений с обеспечением комфорта людей – динамическая и виброэкологическая паспортизация и мониторинг / В. В. Кулябко, А. В. Масловский, А. В. Макаров, А. В. Банах // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування : наук.-техн. збірник / Придніпр. Держ. акад. буд-ва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 42 : Матеріали Другої міжнародної науково-практичної конференції "Безпека життєдіяльності людини як умова сталого розвитку сучасного суспільства", 14-15 червня 2007, Дніпропетровськ. – С. 166-172.
8. Методика проведення експертного обстеження (технічного діагностування кранів мостового типу) : ОМД 0120253.001-2005 / Підйомно-транспортна акад. наук України. – Харків, 2005. – 158 с.

9. Неразрушающий контроль и диагностика : справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, А. В. Ковалев [и др.] ; под ред. В. В. Клюева. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Машиностроение, 2003. – 656 с. : ил.
10. Пановко Я. Г. Введение в теорию механических колебаний / Я. Г. Пановко. – Москва : Наука, 1977. – 224 с.
11. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. Т. 3 / под ред. И. А. Биргера и Я. Г. Пановко. – Москва : Машиностроение, 1968. – 567 с.
12. Редченко В. П. Моніторинг технічного стану мостів методами пасивної вібраційної діагностики / В. П. Редченко // Вісник ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 33. – С. 223-227.
13. Универсальный программный комплекс для расчета и проектирования строительных конструкций Selena [электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://selenasys.com>.
14. Якутин Г. С. Испытание конструкций динамическими нагрузками : метод. пособие / Г. С. Якутин. – Хабаровск : ДВГУПС, 2006. – 53 с. : ил.

REFERENCES

1. Alperin V.M. Naturnye ispytania metalicheskikh konstruksiy trubchato-balochnogo kranoperegruzhatelya [Full-scale tests of metal constructions of tubular-beam crane loader]. *Materialy po metalicheskim konstruksiyam* – Materials for metal structures. *Proektstal'konstruksiya* – Project and steel construction. Moscow, 1977, pp.148-160. (in Russian).
2. Chelomey V.N. *Vibratsiya v tekhnike: spravochnik* [Vibrations in techniques: Reference book]. Moscow, Mashinostroyeniye, 1978 – 1981. (in Russian).
3. Dubov A. A. Problemy otsenki ostatochnogo resursa stareyushchego obarudavaniya [Problems of valuation of remaining life tabular beam wide span gantry]. *Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushchayushchii kontrol'*– Technical diagnostic and nondestructive testing. 1977, pp.148-160. (in Russian).
4. Ivanov V. N. *Tekhnicheskoe diagnostirovanie pod'emno-transportnykh mashyn i oborudovaniya*. [Technical diagnostics of lifting-transportation machines and equipment]. Kharkov, Industriya, 2009. 204 p. (in Russian).
5. Gudoshnik V. A., Gubskiy S. A., Popov V. A. Chmyr Yu. V. Issledovaniya i praktika primeneniya magnitnoy strukturoskopii pri tekhnicheskoy diagnostirovani kranov – peregruzhateley zavoda “Sibtyzhmash” [Research and practice of application of magnetic structure-scopy during the technical diagnostics of wide span gantries of plant "Sibtiazhmash"]. *Tekhnicheskaya duagnostika i nerazrushchayushchiy kontrol'* – Technical diagnostics and non-destructive testing. 2011. no 2. pp. 46-50. (in Russian).
6. Krylov N. A. Glukhovskiy K.A. *Ispytanie konstruksiy sooruzheniy* [Tests of constructions of buildings]. Leningrad, Stroyizdat, 1970. 270 p. (in Russian).
7. Kuliabko V. V., Maslovskiy, A. V. Makarov A. V. ‘Bezopasnost’ po proekty’ sooruzheniy s obespecheniem komforta lyudey-dinamicheskaya i vibroekologicheskaya pasportizatsiya i monitoring ["Security of project" of buildings with securing of people's comfort - dynamic and vibroecological pasportization and monitoring]. *Budivnytstvo, materialoznavstvo, mashynobuduvannya. Naukovo-tekhnichniy zbirnyk* – Construction, materials science mechanical engineering. Scientific and technical collection. The second International Scientific Conference “Safety of human life as a condition of a stable development of modern society”. Dnipropetrovsk, 2007, pp. 166-172. (in Russian).
8. *Metodyka provedennia ekspertnogo obstezhennia i tekhnichnogo diagnostuvannya kraniv mostovoggo typu* [Methods of realization of expert inspection (technical diagnostics of bridge cranes)]. OMD 0120253.001. Pidiomno-transportna academiia nauk Ukrainy –Lifting and transport Academy of sciences of Ukraine. Kharkiv, 2005.158 p. (in Ukrainian).
9. Kluev V.V Sosnin F.R. Kovalev A.V. *Nerazrushayushchii kontrol' i diagnostika*. Spravochnik [Methods of realization of expert inspection and diagnostics. Reference book]. Moscow, Masinostroenie, 2003, 656 p. (in Russian).
10. Panovko Y. G. *Vvedennia v teoriu mekhanichnykh kolibaniy*. [Introduction in the theory of mechanic oscillations]. Moscow, Nauka, 1977. 224 p. (in Russian).
11. Panovko Y. G., Birger I.A. *Prochnost, ustoihevost, kolebaniya*. *Spravochnik* [Durability, stability, oscillations. Reference book]. Moscow, Nauka, 1977. 224 p. (in Russian).
12. Redchenko V.P. Monitoring tekhnicheskogo stanu mostiv metadamy passyvnoi vibratsiinoi diagnostyky [Monitoring of technical condition of bridges with the methods of passive vibration diagnostics]. *Visnyk DNUZT. akad. V. Lazariana* – Bulletin of DNURT named after academician V. Lazarian, 2010. pp. 223-227. (in Ukrainian).
13. *Universal'ny programny kompleks dlya rascheta i proektirovaniya atroitel'nykh konstruksiy Selena* [Universal software package for calculation and design of building structures Selena]. (in Russian). Available at: <http://selenasys.com>
14. Yakutin G. S. *Ispytanie konstruksiy dinamicheskimi nagruzkami* [Tests of constructions with dynamic loadings]. Khabarovsk, DVGUPS, 2006. 53 p. (in Russian).