

Ю.Б.ГУСЕВ, ОАО „Головной специализированный конструкторско-технологический институт”, г. Мариуполь,
А.Ю. ТАНЧЕНКО, НТУ „ХПИ”

К ВОПРОСУ О ТЕХНИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ КРАНОВ-ПЕРЕГРУЖАТЕЛЕЙ

В статті розглянуто питання узагальнення даних експериментальних досліджень технічного стану кранів-перенавантажувачів.

The question of generalization of experimental researches data of technical state of loading cranes is considered in the paper.

Введение. В статьях [1-4] подробно описана методика проведения диагностирования металлоконструкции изделий класса „мостовой грейферный перегружатель” и приведен перечень производимых при этом измерений. Изучив определенный набор результатов исследований, можно заключить, что реальный перечень измерений может существенно отличаться от запланированного полнотой, подробностью и количеством измерений. Так, например, могут отсутствовать данные об осмотре трещин; нет четко структурированной карты замера толщин; может использоваться различное количество тензодатчиков и мест их крепления; недостаточное исследование динамической нагрузки и т.д. Таким образом, целью данной статьи является наработка на основании набора обследований общих тенденций в отношении оценки состояния работоспособности конструкции.

Проблемы, возникающие на этапе проведения исследования. *Визуальный осмотр на наличие и характер трещин.* Ясно, что подобный вид отчета свидетельствует о явном наличии трещин и может отсутствовать по разным причинам. Тем не менее, подобный вид данных несет в себе колоссальную информацию о конструкции. Особенно в случае, если возможно проследить за ним в хронологическом порядке: удалось ли остановить развитие трещин, появляются ли новые, изучить характер развития старых и т.п. Учет возможности появления трещин в определенной степени может быть учтен на этапе проектирования, и, таким образом, можем прийти к равнопрочной конструкции, главным достоинством которой является разумность и сбалансированность, а одной из основных особенностей – высокая нагрузочная способность и срок эксплуатации.

При нагружении конструкции пробным грузом возникает проблема *количества точек нагружения*. Однако есть минимальный их набор, менее которого проводить исследования просто нецелесообразно. Кроме того, существует проблема количества тензодатчиков и схем их расположения (зависит от количества точек измерения), их формирования. В некоторых случаях для наглядности за нулевые значения принимают значения напряжений в тензодатчиках над одной из опор (ног крана). При этом заметим, что конструкция подобного

класса несимметрична и имеет „жесткую” и „гибкую” (шарнирную) опоры, поэтому и получают значения относительно „нулевых” значений.

Метод акустической эмиссии (АЭ), позволяющий с высокой степенью достоверности определить толщину листов и наличие трещин, а следовательно, и их коррозионный износ – то, без чего нельзя представить ни одно исследование металлоконструкции подобного типа. Накопление подобных исследований в виде статистических данных чрезвычайно полезно, поскольку позволяет не только оценить текущее состояние конструкции, но и спрогнозировать дальнейшие условия эксплуатации (не секрет, что утонение листов и /или/ появление трещин сильно влияет на напряженно-деформированное состояние (НДС) металлоконструкции, снижая ее нагрузочную способность). Причем может измениться и сам характер нагружения: вследствие перераспределения жесткостных характеристик может измениться не только количественный характер картины НДС, но и качественный.

Следовательно, имеет смысл создать параметрическую модель конструкции, которая способна учитывать многие факторы, в том числе и коррозионный износ, что позволит не только фиксировать факт утонения, но и прогнозировать его дальнейший характер (который не всегда очевиден, поскольку и сам в общем случае зависит от НДС конструкции). Далее будут приведены ряд объектов испытания, что позволяет наглядно сравнить интерпретацию „стандартного” набора измерений.

Объекты испытаний. Объект испытаний № 1. Проводится исследование технического состояния металлоконструкций крана-перегрузателя г.п. 32 т аглофабрики меткомбината им. Ильича, г. Мариуполь. Регистрационный номер: 077376, заводской номер: 814, обследован в г. Мариуполе в 1994. На рис. 1 представлен общий вид перегружателя, а в табл. 1 – его технические характеристики (ТХ). На рис. 2 представлена графическая интерпретация визуального осмотра конструкции на наличие трещин (кран № 077376).

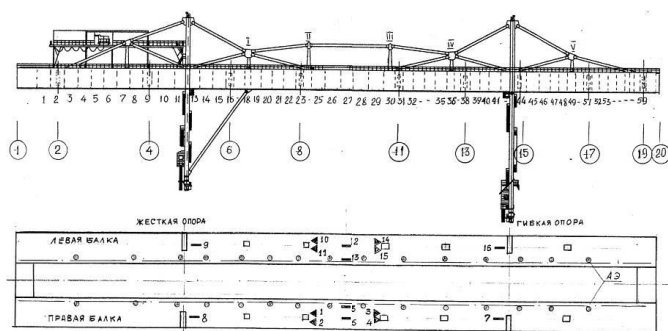


Рис. 1. Кран-перегрузатель грейферный: расположение пьезопреобразователей АЭ и тензорезисторов на мосту крана-перегрузателя РГП-2, рег. №077376;

1...59 – номера отсеков; ⊗ – пьезопреобразователь АЭ; ▽ – тензорезисторы;

⊖ – ⊕ – мостовые балки между осями; I – V – шпренгельные стойки

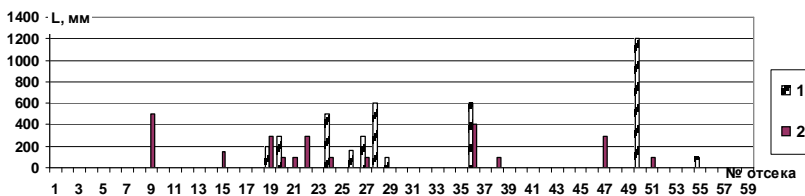


Рис. 2. Наличие и длина трещин в отсеках балок (1 – правой, 2 – левой)

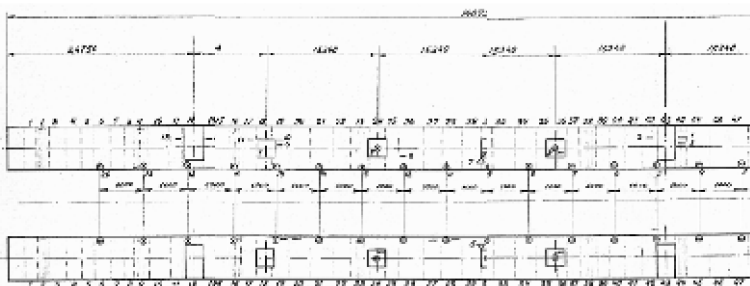


Рис. 3. Схема расположения датчиков АЭ и тензорезисторов на продольных мостовых балках (вид сверху):
 ~ – трещины; 1...59 – номера отсеков; ○ – датчики АЭ; ▽ – тензорезисторы;
 I...V – шпренгельные опоры

Таблица 1

Техническая характеристика крана-перегрузателя № 077376

Тип крана	Кран-перегрузатель, грейферный
Транспортируемый материал	руда, кокс, известняк
Плотность в навалку	0,8...2,6 т/м ³
Производительность	670 т/ч
Скорость передвижения крана	30 м/мин (0,5 м/с)
Скорость передвижения тележки	200 м/мин (3,3 м/с)
Грузоподъемность тележки на тросах	32 тс (320 кН)
Емкость грейфера	6,7 м ³
Скорость спуска грейфера	90 м/мин (1,5 м/с)
Скорость подъема грейфера	80 м/мин (1,3 м/с)
Время замыкания грейфера	8,5 с
Максимальная высота подъема	32 м
Пролет моста	76,2 м
Длина моста	140,75 м
Минимальная рабочая температура	-35°С
Режим работы	весьма тяжёлый
Завод-изготовитель	ФЭБ, ФТА, г.Лейпциг, Германия
Год изготовления	1970
Год пуска в эксплуатацию	1972

Таблица 2

**Положение тележки с пробным грузом
при испытании крана № 077376
на статическое нагружение**

№ положения	Местонахождение тележки
1	Ремонтная консоль
2	Над жесткой опорой
3	У первой вертикальной стойки
4	У второй вертикальной стойки
5	Средина пролета моста
6	Средина пролета моста
7	У третьей вертикальной стойки
8	У четвертой вертикальной стойки
9	Над шарнирной опорой
10	У пятой вертикальной стойки
11	Свободная консоль

На рис. 4 приведены величины напряжений в 12-ти тензодатчиках (схема размещения приведена на рис. 3) для 11-ти статических положений тележки (табл. 2) под действием пробной нагрузки $P = 1,1$ ном. (325 кН) при обследовании крана № 077376. За нулевой отсчет приняты показания тензорезисторов при опущенном на землю грейфере с ослабленными канатами и тележкой, находящейся над *гибкой* опорой. На рис. 5 приведены величины напряжений в 12-ти тензодатчиках для 11-ти

статических положений тележки по действию пробной нагрузки $P = 1,25$ ном. (40т) при обследовании крана № 077376. Здесь за нулевой отсчет приняты показания тензорезисторов при опущенном на землю грейфере с ослабленными канатами и тележкой, находящейся над *гибкой* опорой.

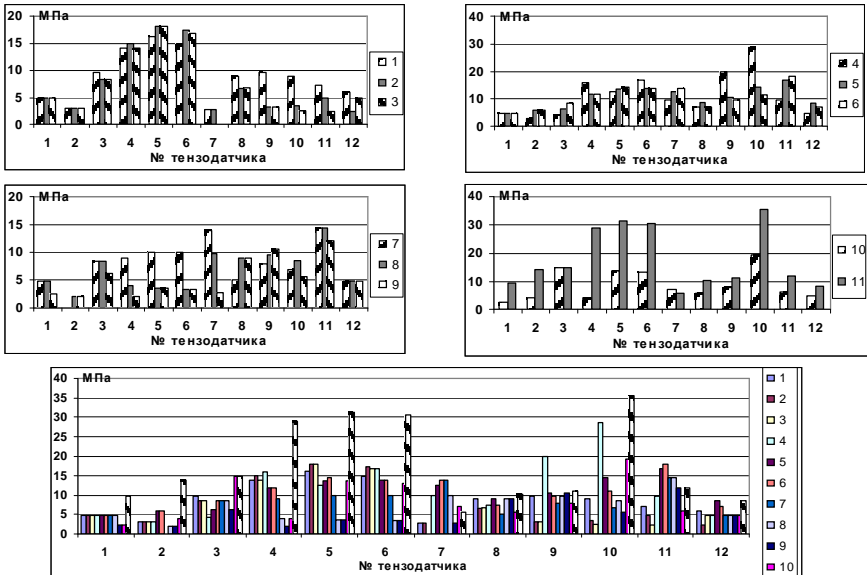


Рис. 4. Напряжения в тензодатчиках (схема расположения – на рис. 1) под действием *статической* пробной нагрузки $P = 1,1$ ном. (325 кН) при различных 11-ти (см. табл. 2) положениях тележки

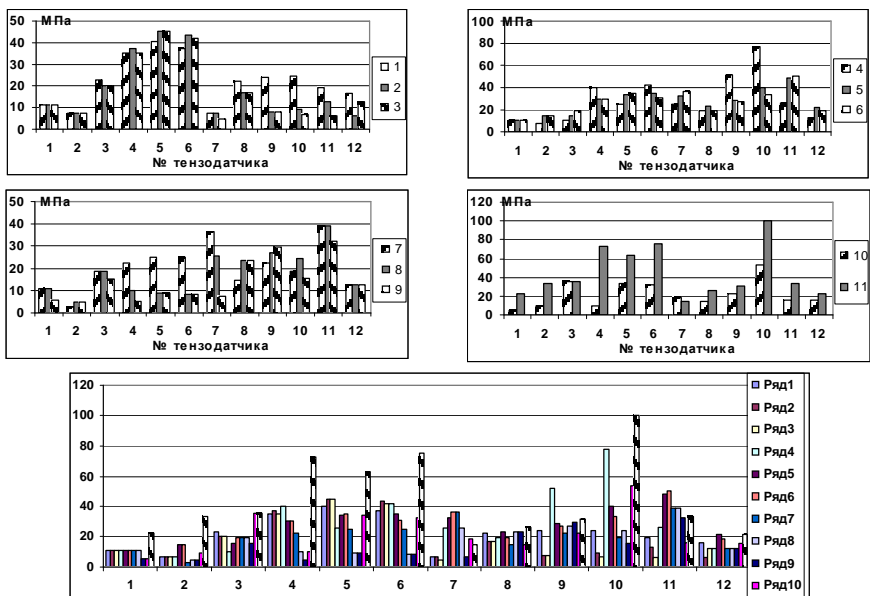


Рис. 5. Напряжения в тензодатчиках (схема расположения – на рис. 1) под действием *статической* пробной нагрузки Р 1,25 ном. (400 кН) при различных 11-ти (см. табл. 2) положениях тележки

При динамическом нагружении тележка с грузом передвигалась от консоли за одной из опор по мосту в сторону, противоположную консоли. Результаты исследований приведены на рис. 6. Измерение толщины листов проводилось на правой и левой продольных балках толщиномером УТ-93П методом неразрушающего контроля в соответствии с ГОСТ 19903. Результаты обследования сведены в графический вид на рис. 7, 8.



Рис. 6. Напряжения в тензодатчиках (см. схема расположения на рис. 1) под действием *динамической* пробной нагрузки Р = 1,1 ном. (325 кН)

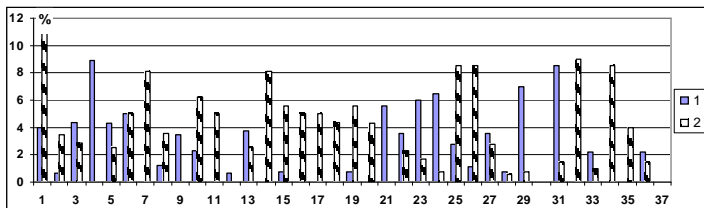


Рис. 7. Степень коррозионного износа листов балок, % (1 – правой, 2 – левой)

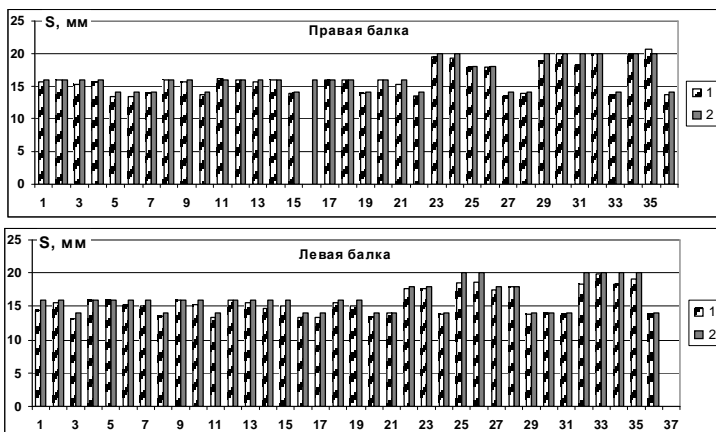


Рис. 8. Толщины листов: 1 – измеренные, 2 – согласно чертежам

Объект испытаний № 2. Проведено исследование технического состояния металлоконструкций крана-перегрузателя г.п. 32 т аглофабрики меткомбината им. Ильича, г. Мариуполь. Регистрационный номер 077898, заводской номер 830, обследован в г. Мариуполе в 1994 г., ТХ которого приведены в табл. 3.

Таблица 3

Техническая характеристика крана-перегрузателя № 077898

Тип крана	Кран-перегрузатель, грейферный
Транспортируемый материал	руда, кокс, известняк
Плотность в навалку	0,8...2,6 т/м ³
Среднее количество подачи моста	670 т/ч
Производительность	30 м/мин (0,5 м/с)
Скорость передвижения тележки	200 м/мин (3,3 м/с)
Грузоподъемность тележки на тросах	32 тс (320 кН)
Емкость грейфера	6,7 м ³
Скорость спуска грейфера	90 м/мин (1,5 м/с)
Скорость подъема грейфера	80 м/мин (1,3 м/с)
Время замыкания грейфера	8,5 с
Максимальная высота подъема	32 м
Пролет моста	76,2 м
Длина моста	140,75 м
Минимальная рабочая температура	-35°C
Режим работы	весьма тяжёлый
Завод-изготовитель	ФЭБ, ФТА, г. Лейпциг, Германия
Год изготовления	1970
Год пуска в эксплуатацию	1975

Обследование крана № 077898 выявило явное наличие трещин, причем их расположение носит довольно локальный характер (рис. 9). Видим анало-

гичное использование одиннадцати точек измерения напряжений при испытании на статическое нагружение, хотя и немного по-другому обозначенных (табл. 4). Сути это ни коим образом, естественно, не меняет, хотя на это надо обязательно обращать внимание при сопоставлении результатов различных исследований между собой.

Результаты по исследованию крана под действием статической нагрузки, превышающей номинальную, приведены на рис. 11, 12. На

рис. 11 представлены величины напряжений в 12-ти тензодатчиках (схема размещения приведена на рис. 10) для 11-ти статических положений тележки (табл. 4) под действием пробной нагрузки $P=1,1$ ном. (325 кН) при обследовании крана № 077898, а на рис.12 – $P = 1,25$ ном. (400 кН) (за нулевой отсчет на обоих рисунках приняты показания тензорезисторов при опущенном на землю грейфере с ослабленными канатами и тележкой, находящейся над *гибкой* опорой).

Таблица 4

Положение тележки с пробным грузом при испытании крана № 077898 на статическое нагружение

№ положения	Местонахождение тележки
1	Ремонтная консоль
2	Над жесткой опорой
3	У первой вертикальной стойки
4	У второй вертикальной стойки
5	Середина пролета моста
6	Середина пролета моста
7	У третьей вертикальной стойки
8	У четвертой вертикальной стойки
9	Над шарнирной опорой
10	У пятой вертикальной стойки
11	Свободная консоль

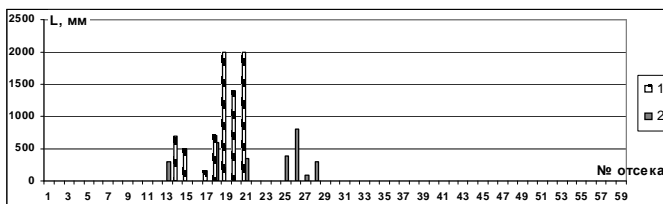


Рис. 9. Наличие и длина трещин в отсеках балок: 1 – правой, 2 – левой

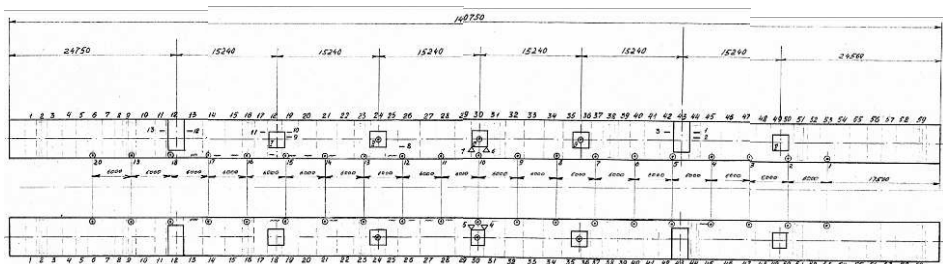


Рис. 10. Схема расположения датчиков АЭ и тензорезисторов на продольных мостовых балках (вид сверху): ~ – трещины; 1...59 – номера отсеков; ○ – датчики АЭ; ▽ – тензорезисторы; I...V – шпренгельные опоры

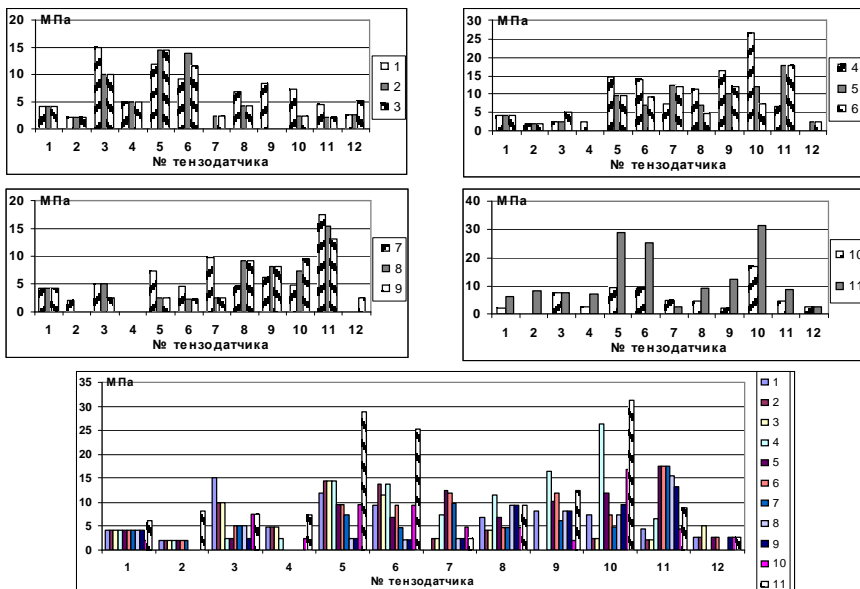


Рис. 11. Напряжения в тензодатчиках (схема расположения на рис. 9) под действием *статической* пробной нагрузки $P = 1,1$ ном. (325 кН) при различных 11-ти (см. табл. 3) положениях тележки

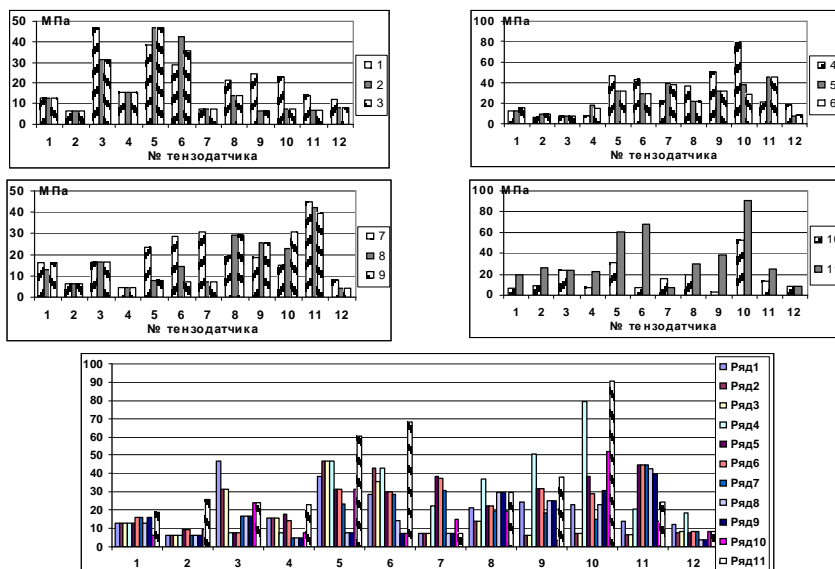


Рис. 12. Напряжения в тензодатчиках (схема расположения на рис. 9) под действием *статической* пробной нагрузки $P = 1,25$ ном. (400 кН) при различных 11-ти (см. табл. 3) положениях тележки

Результаты обследования состояния крана путем динамического его нагружения приведены на рис. 13. Результаты обследования крана-перегрузчика № 077898 методом акустической эмиссии показаны в графическом виде на рис. 14, 15.

Рис. 13. Напряжения в тензодатчиках (схема расположения – на рис. 1) под действием динамической пробной нагрузки $P = 1,1$ ном. (32,5т)

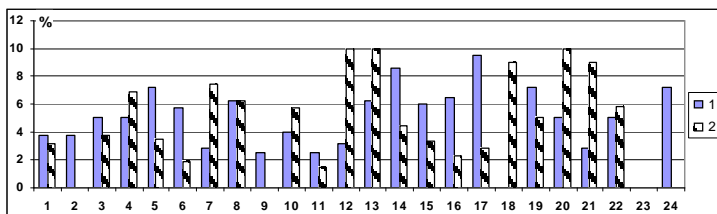
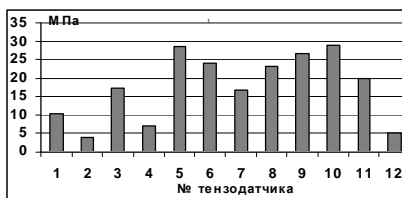


Рис. 14. Степень коррозионного износа листов балок, % (1 – правой, 2 – левой)

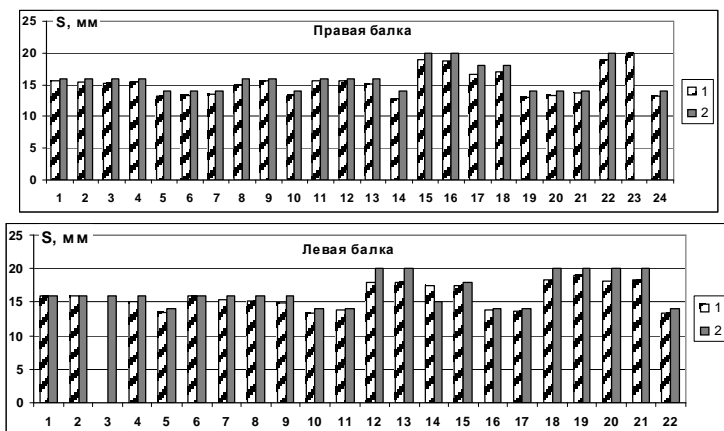


Рис. 15. Толщины листов (1 – измеренные, 2 – согласно чертежам)

Объект испытаний № 3. Проведено исследование технического состояния металлоконструкции крана-перегрузчика цеха углеподготовки Баглейского КХЗ г. Днепродзержинска (рис. 16), ТХ которого представлены в табл. 5. Регистрационный номер 68983 „М”, заводской номер 2343, обследован в г. Днепродзержинске в 1996 г. Согласно результатам обследования, в данном случае также имеет место факт наличия трещин (рис. 17). Проведен комплекс акустическо-эмиссионных исследований толщин грейферного перегружателя № 68983. Графическое представление результатов на рис. 18, 19. В данном случае было произведено обследование износа нижней части опор

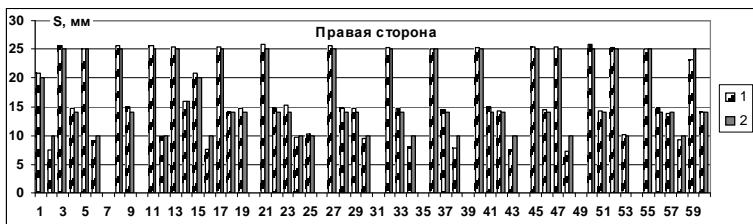


Рис.18. Толщины листов: 1 – измеренные, 2 – согласно чертежам

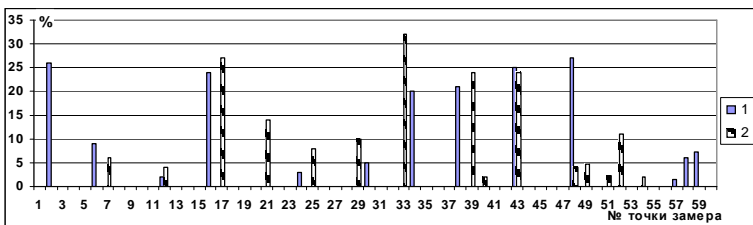


Рис.19. Степень коррозионного износа листов балок, % (1 – правой, 2 – левой)

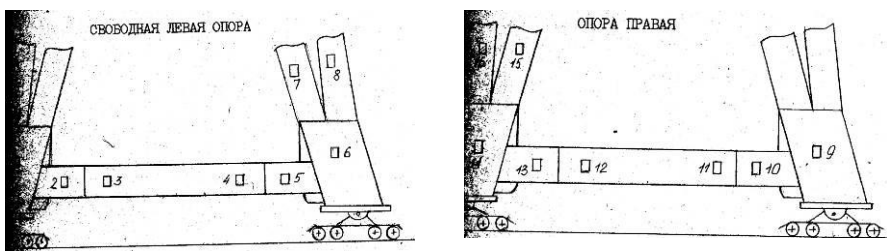
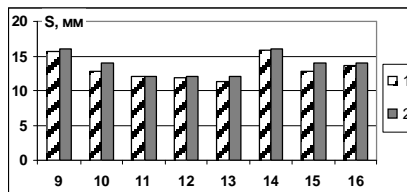
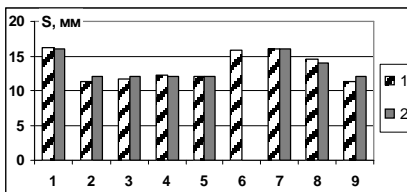


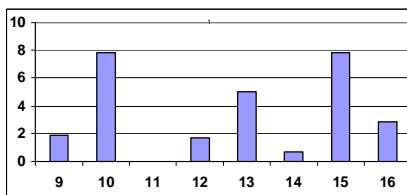
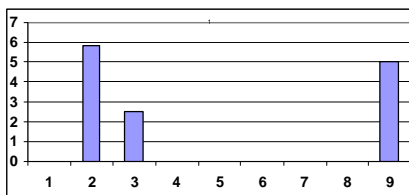
Рис. 20. Измерение толщины стенки металла в опорах (расположение точек замера)



Левая «свободная» опора

Правая опора

Рис. 21. Толщины листов: 1 – измеренные, 2 – согласно чертежам



Левая „свободная” опора

Правая опора

Рис. 22. Степень коррозионного износа, %

Объект испытаний № 4. Проведено исследование технического состояния металлоконструкций крана-перегрузателя г.п. 32 т аглофабрики меткомбината им. Ильича, г. Мариуполь, ТХ которого приведены в табл. 6, регистрационный номер № 077376, заводской номер – 814, обследован в г. Мариуполе в 2000 г.

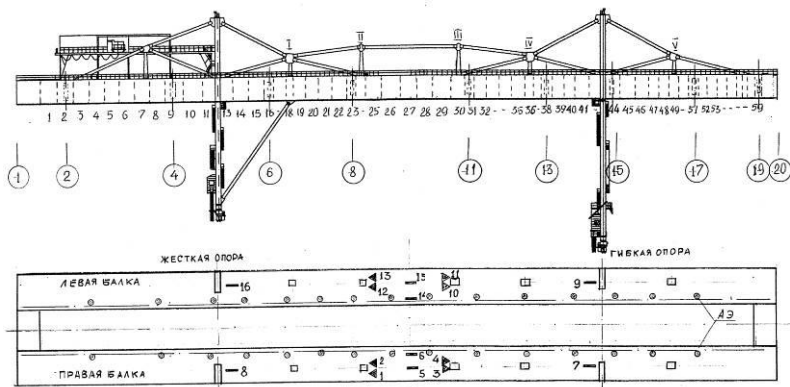
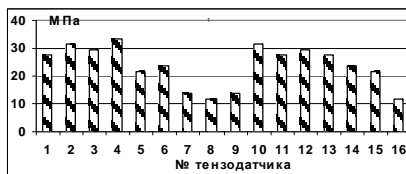
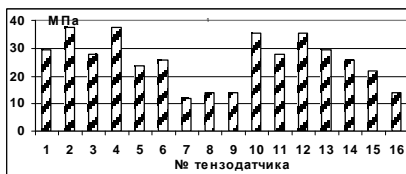


Рис. 23. Кран перегрузатель грейферный: расположение пьезопреобразователей АЭ и тензорезисторов на мосту крана-перегрузателя рег. №077376;
 1...59 – номера отсеков; \odot – пьезопреобразователь АЭ; ∇ – тензорезисторы;
 ① – ② – мостовые балки между осями; I – V – шпренгельные стойки



над гибкой опорой

над жесткой опорой

Середина пролета моста

Рис. 24. Напряжения в тензодатчиках (схема расположения – на рис. 23) под действием статической пробной нагрузки $P = 1,1$ ном. (325 кН)

Таблица 6
Техническая характеристика крана рег. №077376

Изготовитель	ФЕБ, ФТА, г. Лейпциг, Германия
Дата изготовления	1970 г.
Дата ввода в эксплуатацию	1972 г.
Грузоподъемность	32 тс.
Емкость грейфера:	6,7 мЗ
Скорость передвижения крана	30 м/мин
Скорость передвижения тележки	200 м/мин
максимальная высота подъема	32 м
Пролет моста	76,2 м
Длина моста	140,75 м
Минимальная рабочая температура	- 35°С
Режим работы	весьма тяжелый
Материал	Сталь MST 38-3

Значения напряжений в тензодатчиках (схему расположения см. рис. 23) при статическом нагружении приведены для середины пролета мостового крана (рис. 24). Неогъемлемая часть обследования – измерение толщин АЭ методом и вычисление степени износа, результаты обследования приведены на

рис. 25, 26.

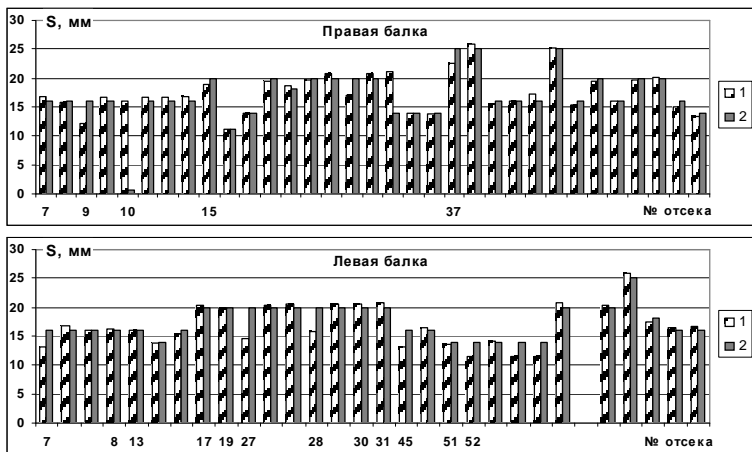


Рис.25. Толщины листов (1 – измеренные, 2 – согласно чертежам)

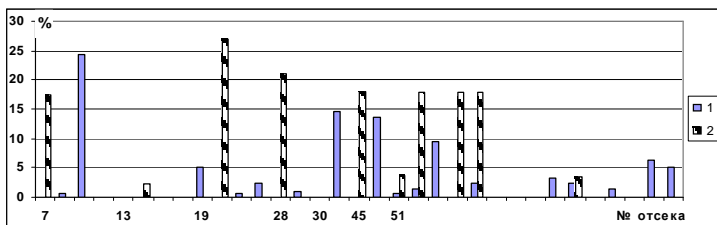


Рис. 26. Степень коррозионного износа листов балок, % (1 – правой, 2 – левой)

Объект испытаний № 5.

Проведено исследование технического состояния металлоконструкции крана-перегрузателя РГП-2 (рис. 27), рег.№ 077898 цеха шихтоподготовки аглофабрики ОАО „ММК им. Ильича”, ТХ которого приведена в табл. 7, обследован в г. Мариуполе в 2001 г. Результаты тензометрических испытаний при статическом нагружении приведены на рис. 28 (здесь на рис.28, а за нулевой отсчет приняты показания тензорезисторов при опущенном на землю грейфере с ослабленными канатами и тележкой, находящейся над жесткой опорой, а в на рис.28, б – показания тензорезисторов при опущенном на землю грейфере с ослабленными канатами и тележкой, находящейся над гибкой опорой. Акустико-эмиссионные результаты обследования крана № 077898 приведены на рис. 29, 30).

Таблица 7

Техническая характеристика крана РГП-2, рег. № 077898

Регистрационный номер	077898
Заводской номер	830
Изготовитель	ФЕБ ФТА, г. Лейпциг
Дата изготовления	1970 г.
Дата ввода в эксплуата-	1975 г.
Грузоподъемность	32 т (320 кН)
Емкость грейфера	6,7 м ³
Скорость передвижения крана	30 м/мин (0,5 м/с)
Скорость передвижения тележки	200 м/мин (3,3 м/с)
Максимальная высота подъема	32 м
Пролет моста	76,2 м
Длина моста	140,75 м
Минимальная рабочая температура	-35°С
Режим работы	весьма тяжелый
Материал	Сталь МSt 38-3

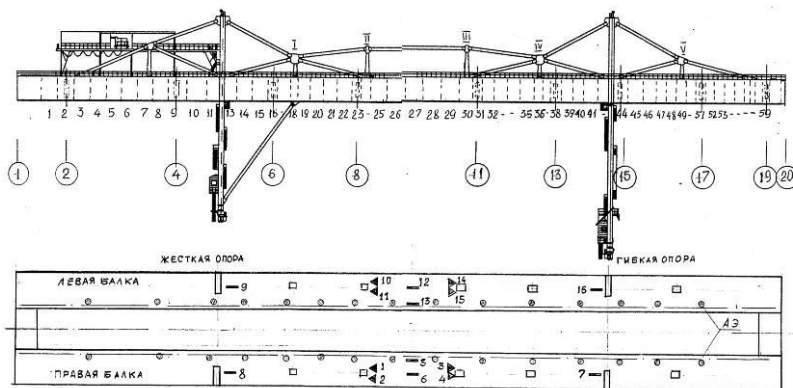
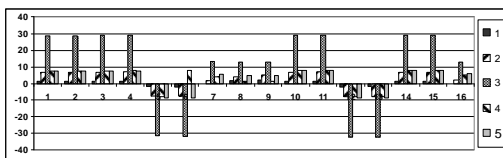


Рис. 27. Кран перегруватель грейферный: расположение пьезопреобразователей АЭ и тензорезисторов на мосту крана-перегрузателя рег. № 077898;

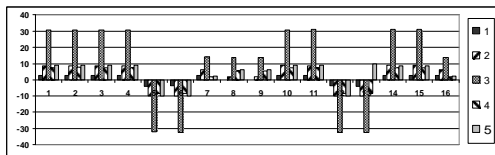
1...59 – номера отсеков; ⊗ – пьезопреобразователь АЭ; ▽ – тензорезисторы;
 ① – ② – мостовые балки между осями; I – V – шпренгельные стойки

Таблица 8
Положение тележки с пробным грузом

№ положения тележки	Место нахождения тележки
	тележка с грузом:
1	над жесткой опорой
2	на консоли за жесткой опорой
3	в центре пролета
4	над шарнирной опорой
5	на консоли за шарнирной опорой



а



б

Рис. 28. Нагружение статической испытательной нагрузкой 32 тс при различных положениях тележки (табл.8, сводный график, положение №1 - 5)

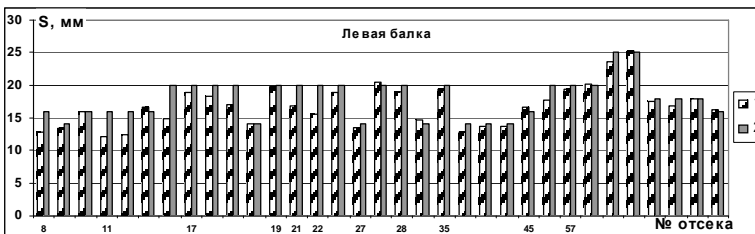
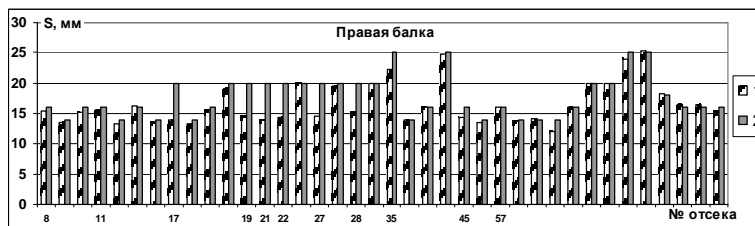


Рис. 29. Толщины листов (1 – измеренные, 2 – согласно чертежам)

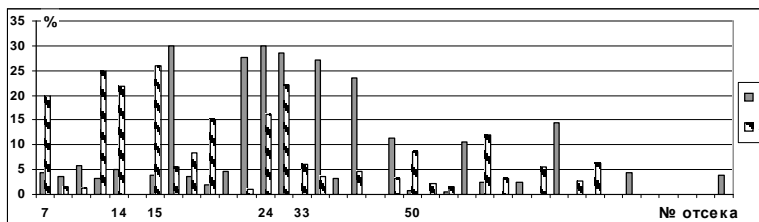


Рис. 30. Степень коррозионного износа листов балок, % (1 – правой, 2 – левой)

Объект испытаний №

6. Проведено исследование технического состояния металлоконструкции крана-перегрузателя рег. № 9174 (рис. 31), ТХ которого приведена в табл. 9, находящегося в эксплуатации цеха углеподготовки №1, ОАО „Алчевск-кокс”, г. Алчевск, обследование проведено в г. Алчевске в 2004 г. В данном случае в наличии имеем только данные по измерению толщин (рис. 33, 34). Этого в принципе достаточно для проведения расчета измененного состояния НДС, однако утрачивается возможность контролировать и осуществлять обратную связь в виде качественно других способов обследования.

Таблица 9
Техническая характеристика крана 32 тс х 60 м

Наименование объекта	кран-перегрузатель грейферный
Регистрационный номер	9174
Изготовитель	ТА KRAF, г. Лейпциг, Германия
Дата изготовления	1971 г.
Дата пуска в эксплуатацию	1978 г.
Грузоподъемность, т	16
Емкость грейфера, м ³	8
Режим работы крана	тяжелый
Длина моста, м	108,7
Пролет моста между опорами, м	60
Материал	Сталь МСТ 38

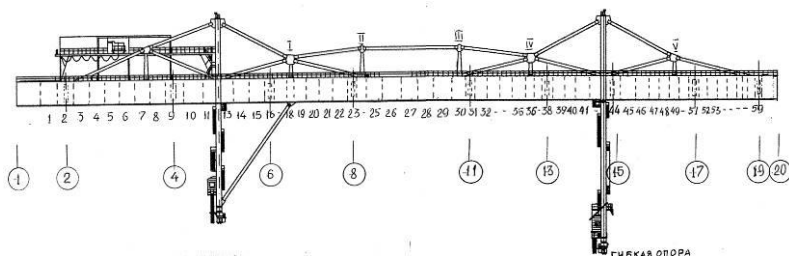


Рис. 31. Схема элементов металлоконструкции крана - перегрузателя



Рис. 32. Схема расположения отсеков по мостовым балкам и мест контроля толщин металла

Заклучение. Результаты обследования металлоконструкций подобного типа несут в себе разностороннюю информацию о состоянии конструкции и могут быть использованы как исходные данные для анализа сложного НДС. Таким образом, получаем механизм контроля работоспособности конструк-

ции, который связывает воедино разносторонние виды обследования. Кроме того, получаем возможность прогнозировать дальнейшую работоспособность объекта без привлечения математического аппарата теории вероятности (в частности, относительно проблемы продления ресурса) путем варьирования параметров толщин, осуществляя периодические обследования конструкции (которые производятся в любом случае).

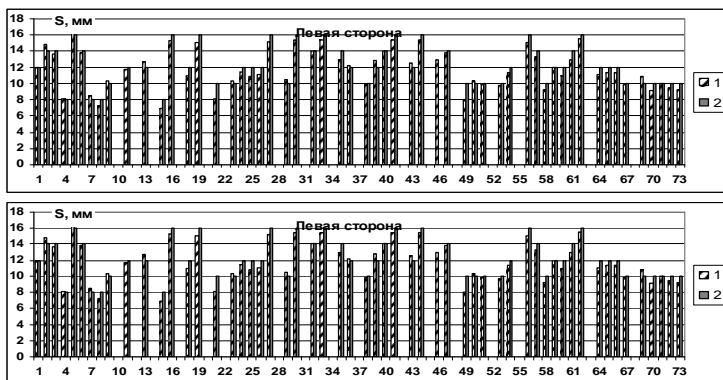


Рис. 33. Толщины листов (1 – измеренные, 2 – согласно чертежам)

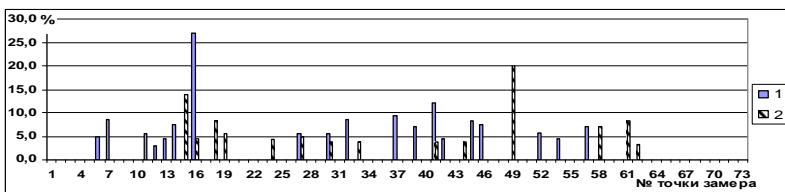


Рис. 34. Степень коррозионного износа листов, % (1 – правой, 2 – левой)

В качестве направлений дальнейших исследований можно выделить: обобщение полученных экспериментальных данных; построение на их основе комплексной математической модели потери несущей способности мостовых кранов-перегрузателей; прогнозирование технических характеристик и синтез параметров кранов на этапе проектирования по критерию сохранения несущей способности конструкции в течение всего срока эксплуатации.

Список литературы: 1. Чепурной А.Д., Глинин Г.П., Гусев Ю.Б., Пеклич М.М., Барчан Е.Н., Ткачук Н.А. Расчетно-экспериментальный метод определения параметров элементов машиностроительных конструкций // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып. „Машиноведение и САПР”. – 2005. – №53. – С.162-176. 2. Глинин Г.П., Гусев Ю.Б., Головенко В.И., Орлов Е.А. Методы автоматизованого анализу міцності та жорсткості просторових конструкцій // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып. „Машиноведение и САПР”. – 2006. – №3. – С.58-69. 3. Гусев Ю.Б. К вопросу об исследовании напряженно-деформированного состояния металлоконструкции перегружателя ПМГ-20 // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып. „Машиноведение и САПР”. – 2006. – №24. – С.70-75. 4. Гусев Ю.Б. К вопросу о диагностировании состояния металлоконструкции углеперегрузателя // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып. „Динамика и прочность машин”. – 2006. – №3. – С.58-69.

Поступила в редколлегию 21.12.07