

УДК 621.875.1

А.О. Немчук, канд. техн. наук, доц.,
М. А. Стариков, магистр,
Одес. нац. морской ун-т

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ КОЗЛОВОГО КРАНА

О.О. Немчук, М.А. Стариков. **Визначення залишкового ресурсу металоко́нструкції козлового крана.** Проведено розрахунки напружено-деформованого стану металевої ко́нструкції козлового крана за допомогою методу кінцевих елементів. Результати розрахунку порівнювалися з результатами натурного експерименту. Визначено залишковий ресурс металевої ко́нструкції крана.

А.О. Немчук, М.А. Стариков. **Определение остаточного ресурса металлоконструкции козлового крана.** Проведены расчеты напряженно-деформированного состояния металлоконструкции козлового крана с помощью метода конечных элементов. Приводятся результаты сравнения расчетных данных с данными, полученными экспериментальным путем. Определен остаточный ресурс металлоконструкции крана.

A.O. Nemchuk, M.A. Starykov. **Estimation of residual resource of gantry crane's metalware.** The calculations of gantry crane's metalware stressed-deformed state are made using finite elements method. The results of comparing the calculated data with the experimentally obtained data are presented. The residual resource of the gantry crane's metalware was determined.

В настоящее время в Украине сложилась критическая ситуация с парком перегрузочных машин. Большинство из них отработали свой нормативный ресурс, но при этом не выводятся из эксплуатации. Плановые замены грузоподъемных машин с истекшим сроком службы на новые прекратились около 15 лет назад. В течение всего этого времени выполнялись только текущие и капитальные ремонты грузоподъемных машин для поддержания их рабочего состояния. При этом, продолжение необоснованной эксплуатации кранов с истекшим сроком службы часто приводит к тяжелым последствиям, примерами которых могут служить аварии в Херсонском, Белгород-Днестровском, Запорожском и других портах. Техническое переоснащение парка подъемно-транспортных машин портов — сложная задача, решение которой требует больших капиталовложений и поэтапного решения. Каждая грузоподъемная машина имеет свой остаточный ресурс благодаря индивидуальному режиму работы, запасам прочности, заложенным при ее проектировании, и пр. Следовательно, для дальнейшей эксплуатации необходимо разделить грузоподъемные машины с истекшим сроком службы на две категории: со значительным остаточным ресурсом и практически исчерпавшими остаточный ресурс [1]. Машины первой группы могут эксплуатироваться в течение назначенного экспертами срока, а машины второй группы должны быть немедленно выведены из эксплуатации.

Поэтому преследовалась цель разработать методику оценки остаточного ресурса металлоконструкции кранов козлового и мостового типов для принятия решения о целесообразности их дальнейшей эксплуатации. В качестве объекта исследования выбран козловой кран КК 32-25-8,5-5. По данным ЗАО “Ильичевсквнештранс” кран изначально был смонтирован на предприятии и в течение всего срока службы использовался для погрузки контейнеров на железнодорожные платформы и автомашины. Кран эксплуатировался на открытой площадке. Для дальнейшего проведения работ получена полная информация о нагрузках на металлоконструкцию крана за весь период его работы. Часть своего срока службы кран работал при предельно допустимом состоянии механизмов и подкрановых путей, что было причиной воздействия на металлоконструкцию дополнительных усилий.

В процессе обследования крана не выявлено недопустимых пластических и коррозионных повреждений металлоконструкции. Поэтому в качестве основного критерия оценки остаточного ресурса козлового крана КК 32-25-8,5-5 принят критерий накопления усталостных повреждений в металле наиболее напряженных узлов металлоконструкции.

Работа выполнялась в три этапа. На первом этапе создана математическая модель металлоконструкции крана (рис. 1) и произведен ее расчет на прочность для двух расчетных случаев. Для расчета использовался лицензированный программный комплекс RoboBAT, в основе которого лежит метод конечных элементов [2]. В первом расчетном случае принималось, что грузовая тележка находится над одной из консолей в крайнем положении (рис. 2).

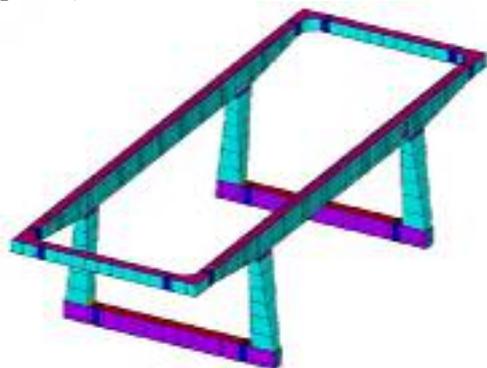


Рис. 1. Трехмерная модель металлоконструкции моста

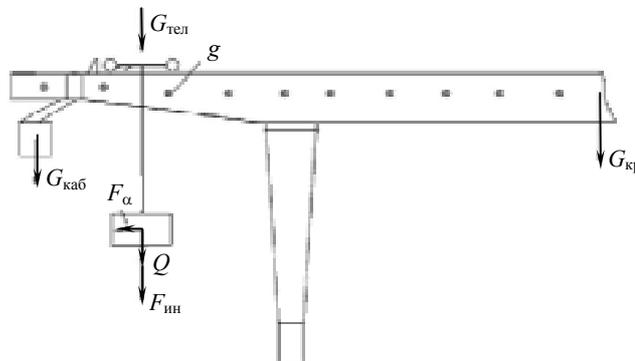


Рис. 2. Расчетная схема нагрузок на металлоконструкцию крана

Подъем груза осуществлялся с наибольшим допустимым ускорением, грузовые канаты отклонялись от вертикали на максимально допустимый угол. Учитывались собственный вес металлоконструкции, силы от перекоса моста, вес кабины оператора, давление ветра на металлоконструкцию и груз.

Во втором расчетном случае тележка находилась в середине пролета моста [3]. На металлоконструкцию крана действовали силы, аналогичные первому расчетному случаю.

Анализ показал, что наиболее нагруженными узлами металлоконструкции крана являются узлы соединения ног и главных пролетных балок моста, а так же ног со стяжными балками.

На втором этапе работы проводился натурный эксперимент по измерению напряжений в металлоконструкции с помощью тензометрических датчиков, которые наклеивались в опасных местах — действия наибольших напряжений, выявленных расчетом, по мостовой схеме. Схема состояла из активного, компенсационного и двух балластных тензометрических датчиков. После монтажа тензометрических датчиков производилась их защита от влаги.

В эксперименте использовалась тензометрическая станция на основе аналого-цифрового преобразователя E14-140 с частотой дискретизации 100 кГц. Максимально возможное одновременно используемое количество каналов — 16/32 (в зависимости от схемы соединения).

Запись результатов тензометрирования производилась в течение цикла работы крана: подъем контейнера в крайнем положении тележки на консоли, передвижение тележки с грузом на середину пролета крана, опускание груза и обратный холостой ход. Обработка результатов натурального эксперимента проводилась согласно ГОСТ 25.101-83 по “методу дождя” (рис. 3).

В результате сравнения расчета и данных, полученных экспериментальным путем, было выявлено, что напряжения, действующие в металлоконструкции крана в процессе его эксплуатации, превышают на 65,6 % расчетные напряжения. Это свидетельствует об эксплуатации крана с предельным техническим состоянием механизмов и подкрановых путей.

По данным натурального эксперимента производился

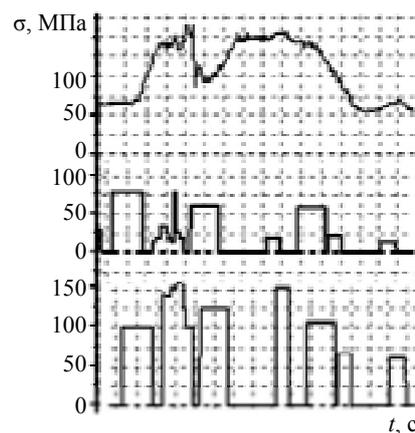


Рис. 3. График изменения напряжений в металлоконструкции и обработка результатов по “методу дождя”

расчет на усталостную прочность наиболее нагруженных узлов металлоконструкции.

На первом этапе определялся предел выносливости для наиболее опасных узлов как

$$\sigma_{-1K} = \frac{2\sigma_{-1}}{(1-R)K}, \quad (1)$$

где K — эффективный коэффициент концентрации напряжений,

$R = -1$ — коэффициент асимметрии цикла,

σ_{-1} — предел выносливости при симметричном цикле.

По уравнению кривой усталости определялись эквивалентные напряжения, действующие в опасном узле,

$$\sigma_{\text{Э}}^m N_{\text{Э}} = \sigma_{-1K}^m N_0, \quad (2)$$

где m — показатель степени кривой усталости;

σ_{-1K} — предел выносливости опасного узла;

$\sigma_{\text{Э}}$ — эквивалентные напряжения;

$N_{\text{Э}}$ — эквивалентное число циклов;

N_0 — абсцисса точки перелома кривой усталости.

Поскольку тензометрические датчики реагируют лишь на деформации растяжения либо сжатия, что приводит к игнорированию касательных напряжений, то для корректного дальнейшего расчета определены главные оси напряжений и значения главных напряжений. По трем значениям главных напряжений вычислялись эквивалентные напряжения по Мизесу (3), которые сравнивались с пределом текучести (4)

$$\sigma_{\text{Э}}^{\text{МИЗЕС}} = \sqrt{\frac{1}{2}((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2)}, \quad (3)$$

$$n = \frac{\sigma_{02}}{\sigma_{\text{Э}}^{\text{МИЗЕС}}}, \quad (4)$$

где σ_{02} — условный предел текучести материала.

В результате проведенных расчетов выяснялось, находится ли металл опасных узлов металлоконструкции в пластическом либо упругом состоянии и каков коэффициент запаса прочности для металла этих узлов.

Остаточный ресурс работы крана определялся на основании линейного закона накопления повреждений как

$$d = \sum_{i=1}^{\beta} \frac{n_i}{N_i}, \quad (5)$$

где n_i — число циклов нестационарного нагружения;

N_i — циклическая долговечность при нагрузке i -го цикла;

d — усталостное повреждение: изменение усталостных свойств элемента под действием циклических нагружений;

β — число повреждающих циклов.

Расчет остаточного ресурса металлоконструкции производился для двух вариантов последующей эксплуатации крана:

— кран продолжает эксплуатироваться в предельном состоянии, что приводит к нагрузкам, превосходящими расчетные;

— кран работает при нормальных нагрузках после устранения дефектов крановых механизмов и подкрановых путей.

По результатам расчетов был сделан вывод о том, что при работе крана в его текущем техническом состоянии ресурс металлоконструкции по критерию усталостной прочности составит 62957 циклов (при сохранении интенсивности погрузо-разгрузочных работ), а при

проведении ремонта механизмов и подкранового пути ресурс крановой металлоконструкции по критерию усталости составит 148928 циклов. Продолжение эксплуатации крана в неудовлетворительном техническом состоянии приводит к сокращению ресурса металлоконструкции крана в 2,37 раза.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

- предложенная методика оценки остаточного ресурса позволяет оценивать ресурс кранов мостового и козлового типа по критерию многоциклового усталости;
- методика применима для кранов с известной информацией о нагрузках и условиях эксплуатации к моменту обследования;
- методика позволяет делать обоснованные выводы о продлении срока эксплуатации, проведении капитального ремонта или списании крана.

Литература

1. Немчук, А.О. К рассмотрению некоторых подходов по оценке остаточного ресурса грузоподъемных машин / А.О. Немчук, М.А. Стариков // Подъемные сооружения. Спец. техника. — 2007. — № 2. — С. 28 — 30.
2. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. — М.: Мир, 1979. — 392 с.
3. Соколов, С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин: Учеб. пособие / С.А. Соколов. — СПб.: Политехника, 2005. — 423 с.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Дашенко А.Ф.

Поступила в редакцию 10 ноября 2008 г.
