

УДК 621.873

Коноплев А.В., д.т.н., проф., Стариков М.А., к.т.н.,
Губский С.А., к.т.н., Стариков А.В., Сокольников А.М.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОНТАЖА И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИЧАЛЬНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕГРУЖАТЕЛЕЙ

Постановка проблемы. Параметры контейнеровозов постепенно увеличиваются, что приводит к увеличению размеров обслуживающих их машин - высота грузоподъемной машины, ее пролет и максимальный вылет (рисунок 1) [1].

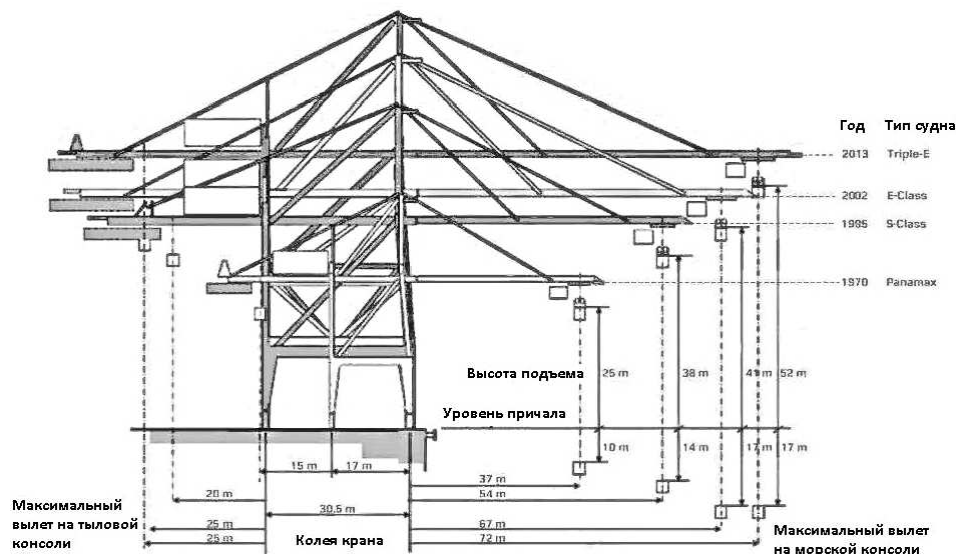


Рисунок 1 – Изменение основных геометрических параметров причальных контейнерных перегружателей в процессе их развития

Анализ последних исследований. В конце 20 столетия при проектировании причальных контейнерных перегружателей (далее ПКП) начали использовать вместо двух, четыре тяги (двух внешних и двух внутренних) для поддержания морской консоли. Это было вызвано увеличением длины последней.

Нерешенные части общей проблемы. Конструкция поддержания морской консоли с четырьмя тягами является статически неопределимой. Это требует тщательного изготовления и регулирования усилий в тягах с помощью изменения их длин перед сдачей крана в эксплуатацию. Работа морской консоли с

неотрегулированными по длине тягами приведет к значительным перегрузкам элементов металлоконструкции стрелы и тяг. Это приведет к пластической деформации и развитию трещин малоциклового усталости в узлах и элементах морской консоли даже после незначительного количества циклов работы крана и, как следствие, к необходимости дорогостоящего и длительного ремонта еще новой грузоподъемной машины.

Цель статьи. Оценка степени повреждения металлоконструкции стрелы при работе ПКП с неотрегулированными оттяжками.

Основной материал. Рассмотрим результаты научно-исследовательской работы по выявлению причин возникновения пластической деформации морской консоли ПКП (грузоподъемность - 55 т (под спредером), максимальный вылет - 55 метров) [2]. Кран был смонтирован на заводе-изготовителе и доставлен в порт морем. Возраст крана на момент повреждения составлял 3 года. После обследования металлоконструкции стрелы выявлено наличие локальной пластической деформации в ее правой балке по середине между корневым шарниром морской консоли и шарниром крепления к ней внешней тяги (рисунок 2, фото 1).

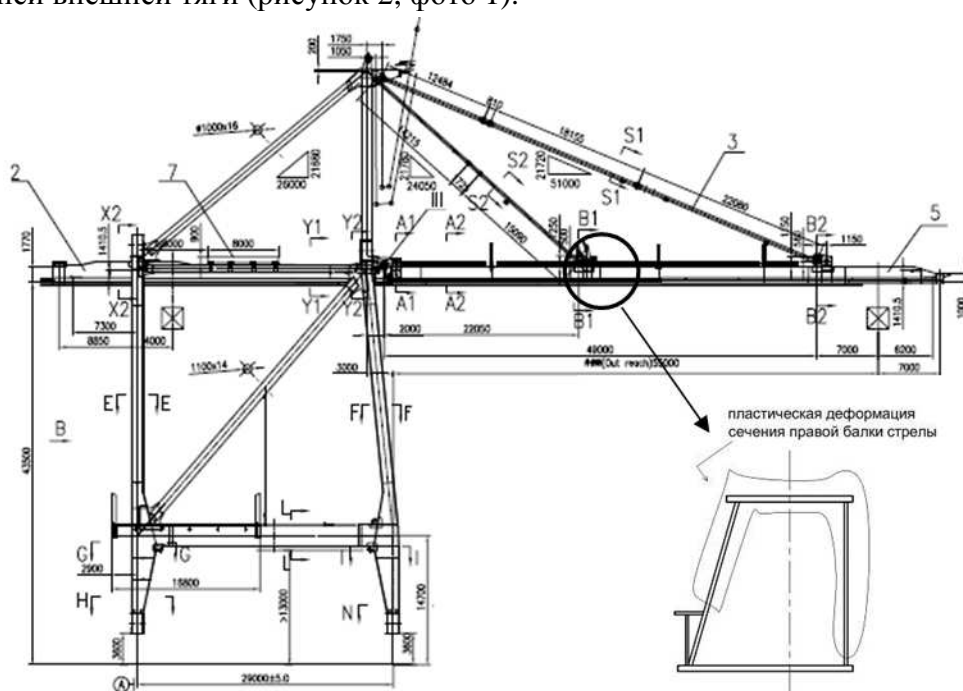


Рисунок 2 – Элемент морской консоли причального контейнерного перегружателя с локальной пластической деформацией



а) деформация внутренней стенки правой балки морской консоли



б) деформация внешней стенки и верхней полки морской консоли

Фото 1 – Локальная пластическая деформация элементов правой балки стрелы

Т.к. перегрузочная машина находилась на гарантии, то информация о повреждении была направлена изготовителю крана. Специалисты завода-изготовителя предложили свою причину повреждения стрелы балки морской консоли. Они утверждают, что положение ограничителя угла подъема стрелы было изменено обслуживающим персоналом порта, при этом буфера стрелы уперлись в отбойники А-образы. Информация о достижении крайней точки движения в систему управления не поступила. Вследствие этого электродвигатель механизма подъема стрелы развил максимальное усилие, которое вызвало пластическую деформацию стрелы, после чего отключился в результате перегрузки.

Чтобы проверить версию, которая была выдвинута специалистами завода-изготовителя, было выполнено моделирование предложенной ими ситуации (рисунок 3) [3, 4]



Рисунок 3 – Расчетная схема для расчетного случая нерабочего положения морской консоли

В результате прочностного анализа установлено, что под действием момента созданного электродвигателем механизма подъема морской консоли при соприкосновении стрелы с отбойниками А-образа, напряжения в верхней и нижней полках стрелы, в районе между корневым шарниром и шарниром крепления внешней оттяжки к стреле, достигают предела текучести (рисунок 4). Таким образом, локальные пластические деформации, выявленные лишь в правой балке стрелы, не могут быть вызваны действием предельного момента электродвигателя механизма подъема консоли, т. к. в этом случае вся стрела была бы полностью, а не локально, деформирована.

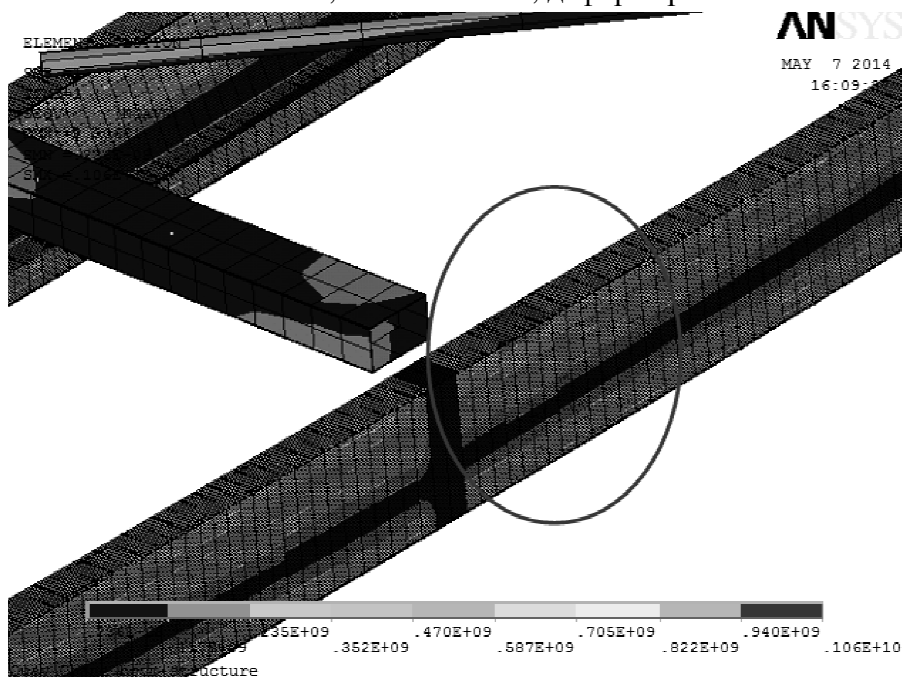


Рисунок 4 – Результаты прочностного анализа. Участок стрелы, в котором были обнаружены пластические деформации

Пример морской консоли, которая деформирована в результате несрабатывания конечного выключателя механизма подъема последней, показан на фото 2



Фото 2 – Деформации морской консоли в результате нерабочего состояния конечного выключателя механизма подъема стрелы

Предполагаем, что причиной локальной пластической деформации стрелы является неудовлетворительная регулировка усилия в тягах стрелы, а точнее в ослабленной внутренней тяге (рисунок 5)

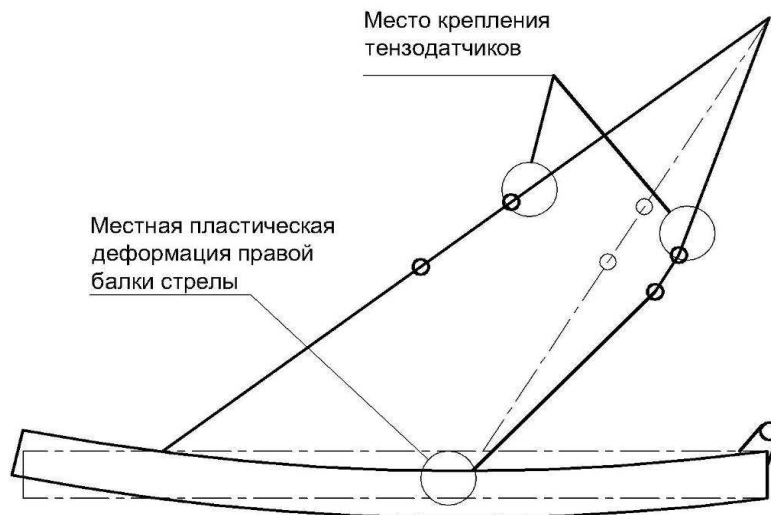


Рисунок 5 – Схема вероятной причины локальной деформации стрелы

Чтобы провести проверку распределения усилий в стреле был применен метод натурной тензометрии [5]. При нерабочем положении морской консоли, когда на тяги практически не действуют внешние силы, на каждую из них были смонтированы тензодатчики, оси которых совпадали с осями тяг (фото 3)



Фото 3 – Крепление тензодатчиков к металлоконструкциям тяг морской консоли

Замеры деформации тяг были выполнены для следующих случаев нагружения [6]:

- тележка с номинальным грузом находится на тыловой консоли (стрела нагружена собственным весом, т. 1, рисунок б);
- тележка с номинальным грузом находится между корневым шарниром стрелы и шарниром крепления внутренней тяги стрелы к самой стреле (в т. 2, рисунок б);
- тележка с номинальным грузом находится над шарниром крепления внутренней тяги стрелы к самой стреле (в т. 3, рисунок б);
- тележка с номинальным грузом находится между шарнирами крепления внутренних и внешних тяг стрелы к самой стреле (в т. 4, рисунок б);
- тележка с номинальным грузом находится над шарниром крепления внешней тяги стрелы к самой стреле (в т. 5, рисунок б);
- тележка с номинальным грузом находится на максимальном вылете (в т. 6, рисунок б)

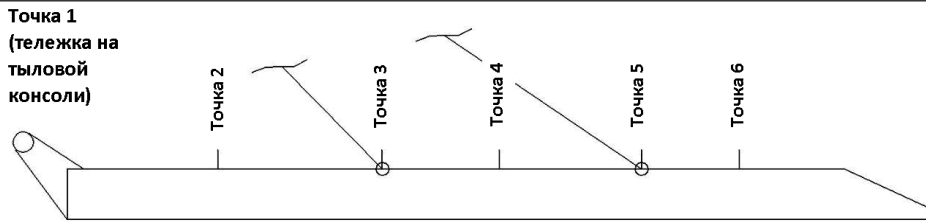


Рисунок 6 – Положение тележки с грузом при замерах усилий в тягах стрелы

Пересчеты результатов замеров усилий в тягах морской консоли показали, что правая внутренняя тяга стрелы практически не воспринимает внешнюю нагрузку (рисунок 7). Разница между усилиями во внешних оттяжках превышает предельную величину на 10 %, установленную заводом-изготовителем.

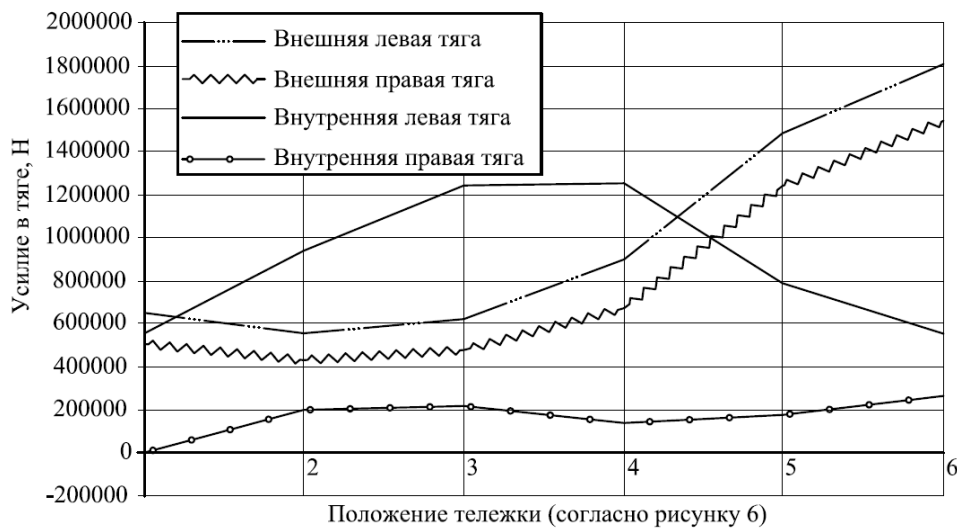


Рисунок 7 – Усилия в тягах стрелы для различных положений тележки с номинальным грузом

Для определения напряжённно-деформированного состояния металлоконструкции ПКП при нерабочей оттяжке была смоделирована верхняя часть крана, включающая в себя А-образ, задние тяги, стрелу, одну внутреннюю (левую) и две внешние тяги стрелы (рисунок 8). Правая внутренняя тяга в модели не была воссоздана, т.к. она практически не воспринимала нагрузку при перемещении тележки вдоль стрелы.

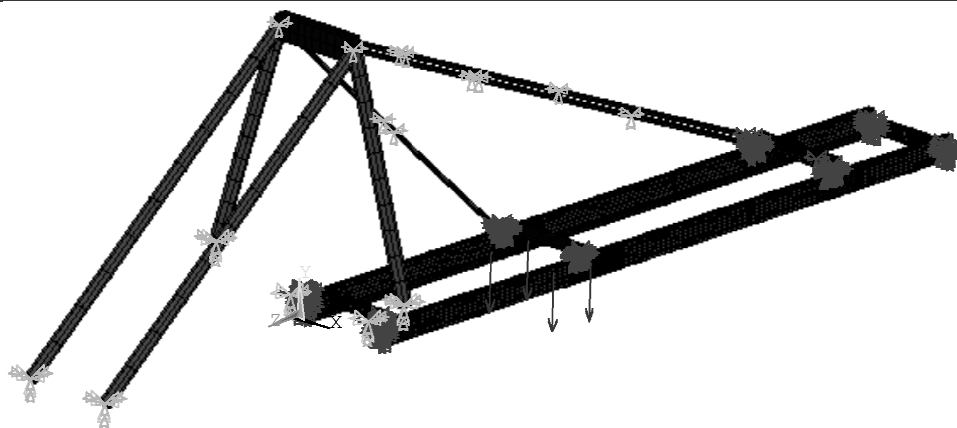


Рисунок 8 – Конечно элементная модель верхней части ПКП

На правые колеса тележки при подъёме груза, с учётом максимально допустимого смещения центра тяжести груза вдоль контейнера относительно геометрического центра последнего (1200 мм), действует максимальное усилие (рисунок 9) [7]

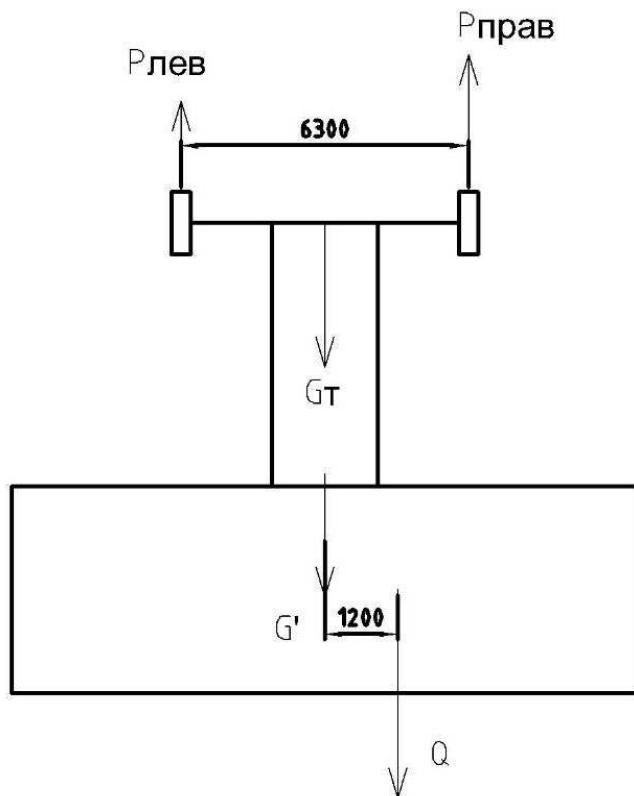


Рисунок 9 – Схема определения усилия на правые колеса при максимально допустимом смещении центра тяжести груза вдоль оси контейнера (1200 мм)

$$P_{ПРАВ} = \frac{G_T + G' \cdot \phi}{4} + Q \cdot \frac{1200 + 3150}{2 \cdot 6300} = 392427 \text{ (H)}, \quad (1)$$
$$P_{ЛЕВ} = 258037 \text{ H}$$

где $P_{ПРАВ}$ - усилие на правое колесо, Н; $P_{ЛЕВ}$ - усилие на левое колесо, Н; $G_T=36,8$ т - масса тележки; $G'=18$ т - масса спредера и хедблока; $Q=55$ т - грузоподъемность крана; $\phi=1,3125$ - коэффициент перегрузки при неустановившемся подъеме груза (согласно расчётам завода-изготовителя).

Анализ распределения напряжений в повреждённой зоне установлено, что наибольшие напряжения возникают при положении тележки с грузом над шарнирами крепления внутренних тяг к стреле.

Чтобы определить минимальное усилие на колесо тележки, для указанного выше случая положения тележки, которое вызывает пластическую деформацию, выполнен следующий прочностной анализ:

- на первом шаге нагружения был приложен собственный вес стрелы;

- на втором шаге нагружения прикладывалась нагрузка на колеса (с учетом перегрузки правых колес от максимального смещения центра тяжести контейнера). Максимальная приложенная нагрузка на правые колеса составляла 1450 кН и прикладывалась с постепенным увеличением от 0 до 100%.

Узлы для замера напряжений в модели ПКП были выбраны в местах, где в реальной балке стрелы наблюдалась пластическая деформация (рисунок 10). Для этого расчёта была выбрана линейная упругая модель поведения материала, результаты расчёта приведены на графиках (рисунок 11).

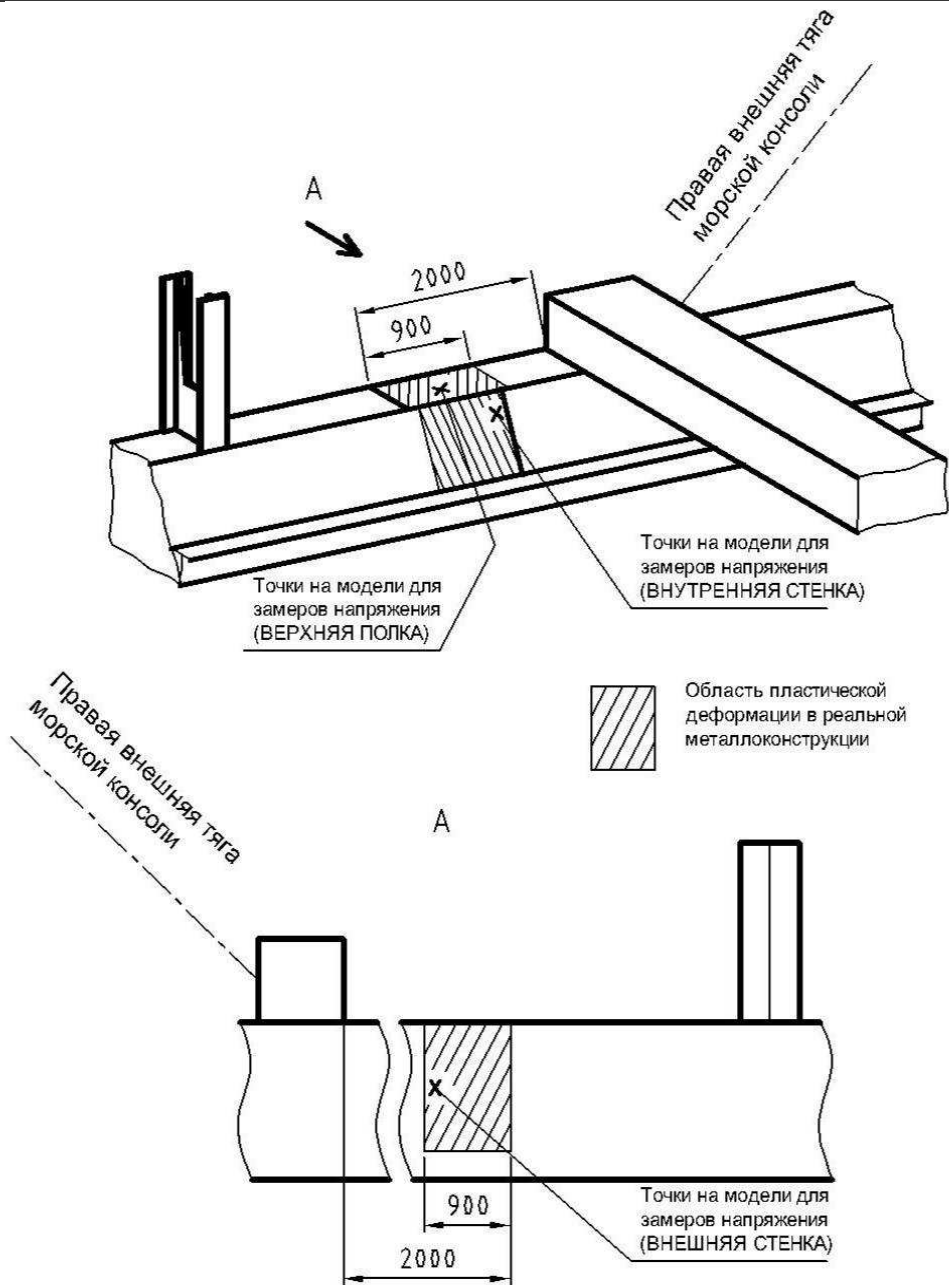
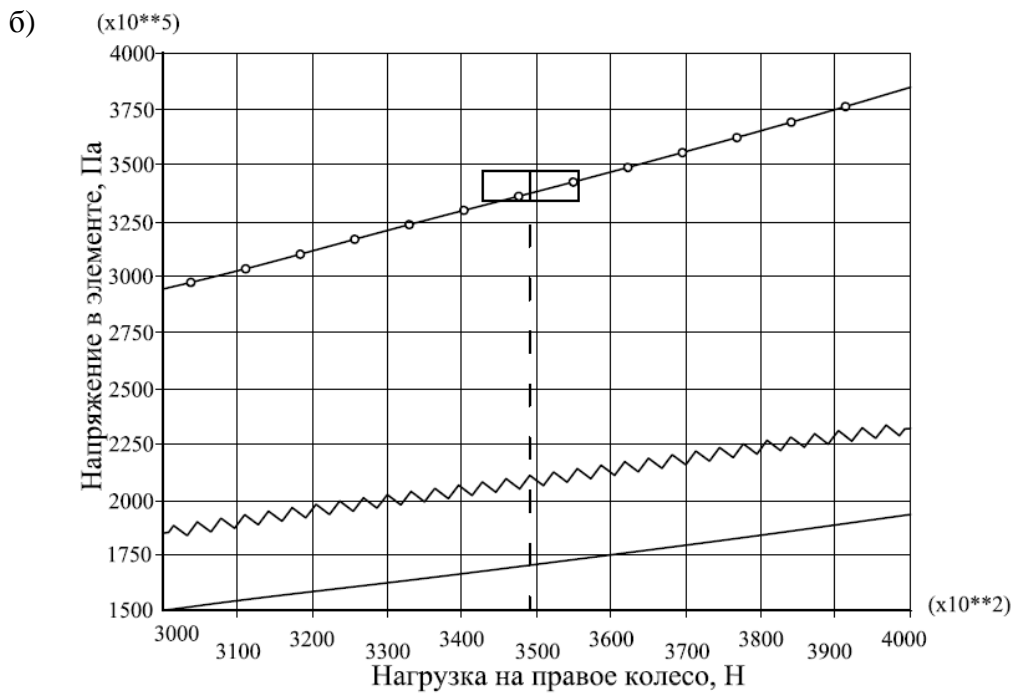
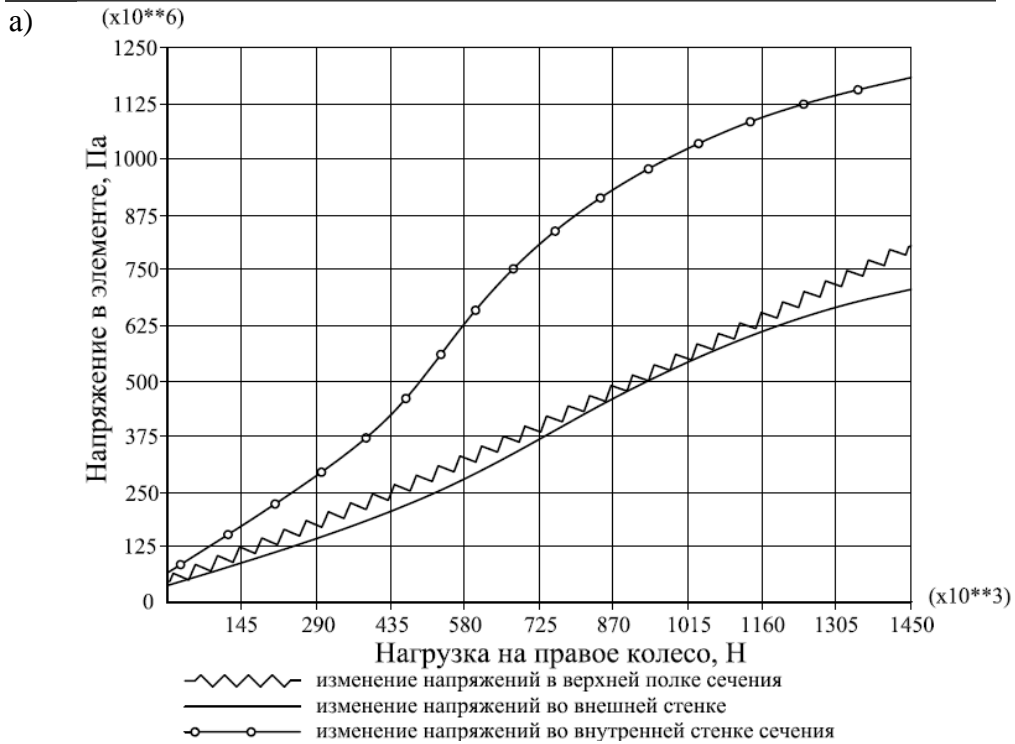


Рисунок 10 – Расположение узлов, в которых проводились замеры напряжений



увеличенная часть приведенного выше графика. Прямоугольником указана область перехода внутренней стенки сечения в пластическое состояние

Рисунок 11 – Зависимость напряжений в элементах опасного сечения правой балки стрелы от усилия на правое колесо тележки

В результате расчётов установлено, что усилие на правое колесо, соответствующее началу появления пластических деформаций в опасном сечении, составляет 360000 Н. В то же время максимальное усилие на колесо в процессе эксплуатации составляет 392427 Н (формула 1). Из этого следует, что максимальные нагрузки на правые колеса, которые возникают при работе ПКП, достаточны для перехода металла опасного сечения в область пластических деформаций.

Напряжённо-деформированное состояние опасного элемента стрелы показано на рисунку 12 (линейно-упругое поведение материала)

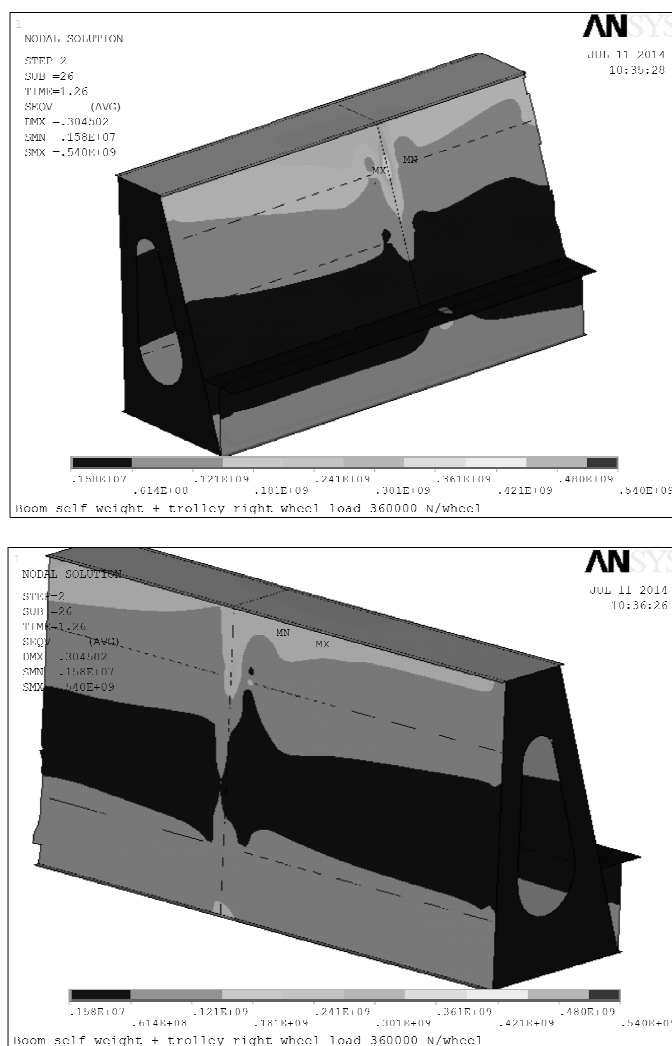


Рисунок 12 – Эквивалентные напряжения по Мизесу в опасном элементе стрелы при нагрузке на правые колеса 360000 Н

В результате проведенных исследований установлено, что работа причального контейнерного перегружателя с неотрегулированной правой внутренней тягой приводит к возникновению пластических деформаций на участке между корневым шарниром стрелы и шарниром крепления внешней тяги к стреле уже при первом цикле нагружения. Первично пластическая деформация возникает во внутренней стенке опасного сечения стрелы, в дальнейшем накапливаясь в процессе работы крана, она распространяется на верхнюю крышку и внешнюю стенку коробчатого сечения стрелы, что и было выявлено при обследовании металлоконструкции морской консоли.

Также, по данным проектной документации компании-производителя ПКП, напряжения в поврежденном элементе морской консоли (в месте соединения верхней полки с внутренней стенкой сечения) для случая отрегулированных оттяжек и положения тележки с грузом над внутренней тягой консоли не превышают 196 МПа. В результате моделирования для этой области были получены напряжения 301 МПа. Таким образом, в результате неотрегулированной правой оттяжки напряжения в металлоконструкции правой балки морской консоли увеличились на 53,6 % (формула 2)

$$e = \frac{\sigma' - \sigma_{\text{норм}}}{\sigma'} \cdot 100\% = 53,6\% \quad (2)$$

Выводы. Эксплуатация причальных контейнерных перегружателей с ненастроенными внутренними оттяжками может привести к:

- перегрузке участка морской консоли, находящегося в районе шарнира крепления внутренней оттяжки к стреле, на 53,6 %;

- возникновению, постепенному накоплению и распространению по сечению пластической деформации стрелы и последующему выходу крана из эксплуатации даже на ранних сроках его службы;

- необходимости в безотлагательном ремонте металлоконструкции стрелы, что влечет за собой значительное время простоя крана (ремонт стрелы может занимать до 1 месяца без ее монтажа и до 3 месяцев с монтажом) и, следовательно, уменьшению скорости обработки судов, заходящих в порт за счет уменьшения концентрации кранов на судне и уменьшению производительности причала в целом.

Для предупреждения или предотвращения повреждений морских консолей причальных контейнерных перегружателей в следствии распределения усилий между тягами, рекомендуется проведение диагностики этих усилий как после монтажа так и в процессе эксплуатации перегрузочных машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров М. П. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана; Высшая школа, 2000. – 552с.
2. ОМД 22460848.003-2012. Крани порталні, крани перевантажувачі. Експертне обстеження / Державна служба гірничного нагляду та промислової безпеки України. – Одеса: ТЕС, 2012. – 272с.
3. Басов К. А. ANSYS для конструкторов. — М.: ДМК Пресс, 2009. — С. 248.
4. T. Stolarski., Y. Nakasone., S. Yoshimoto. Engineering analysis with ANSYS software // Elsevier, 2006.-456 p.
5. ГОСТ Р 52728-2007 Методы натурной тензометрии. Общие требования
6. Соколов С. А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин: Учебное пособие. – СПб.: Политехника, 2005. – 423с.: ил.
7. FEM 1.001. Rules for the design of hoisting appliances. Booklet 3. Calculating the stress in the structures // 3-rd Edition, 1987.-73 p.