



# Моделирование и анализ интегрального показателя

## деградации телескопических стрел мобильных кранов

**Александр БОЙКОВ,**

эксперт ООО «Триботехнологии»

**Владимир ДЕДКОВ,**

главный инженер ООО СМК ПС «ИТЦПТМ» (г. Хабаровск)

**Максим МИНИГУЛОВ,**

директор ООО «Промышленная экспертиза»

**Константин ПОЗЫНИЧ,**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортно-технологические системы в строительстве и горном деле» ТОГУ

**В общем случае наступление предельного состояния крановых металлоконструкций возможно при их следующих ведущих повреждениях: пластическая деформация; хрупкое разрушение; мало- и многоцикловое усталостное повреждение; потеря устойчивости; коррозионное повреждение; изнашивание; чрезмерная упругая деформация (по величине или времени затухания); отрицательный прогиб (накопление и рост остаточной деформации); деградация свойств стали.**

Проведенный анализ механизмов повреждений (дефектов) мобильных кранов с телескопическими стрелами, в том числе отработавших срок службы, установленный производителем, показал, что для стрел ведущим повреждением при нормальных или типичных условиях эксплуатации является, как правило, развитие отклонения их оси в вершине стрелы от прямой линии в плоскости качания.

Для телескопических стрел в целом предложен [1] интегральный показатель их деградации при нормальной длительной эксплуатации – отклонение от прямолинейности оси стрелы в вершине в рабочем положении без груза (при выдвинутых полностью секциях).

Термин «деградация» в данном случае предполагает ухудшение каких-либо свойств, определяющих эксплуатационную надежность технического устройства.

На рисунке 1 показано отклонение от прямолинейности  $f$  оси в вершине телескопической стрелы длиной  $l_c$  в рабочем положении без груза в плоскости качания.

При телескопировании стрел, независимо от срока их эксплуатации, происходит отклонение оси стрелы от прямой линии в плоскости ее качания. Проведенные экспериментальные исследования на мобильных кранах с телескопическими стрелами, в том числе и на кра-

нах, отработавших срок службы, установленный производителем, показали, что при выдвигании секций по мере увеличения длины стрелы многократно растет интегральный показатель их деградации – отклонение оси от прямой линии в вершине (прогиб) в плоскости качания, а вершина стрелы описывает траекторию, близкую к параболе.

На рисунке 2 показана траектория движения вершины при телескопировании двухсекционной стрелы автомобильного крана КС-3574 грузоподъемностью 14 т, отработавшего 15 лет, то есть полтора нормативных срока службы. За это время стрела работала в условиях нормальной эксплуатации крана и не подвергалась ремонтам или заменам.

Как следует из рисунка 2, в полностью сложенном состоянии стрелы отклонение от прямолинейности оси в вершине вниз составляло 40 мм, а при полном выдвигании секции до длины стрелы 14 м отклонение от прямолинейности оси в вершине составило 190 мм, что почти

вдвое превысило допустимое отклонение от прямолинейности  $[f] = 0,007L_c$  или 98 мм [2].

Из рисунка 2 видно, что динамика нарастания прогиба в вершине стрелы переменна: при выдвигании секции до половины своей длины нарастание прогиба незначительно, а затем происходит резкое увеличение отклонения от прямолинейности оси стрелы в вершине, что можно объяснить увеличением действия собственного веса выдвигной секции и гидроцилиндра телескопирования стрелы, а также остаточной деформацией в виде выпучины верхнего пояса в локальной зоне его перегрузки у вершины корневой секции. В связи с превышением допустимого отклонения от прямолинейности в данном случае требуется ревизия стрелы с последующим ремонтом или заменой ее дефектных базовых элементов, состояние которых влияет на деформированное состояние стрелы. Причин увеличения отклонения от прямой линии в вершине, то есть показателей деградации стрелы, несколько, и их определение и моделирование доминирующих механизмов деградации представляет собой самостоятельную задачу в рамках проблемы оценки реальных сроков безотказной эксплуатации, продления ресурса кранового оборудования и разработки мероприятий по обеспечению его надежности.

Элементная модель определения показателей деградации крановых телескопических стрел состоит из суммы всех возможных при длительной нормальной эксплуатации вариантов накопления повреждений в базовых элементах, то есть суммы всех возможных составляющих отклонения оси стрелы в вершине от прямой линии.

**Рис. 1. Отклонение от прямолинейности оси телескопической стрелы в плоскости качания**

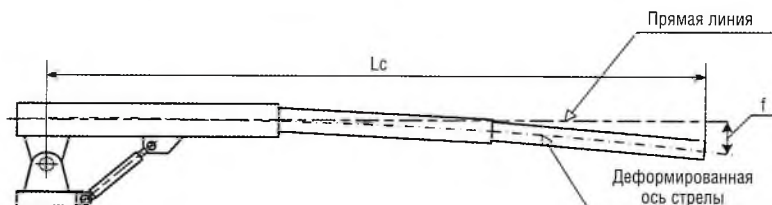
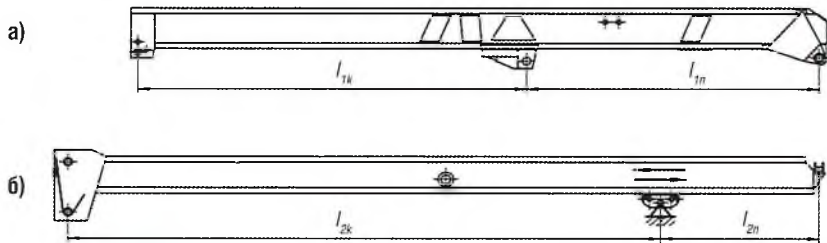




Рис. 2. Траектория движения вершины двухсекционной стрелы при ее телескопировании



Рис. 3. Конструкция и параметры секций стрелы



Базовыми элементами, состояние которых влияет на процесс деградации стрелы в целом, являются корневая секция, выдвижные секции, верхние опорные узлы и нижние опорные узлы секций, механизм раздвижения (телескопирования) стрелы.

Рассмотрим элементную модель определения показателей деградации на примере двухсекционной телескопической стрелы, характерной для автомобильных кранов, схемы секций которой приведены на рисунке 3.

Двухсекционная телескопическая стрела состоит из корневой (рис. 3а) и выдвижной (рис. 3б) сварных секций коробчатого сечения. Выдвижная секция перемещается гидроцилиндром, шток которого закреплен осью в корневой секции, а гильза, примерно в середине выдвижной секции, шарнирным соединением. Шарнирное соединение позволяет компенсировать перекосы, возникающие в процессе работы и монтажа крана.

На головке выдвижной секции расположены блоки для образования грузового полиспаста, проушина для крепления грузового каната и направляющий блок. При перемещении выдвижная секция нижним поясом (нижними поясными уголками) опирается на ролики каретки, установленной в вершине корневой секции. При этом ролики каретки, установленной в корне выдвижной секции, контактируют с внутренней поверхностью верхнего пояса корневой секции или с ее верхними поясными уголками.

Корневая секция стрелы шарнирно соединена с поворотной платформой, а ее подъем и опускание производятся гидроцилиндром. Конструктивно корневая и выдвижная секции разделены (рис. 3) на консольную часть (длиной соответственно  $l_{1к}$  и  $l_{2к}$ ) и пролетную часть (длиной соответственно  $l_{1п}$  и  $l_{2п}$ ), причем у выдвижной секции длины указанных частей по мере ее выдвижения из корневой секции изменяются.

Элементная модель определения показателей деградации или составляющие отклонения оси стрелы от прямой линии в вершине

$$f = \pm f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6 + f_7 + f_8 + f_9,$$

где  $f_1$  – отклонение оси из-за нарушения проектной толщины опорного башмака выдвижной секции, вызывающего непараллельность осей корневой и выдвижной секций;  $f_2$  – отклонение оси, вызванное конструктивным зазором между секциями для возможности сборки стрелы;  $f_3$  – отклонение оси от веса секций и гидроцилиндра телескопирования стрелы;  $f_4$  – отклонение оси, вызванное местной деформацией (выпуклостью вверх) верхнего пояса корневой секции в локальной зоне перегрузки у вершины корневой секции, которое нарастает при выдвижении внутренней секции;  $f_5$  – отклонение оси, вызванное начальным искривлением выдвижной секции;  $f_6$  – отклонение оси, вызванное начальным искривлением корневой секции;  $f_7$  – отклонение оси, вызванное износом роликов или скользунов секций;  $f_8$  – отклонение оси, вызванное остаточ-

Рис. 4. Пример деградации телескопической стрелы



ной деформацией (изгибом) выдвижной секции в плоскости качания;  $f_9$  – отклонение оси, вызванное остаточной деформацией (изгибом) корневой секции в плоскости качания.

Развитию отклонения осей телескопических стрел мобильных кранов от прямой линии в вершине в плоскости качания (рис. 4) до сих пор не уделялось должного внимания, хотя образование и развитие такого дефекта в рассматриваемом случае приводит, в числе прочего, к появлению так называемого «деформационного деградационного момента», увеличивающего деформационный момент на стрелу от упругих деформаций, подверженную рабочими нагрузками продольно-поперечному изгибу по деформированной схеме в плоскости качания, то есть ухудшению ее напряженно-деформированного состояния; увеличению вероятности потери местной устойчивости листовых элементов секций (стенок и поясов); увеличению сопротивлений изменению длины стрелы при телескопировании секций, а при значительных деформациях – затруднению или невозможности телескопирования стрелы; выходу из строя или сокращению срока службы дорогостоящего гидроцилиндра телескопирования секций и его уплотнений, что ведет к потере масла из гидросистемы; нарушению показаний датчика длины стрелы в зоне максимальных вылетов и в конечном итоге к сбоям в работе ограничителя грузоподъемности.

### Литература

1. Позынич Е.К., Штарев С.Г. Критерии расчетной оценки остаточного ресурса стреловых кранов с жестким подвесом стрелы // Подъемно-транспортное дело. – 2008. – № 6. С. 2–4.
2. РД 10-112-2-97 «Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 2. Краны стреловые самоходные общего назначения».