

# КРИТЕРИИ РАСЧЕТНОЙ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СТРЕЛОВЫХ КРАНОВ С ЖЕСТКИМ ПОДВЕСОМ СТРЕЛЫ

**Е. К. Позынич, старший преподаватель,**

**С. Г. Штарёв, докт. техн. наук, профессор**

Дальневосточный государственный университет  
пути сообщения

*Известные инженерные методики расчета и оценки остаточного ресурса грузоподъемных кранов базируются исключительно на теории усталостных повреждений металлоконструкций; оценка остаточного ресурса по другим критериям или не рассматривается. В качестве критерия оценки остаточного ресурса стреловых кранов с жестким подвесом стрелы в условиях длительной эксплуатации предлагается принять отклонение оси стрелы в вершине от прямой линии в плоскости качания.*

Наступление предельного состояния крановых металлоконструкций возможно из-за пластических деформаций, хрупкого разрушения, мало- и многоциклового усталостных повреждений, потери устойчивости, коррозионных повреждений, изнашивания, чрезмерных упругих деформаций, отрицательного прогиба (накопление и рост остаточных деформаций), деградации свойств стали [2].

Опыт эксплуатации кранов показывает, что с течением времени у многих из них происходит непрерывное нарастание остаточных деформаций несущих металлоконструкций (прогибов, отклонений от прямолинейности), не исчезающих после прекращения внешних силовых воздействий. Это имеет место у главных балок (ферм) пролетных строений кранов мостового типа и телескопических стрел стреловых кранов. В то время как допускаемые напряжения выбирают по условиям безопасности, деформации металлоконструкций ограничивают достижением второго предельного состояния под действием внешних нагрузок [1, 2]. Последнее устанавливают по развитию чрезмерных деформаций, при которых конструкция перестает удовлетворять предъявляемым к ней эксплуатационным требованиям, хотя и сохраняет прочность и устойчивость.

При проведении экспертизы промышленной безопасности грузоподъемных кранов обязательной является оценка возможности дальнейшей эксплуатации в соответствии с требованиями промышленной безопасности, включающая, в числе прочего, и расчет остаточного ресурса, под которым понимается ресурс крановых несущих металлоконструкций [3]. Однако, как справедливо отмечается в [4], расчетную оценку остаточного ресурса связали в первую очередь с расчетом на усталость, упустив необходимость оценки остаточного ресурса по другим критериям.

Немногочисленные согласованные с Ростехнадзором и по-

лучившие, таким образом, официальное распространение инженерные методики расчета и оценки остаточного ресурса грузоподъемных кранов основаны исключительно на анализе выносливости или трещиностойкости элементов конструкций [5]. При этом не учитывается поведение несущих металлоконструкций и их наиболее нагруженных элементов в реальных условиях многолетней нормальной эксплуатации. Также не оценивается влияние ремонтных операций на продолжительность работы металлоконструкций до наступления предельного состояния.

Наступление усталости металлических конструкций характерно для интенсивно работающих кранов, соответствующих по классификации ИСО 4301/1 группам не менее А6 [1, 2]. Большинство стреловых кранов, осуществляющих наряду с основными операциями большое количество вспомогательных работ, при выполнении которых их грузоподъемность используется незначительно, эксплуатируются менее интенсивно (группы А1 - А3). Поэтому в качестве критериев оценки остаточного ресурса несущих металлоконструкций таких кранов правильнее выбрать другие предельные состояния. Например, для кранов групп А1 - А3, в том числе отработавших нормативный срок, предлагается рассматривать остаточные деформации металлоконструкций [4, 6].

Проведенный анализ показал, что несущие металлоконструкции крановой установки стреловых кранов составляют практически третью часть их стоимости [7] и играют первостепенную роль с точки зрения безопасной эксплуатации. Наиболее дорогой и ответственной частью, определяющей безопасность эксплуатации этих кранов, является телескопическое стреловое оборудование (в среднем, 33% стоимости несущих металлоконструкций или 9,3% стоимости крана в целом). С учетом этого при определении остаточного ресурса стреловых кранов с жестким подвесом стрелы в качестве предельного состояния металлоконструкций и критериев его оценки можно принять характеристики стрелового телескопического оборудования.

Интегральный показатель предельного состояния телескопических крановых стрел определен в [8] как отклонение от прямолинейности оси стрелы в рабочем положении без груза в вершине (при полностью выдвинутых секциях) в плоскости (рис. 1) и от плоскости качания стрелы. В [8] приведены следующие нормы предельно допускаемых отклонений от прямолинейности осей отдельных секций и стрел в целом: в плоскости стрелы  $f_{сек} = 0,005 L_{сек}$ , где  $L_{сек}$  - длина секции; в вершине в рабочем положении без груза в плоскости качания  $f = 0,007 L_c$ , где  $L_c$  - длина стрелы.

Проведенный анализ механизмов возникновения повреж-

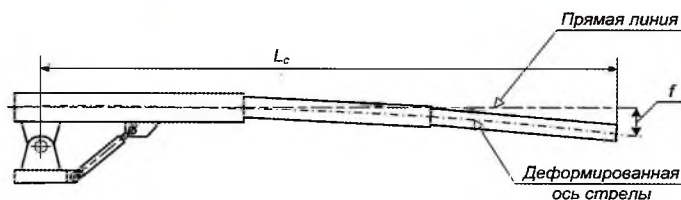


Рис. 1. Отклонение от прямолинейности оси телескопической стрелы в вершине в плоскости качания

дений стреловых кранов с жестким подвесом стрелы, в том числе отработавших нормативный срок службы, показал, что для стрел ведущим повреждением при нормальных или типичных условиях эксплуатации является, как правило, развитие отклонения их оси от прямой линии в плоскости качания. В стреловых кранах последнему обстоятельству до сих пор не уделялось должного внимания, хотя образование и развитие такого дефекта приводит, к целому ряду негативных последствий. Появляется так называемый деформационный деградационный момент, увеличивающий момент от упругих деформаций стрелы, подверженной под действием рабочих нагрузок продольно-поперечному изгибу по деформированной схеме в плоскости качания, что ухудшает её напряженно-деформированное состояние. Увеличиваются вероятность потери местной устойчивости листовых элементов секций (стенок и поясов), возрастает сопротивление изменению длины стрелы при телескопировании секций, а при значительных деформациях затрудняется или становится невозможным само телескопирование. Сокращается срок службы дорогостоящего гидrocилиндра телескопирования секций и его уплотнений с возможным выходом их из строя. Нарушаются показания датчика длины стрелы в зоне максимальных вылетов и возникают сбои в работе ограничителя грузоподъемности. Следует отметить, что указанные отклонения часто соизмеримы или превышают упругий прогиб в вершине стрелы, возникающий под действием рабочих нагрузок.

Таким образом, возникающие при длительной нормальной эксплуатации кранов отклонения осей стрел от прямолинейности негативно влияют на их напряженно-деформированное состояние, создают определенные технологические и эксплуатационные трудности и ухудшают внешний вид кранов. Это требует разработки и использования модели деградации по критерию накопления и роста остаточной деформации, а не усталостных повреждений, так как долговечность конструкций обеспечена выполнением условия прочности. Отметим, что деградация телескопических крановых стрел зарождается и развивается в силу разных причин, не рассматриваемых в данной статье из-за ограниченности её объёма.

С участием авторов выполнены исследования более ста находящихся в эксплуатации стреловых кранов с жестким подвесом стрелы грузоподъемностью от 6,3 до 40 т отечественного и иностранного производства, в том числе отработавших нормативный срок. Они показали, что с течением време-

ни у всех кранов имеет место отклонение оси стрелы от прямолинейности в плоскости качания, то есть действительно происходит деградация одного из главных элементов крановых несущих металлоконструкций.

На рис. 2 показана зависимость относительных отклонений  $f/L_c$  осей стрел в вершине от срока их службы в условиях нормальной длительной эксплуатации без ремонта или замены (всего около шестидесяти кранов). Стрелы с недопустимыми остаточными деформациями секций, полученными в результате грубого нарушения правил эксплуатации, и требующие ремонта, из рассмотрения исключены. Рассматривались различные стрелы: вновь устанавливаемые, установленные на новых, не бывших в эксплуатации кранах, а также на кранах, не отработавших нормативного срока службы (до 10 лет) и отработавших от одного до трех таких сроков. Точки на рис. 2 – значения относительного отклонения  $f/L_c$  для конкретных стрел. Расположенные на одной вертикали несколько точек – значения относительных отклонений осей стрел разных кранов с одинаковым на момент измерения сроком службы.

Анализ пространства параметров на момент измерения отклонения на рис. 2 позволил установить три независимые зоны стрел: 1 - с разрушенными опорными узлами секций (каретками, скользунами), вызвавшими значительную податливость узлов сопряжения секций; 2 - подвергавшихся ремонту (замене) секций или других узлов или целых стрел кранов, находившихся на длительном хранении; 3 - получивших отклонение от прямой линии при длительной нормальной эксплуатации и не подвергавшихся ремонту или замене узлов или секций.

Для дальнейших исследований практический интерес представляет третья зона отклонения осей, в которой существует явно выраженная связь между величиной отклонения стрел и их сроком службы. Отметим, что граница первой и третьей зон на рис. 2 характеризует пессимистический, а граница второй и третьей зон – оптимистический прогноз развития отклонения оси стрелы от прямолинейности. Значительный диапазон первой зоны при нулевом сроке службы объясняется тем, что приобретаемые владельцами и устанавливаемые на краны новые (не бывшие в эксплуатации) стрелы в ряде случаев имеют существенное начальное отклонение оси от прямолинейности.

Содержание третьей зоны показано на рис. 3. Изменение параметра состояния стрел представлено ломаной возрастающей кривой с немонотонным возрастанием, что можно объяснить влиянием значительного количества факторов и, в меньшей степени, погрешностью измерения параметра состояния.

Малое количество значений в течение первых десяти лет эксплуатации объясняется тем, что сбор статистического материала о состоянии крановых несущих металлоконструкций до истечения нормативного срока службы официально не предусмотрен. В известной нам литературе говорится о перспективности оценки остаточного ресурса на основе эксперимен-

тальных, в том числе натуральных, исследований, когда экспертные обследования грузоподъемных кранов необходимо начинать до окончания их нормативного срока службы, буквально с первого года эксплуатации. Это позволит к моменту окончания расчетного срока службы накопить экспериментальную базу для оценки остаточного ресурса по разным ведущим повреждениям. Так, если до окончания нормативного срока службы будет возможным провести не менее трех обследований, то к моменту окончания, при правильной обработке данных, можно ожидать получение информации, позволяющей определить темп накопления повреждений и при необходимости достаточно достоверно прогнозировать остаточный ресурс по предельному состоянию несущих металлоконструкций.

В практических расчетах целесообразно пользоваться усредненной величиной относительного отклонения, зависимость которого от срока службы нанесена на рис. 3 в виде линии тренда и достаточно хорошо описывается экспоненциальным законом (величина достоверности аппроксимации равна 0,7905)

$$f/L_c = 0,0064e^{0,0657T},$$

где  $f$  – отклонение оси стрелы от прямой линии в вершине в плоскости качания;  $L_c$  – длина стрелы;  $e$  – основание натурального логарифма;  $T$  – срок службы крана (стрелы) в годах. Наличие прогнозной части линии тренда на рис. 3 объясняется тем, что подавляющее количество стрел кранов, отработавших два и более нормативных срока службы, подвергается ремонту с правкой отдельных или всех секций и заменой или ремонтом опорных узлов секций, а в отдельных случаях с полной заменой стрелы на новую.

Таким образом, рассмотренный в данной работе критерий предельного состояния, которому соответствует свой вид нарушения эксплуатационной пригодности, позволит достоверно прогнозировать остаточный ресурс телескопических стрел - базовой части стреловых кранов с жестким подвесом стрелы.

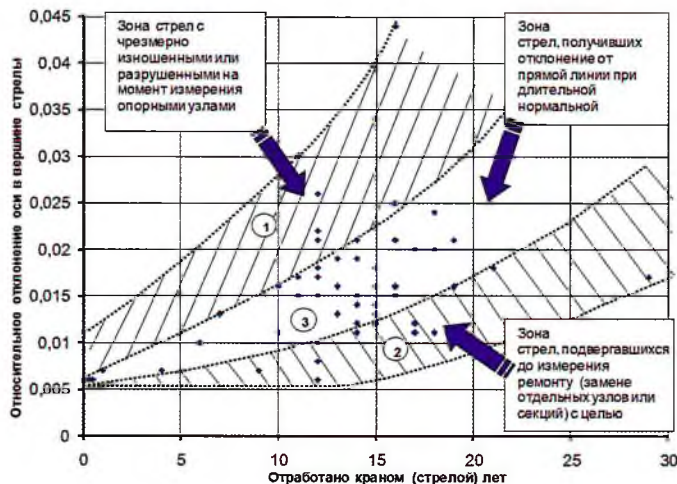


Рис. 2. Зависимость отклонения от прямолинейности оси крановых стрел в вершине от срока службы

## Литература

1. Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. – Л.: Машиностроение, 1976. – 456 с.
2. Соколов С. А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин: Учебное пособие. – СПб.: Политехника, 2005. – 423 с.
3. РД 10-112-96. Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 1. Общие положения.
4. Зарецкий А. А. Стратегия определения остаточного ресурса грузоподъемных кранов // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2002. - № 11. – С. 21-23.
5. Никитин К.Д., Баранов В.А., Ивашков Н.И., Горбунова Л.Н. Развитие инженерных расчетов остаточного ресурса грузоподъемных кранов // Подъемно-транспортное дело. 2007. - № 5. – С. 6 - 8.
6. Кобзев Р. А. Оценка и повышение безопасности эксплуатации и особенности определения остаточного ресурса козловых кранов для обслуживания гидроэлектростанций // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Саратов, 2004. – 16 с.
7. Позынич Е.К., Позынич К.П. Анализ элементной структуры базовой части стреловых кранов с жесткой подвеской стрелы, отработавших нормативный срок службы // Сборник докладов Международной научно-практической Интернет-конференции «Проблемы создания и совершенствования строительных и дорожных машин». – БГТУ им. В.Г. Шухова.: Белгород, 2006. – С. 60 - 62.
8. РД 10-112-2-97. Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 2. Краны стреловые самоходные общего назначения.

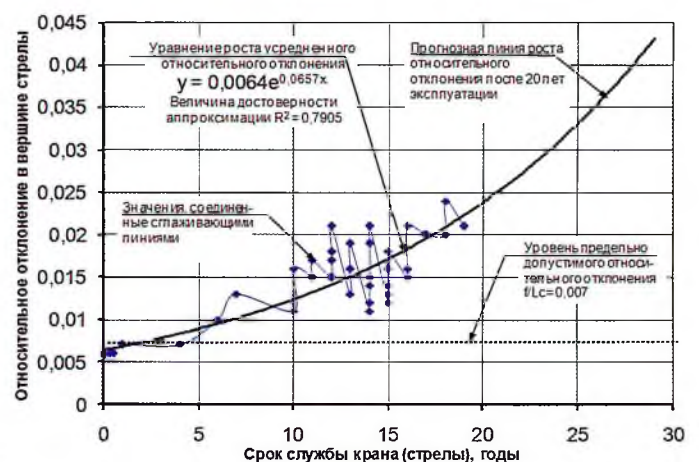


Рис. 3. Отклонения от прямолинейности осей не отремонтированных стрел в зависимости от срока службы