

## **Алгоритм определения механических характеристик металла при расчете остаточного ресурса грузоподъемных кранов**

**С.Н. Филь, В.Е. Касьянов**

В современной промышленности, на транспорте и в строительстве используется огромное количество грузоподъемных машин. По мере увеличения интенсивности их использования возрастают и требования к надежности этих машин в течение всего срока службы. Для экономии средств предприятия стремятся по возможности продлить срок эксплуатации кранов сверх нормативного. Однако для этого необходимо убедиться в безопасности дальнейшей эксплуатации, что выполняется с помощью специальных обследований кранов и оценки остаточного ресурса. Методика его расчета регламентирована руководящими документами (РД), регламентами Ростехнадзора и методическими указаниями СКТБ БК. В ряде случаев при отсутствии достоверной информации об истории нагружения конструкции, целесообразно прогнозировать остаточный ресурс как наработку крана, в течении которой трещина наибольшего размера, которая могла бы быть не обнаружена при обследовании, разовьется до опасной величины при фактически установленном режиме эксплуатации крана. Для реализации такой оценки необходимо иметь методику прогнозирования процесса развития усталостных трещин при эксплуатационном нагружении и способ определения опасного размера трещины в зависимости от свойств материала, условий эксплуатации, размеров и конфигурации конструкции.[1]

В настоящее время в России свыше 70% грузоподъемных кранов исчерпали назначенный срок службы и продление их эксплуатации требует диагностирования. Однако традиционное диагностирование ограничивается неразрушающим контролем и поиском дефектов.[2] Необходимое для дальнейшей службы определение остаточного ресурса не проводится. На сегодняшний день перед методами неразрушающего контроля появилась

новая задача, которая начинает играть роль основной – как, имея информацию о дефектах в данном объекте, определить его остаточный ресурс.[3, 4]

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 суммарная наработка конструкции определяется как ресурс.[5] Ресурс тесно связан со сроком службы ГПМ, определяющим переход конструкции в предельное состояние. Нормирование ресурса требует измерение ресурса как в единицах наработки, так и в единицах календарного времени. Для грузоподъемных кранов (ГПК), находящихся в эксплуатации, основным индикатором является индивидуальный остаточный ресурс. Если измерение осуществляется в единицах времени, то это продолжительность функционирования ГПК от некоторого начала до достижения времени, в котором состояние металлоконструкций машины достигнет предельного уровня. При этом учитываются межремонтные периоды в зависимости от индивидуального технического состояния крана. Расчет индивидуального остаточного ресурса можно рассматривать как систему управления процессом технического обслуживания и функционирования машины. Однако любая методика расчета остаточного ресурса имеет свои преимущества и недостатки, влияющие на величину фактического ресурса и его допустимый уровень.

Возможны ситуации, когда специалисты, оценивая ресурс грузоподъемного крана, получают существенные расхождения итоговых оценок в абсолютном виде.[6] Таким образом, возникает необходимость оценки риска прогнозирования остаточного ресурса ГПК, представляющая собой установление предельно допустимых остаточных сроков эксплуатации объекта при возрастающем риске и, соответственно, выдаче рекомендаций(указаний или предписаний) о мерах по повышению безопасности. Прогноз всегда содержит элементы вероятностного характера, поэтому в случае расчета остаточного ресурса с учетом возникающих при этом рисков представляет собой математическую формализацию интуитивных

представлений, используемых экспертами при решении вопроса о продолжении эксплуатации грузоподъемного крана.

В процессе эксплуатации конструкции, в общем случае, подвергается воздействию сложного спектра внешних нагрузок. При анализе напряженного состояния элементов конструкции ГПК необходимо использовать статистические данные о материале, компонентах и элементах конструкции, нагрузках, воздействиях и условиях климатического характера.

В соответствии МУ 22-28-05-99 оценка механических свойств металла должна проводиться по всем несущим элементам металлоконструкций. Учитывая, что некоторые элементы крана выполняются составными из проката различных плавок, пробы должны быть взяты из элементов каждой плавки.[7]

Для определения механических свойств из исследуемых элементов должны вырезаться пробы металла с последующим выявлением предела текучести  $\sigma_T$  и временного сопротивления (предел прочности)  $\sigma_B$ .

Вследствие того, что выше приведенная методика отбора проб на определение механических свойств материалов использованных в конструкции грузоподъемных кранов приходится нарушать целостность металлопроката, использованного при изготовлении машины, предлагается определять предел прочности и выносливости металла без отбора проб с элементов. Поэтому рекомендуется производить измерения твердости несущих элементов металлоконструкций с определением предела прочности  $\sigma_B$  элементов и осуществлением перехода от  $\sigma_B$  к  $\sigma_{-1}$ (предел выносливости).[8, 9, 10] На рисунке 1 показан алгоритм определения предела выносливости  $\sigma_{-1}$ . Для определения твердости стали необходимо произвести 5 – 10 замеров на одном элементе металлоконструкции.

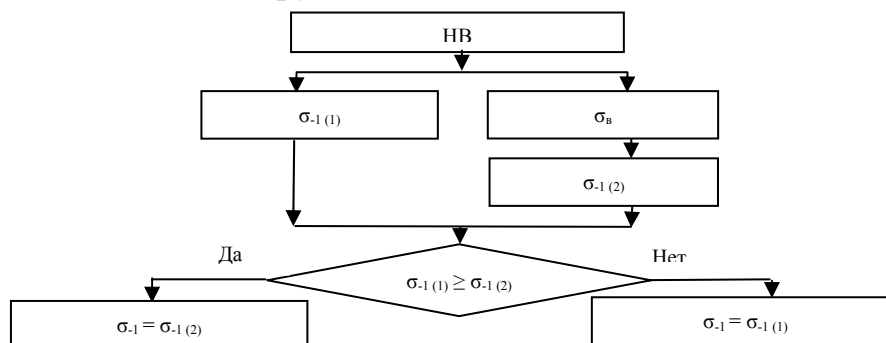


Рис. 1 - Алгоритм определения значения предела выносливости

Таблица 1

Эмпирические формулы корреляционной связи между пределом прочности и твердостью

| № п/п | Формула                             | Автор формулы |
|-------|-------------------------------------|---------------|
| 1     | $\sigma_{\sigma} = 0.365HB^{0,989}$ | Марковец      |
| 2     | $\sigma_{\sigma} = 0.345HB$         | Марковец      |

Таблица 2

Эмпирические формулы корреляционной связи между пределом выносливости и пределом прочности

| № п/п | Формула                                    | Коэффициенты                         | Автор формулы |
|-------|--|--------------------------------------|---------------|
| 1     | $\sigma_{-1} = a\sigma_{\sigma} - b$       | a=0,6...1,4;<br>b=0.003...0.007      | Марковец      |
| 2     | $\sigma_{-1} = 0,249\sigma_{\sigma} + 2,5$ | Конструкционные и строительные стали | Бух           |

Таблица 3

Эмпирические формулы корреляционной связи между пределом выносливости и твердостью стали

| № п/п | Формула                     | Коэффициенты                         | Автор формулы             |
|-------|-----------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
|       | Связь с твердостью HB       |                                      |                           |
| 1     | $\sigma_{-1} = 0,1HB + 100$ | Для стали                            | Марковец                  |
| 2     | $\sigma_{-1} = 0.5aHB$      | a=0,34...0,4 для легированных сталей | Марковец, Жуков, Школьник |

Таким образом, при использовании данного метода определения предела прочности и выносливости исключает нарушение целостности конструкции, снижает трудоемкость выполнения работ по отбору проб и восстановлению нарушенных элементов металлоконструкций после положительных результатов.

### Литература:

1. Манжула К.П., Петин С.В. Прочность и долговечность конструкций при переменных нагрузках [Текст]. – Санкт-Петербург: СПбГТУ, 2001. – 493 с.
2. Волков Д.П., Николаев С.Н. Надежность строительных машин и оборудования. – М.: Высшая школа, 1979. – 399 с.
3. Касьянов В.Е., Щулькин Л.П., Котесова А.А., Котова С.В. Алгоритм определения параметров прочности, нагруженности и ресурса с помощью аналитического перехода от выборочных данных к данным совокупности [Электронный ресурс]// «Инженерный вестник Дона», 2012, № 4(часть 2). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1236> (доступ свободный) - Загл. с экрана. – Яз. Рус.
4. Котесова А.А., Зайцева М.М., Котесов А.А. Определение действующего напряжения с стреле одноковшового экскаватора [Электронный ресурс]// «Инженерный вестник Дона», 2012, № 4(часть 2). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1238> (доступ свободный) - Загл. с экрана. – Яз. Рус.
5. ГОСТ 27.002-89. «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения»
6. Болотин В.В. Прогнозирование и нормирование ресурса машин// Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2009. - № 7. – с. 3-10.
7. МУ 22-28-05-99 «Оценка остаточного ресурса грузоподъемных кранов. Методические указания» – 15 с.
8. Марковец М.П. Определение механических свойств металлов по твердости. – М.: Машиностроение, 1979. – 191 с.
9. Sholtes P. Total quality or performance appraisal: choose one // Nation Prod Rev, 1993. – 12. - №3. – P. 349 – 363.
10. Isermann R., Balle P. Trends in the application of model based Fault detection and diagnosis of technical processes. 13<sup>th</sup> World congress of IFAC. Preprints, Vol. 4, 1996. – P. 1 – 12.