

## Оценка остаточного ресурса мостовых кранов решетчатого сечения

В.М. Сниткин<sup>1</sup>, И.П. Фролов<sup>1</sup>, Е.М. Овсянников<sup>1</sup>, В.Е. Овсянников<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «РЕМЭКС», г. Чебоксары

<sup>2</sup>Курганский государственный университет, Курган

**Аннотация:** в работе рассматриваются вопросы разработки методики определения величины остаточного ресурса мостовых кранов решетчатого сечения. При разработке методики производится учет динамического характера нагружения, деформаций стоек и раскосов, снижения нагрузочной способности несущих конструкций по причине износа их конструктивных элементов.

**Ключевые слова:** мостовые краны, остаточный ресурс, стержневые конструкции, устойчивость

На сегодняшний день Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзору) подотчетно около 300 тыс. грузоподъемных механизмов, которые можно отнести к опасным производственным объектам. Согласно статистике Ростехнадзора РФ 90% грузоподъемных механизмов выработали свой нормативный срок эксплуатации – средний срок службы 28 лет, что в 2 раза больше нормативного. Обновление же парка кранов при этом идет очень медленно – около 1% в год, при норме в 10%.

Следует отметить, что наиболее распространенная причина аварий и катастроф является неудовлетворительное техническое состояние грузоподъемных сооружений, связанное преимущественно с выходом из строя их агрегатов и узлов. Таким образом, необходимость организации деятельности, направленной на выяснение степени пригодности кранов с истекшим сроком эксплуатации к дальнейшему использованию в производстве очевидна. Решению данной проблемы посвящен ряд работ в РФ и за рубежом [1 - 4].

При этом, основным критерием, влияющим на продление срока эксплуатации грузоподъемных сооружений является остаточный ресурс.

Оценка остаточного ресурса – процедура определения времени (наработки), в течение которого, с определенной вероятностью, техническое состояние несущих металлоконструкций крана не достигнет одного из предельных. Предельные состояния, применительно к грузоподъемному крану принято разделять на следующие группы [5,6]:

- потеря статической прочности (длительная прочность, хрупкое разрушение, потеря устойчивости конструкции);
- усталостная прочность (многоцикловая и малоцикловая);
- деформации элементов несущих конструкций;
- трещиностойкость.

Применительно к мостовым кранам решетчатого сечения наиболее часто используется расчетная методика, разработанная ВНИИПТМАШ [5,6], которая основана на оценке напряженно-деформированного состояния несущих конструкций крана (стоек, раскосов и т.д.). В качестве предельного состояния при этом используется потеря устойчивости конструкции. Однако при использовании данной методики на практике возникает ряд критических моментов, снижающих как адекватность получаемых результатов, так и применимость всей методики в целом, основными среди которых являются:

1. Мостовой кран решетчатого сечения является стержневой конструкцией, поэтому для оценки его напряженно-деформированного состояния необходимо определять усилия в каждом из элементов фермы. На сегодняшний день существует ряд методов расчета стержневых конструкций, однако все они довольно трудоемкие, таким образом, существует необходимость в автоматизации данных расчетов.

2. Базовая методика не учитывает характер нагружения – все расчеты производятся для случая статической нагрузки, что не соответствует действительности.

3. В базовой методике все конструктивные элементы мостового крана решетчатого сечения рассматриваются без учета влияния внешней среды, т.е. они не подвергаются износу. В реальных условиях происходит постепенное уменьшение размеров поперечных сечений, что приводит к снижению нагрузочной способности несущих конструкций.

4. В базовой методике не учитывается влияние деформации элемента на его нагрузочную способность.

Следует отметить, что совершенствование методики расчета остаточного ресурса особенно важно именно для кранов решетчатого сечения, т.к. потеря устойчивости происходит внезапно, без появления каких-либо внешних признаков приближающегося разрушения, т.о. единственным источником информации о работоспособности конструкции являются данные расчета.

Целью данной работы является разработка и последующая реализация методики расчета остаточного ресурса мостовых кранов с балкой решетчатого сечения, основанной на модернизации метода расчета, рекомендованного ВНИИПТМАШ.

С целью упрощения расчетов усилий в стержнях был рассмотрен вопрос использования САПР. В качестве вариантов был рассмотрен программный пакет Structure CAD. Производился анализ точности, получаемой при помощи данных пакетов для фермы (рис. 1). В качестве данных для оценки адекватности получаемых результатов использовались значения усилий в стержнях, определенные при помощи диаграммы Максвелла-Кремоны.

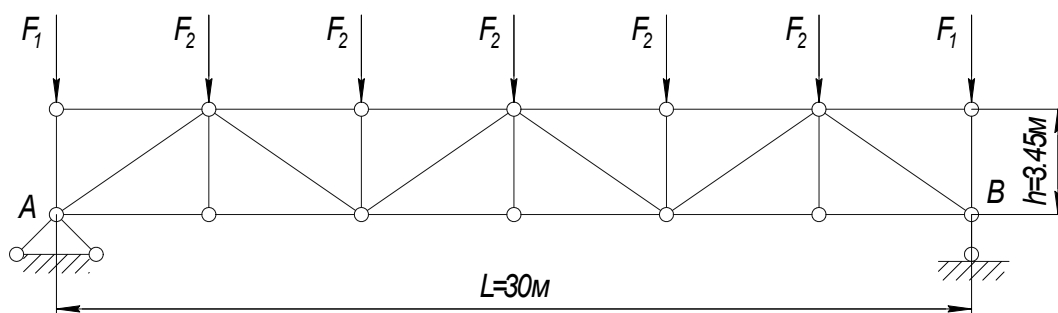


Рис. 1. – Расчетная схема

Динамический характер нагружения оценивается при помощи динамического коэффициента [7 - 9]:

$$\psi = \frac{F_{\max}}{G},$$

где  $F_{\max}$  – максимальная сила с учетом динамики нагружения,  $G$  – вес груза.

Для того чтобы учесть влияние износа конструктивных элементов на их нагрузочную способность, необходимо в первую очередь иметь выражение для определения характеристики нагрузочной способности от размеров сечения. В качестве стержней в балке мостового крана решетчатого сечения используется уголок. Учитывая, что расчет производится на устойчивость, в качестве характеристики нагрузочной способности используется момент инерции. Тогда выражение для определения момента инерции имеет вид:

$$I = I^A - I^B,$$

где  $I^A$  – момент инерции фигуры, в которую вписан уголок;  $I^B$  – момент инерции фигуры, заключенной между полками уголка.

$$I^A = \frac{bh^3}{12}$$

$$I^B = \frac{(b-t) \times (h-t)^3}{24} + bht,$$

где  $b$ ,  $h$ ,  $t$  – основные размеры уголка.

Тогда в окончательном виде выражение для определения момента инерции уголка имеет вид:

$$I = \frac{bh^3}{12} - \frac{(b-t) \times (h-t)^3}{24} - bht$$

Учет влияния износа элементов осуществляется при помощи введения корректирующего коэффициента:

$$\alpha = \frac{t_1}{t},$$

где  $t_1$  – текущее значение толщины уголка.

Сжатые элементы фермы, имеющие искривления, должны быть рассчитаны с учетом возникающих при этом дополнительных усилий. Усилие, на которое рассчитывается ферма, имеющая искривленные элементы, определяется по формуле:

$$N_{\max} = N \times \frac{f}{t - \alpha} \times \frac{\pi}{l},$$

где  $N$  – усилие, действующее в прямолинейном стержне;  $f$  – наибольшая ордината искривления (стрела прогиба);  $l$  – длина стержня;  $\alpha$  – соотношение между действующей и критической силой ( $N_{кр} = El\pi^2 / l^2$ ).

Таким образом, в целом методику можно свести к следующему:

1. Устанавливается состояние металлоконструкции крана:
  - Производятся замеры толщины металла;
  - Проверяются сварные швы;
  - Выполняется геометрическая съемка состояния главных балок.
2. Устанавливается характер и интенсивность выполняемых работ краном;
3. Производится прочностной расчет металлоконструкции крана [5,6];
4. Производится расчет на устойчивость стенки решетчатой балки для кранов группы А6-А8 [5,6]. При расчете усталостной прочности учитывается прогиб главных балок за счет введения корректирующего коэффициента.

Результаты расчетов значений усилий в стержнях приведены в таблице 1, маркировка полей сил приведена на рис. 2.

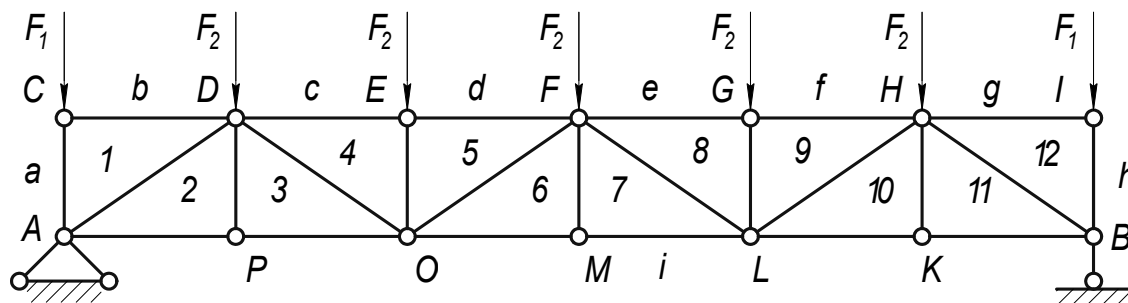


Рис. 2. - Схема маркировки полей сил

Таблица 1 - Результаты расчета усилий в стержнях

| Элементы фермы | Стержни | Расчеты усилий, кН |               |
|----------------|---------|--------------------|---------------|
|                |         | Вручную            | Structure CAD |
| Верхний пояс   | b-1     | 0                  | 0             |
|                | c-4     | -347               | -347          |
|                | d-5     | -347               | -347          |
|                | e-8     | -347               | -347          |
|                | f-9     | -347               | -347          |
|                | g-12    | 0                  | 0             |
| Нижний пояс    | 2-i     | -217               | -217          |
|                | 3-i     | -217               | -217          |
|                | 6-i     | 391                | 391           |
|                | 7-i     | 391                | 391           |
|                | 10-i    | -217               | -217          |
|                | 11-i    | -217               | -217          |
| Стойки         | a-1     | -30                | -30           |
|                | 2-3     | 0                  | 0             |
|                | 4-5     | -60                | -60           |
|                | 6-7     | 0                  | 0             |
|                | 8-9     | -60                | -60           |
|                | 10-11   | 0                  | 0             |
|                | 12-h    | -30                | -30           |
| Раскосы        | 1-2     | -263.7             | -263.7        |
|                | 3-4     | 158.1              | 158.1         |
|                | 5-6     | -52.8              | -52.8         |
|                | 7-8     | -52.8              | -52.8         |
|                | 9-10    | 158.1              | 158.1         |
|                | 11-12   | -263.7             | -263.7        |

Из таблицы 1 видно, что применение пакета StructureCAD является оправданным при расчете несущих конструкций мостовых кранов решетчатого сечения.

В результате компьютерного моделирования были получены аналитические зависимости для определения усилий в наиболее нагруженных элементах фермы (поясах, стойках и раскосах):

$$\text{Стойка (вертикальный стержень): } N_1 = \frac{Q\psi + Q_T + 0.5G}{9.8 \times 2}$$

$$\text{Раскос: } N_2 = \frac{N_1}{2 \times \cos \alpha}$$

$$\text{Верхний пояс: } N_3 = \frac{5.2}{L \times H} \times (N_1 \times 9.7 - N_1 \cos \alpha) \times 8.8$$

$$\text{Нижний пояс: } N_4 = N_1 \times \sin \alpha - N_3,$$

где  $Q$  – грузоподъемность крана;  $Q_T$  – вес тали;  $G$  – собственный вес подкрановой балки.

### **Выводы:**

1. Был разработан и зарегистрирован на отраслевом и государственном уровне программный комплекс «Определение остаточного ресурса мостовых кранов с балкой решетчатого сечения» [10], в котором реализована методика расчета остаточного ресурса, учитывающая приведенные выше особенности эксплуатации и нагружения кранов. Методика была одобрена Курганским управлением Ростехнадзора РФ и успешно применяется при обследовании кранов на ОАО Курганмашзавод;

2. Специалистами ООО «РЕМЭКС» за период с 2006 по 2010 год был при помощи разработанного программного обеспечения был определен остаточный ресурс более чем у 30 мостовых кранов решетчатого сечения.



Выданы рекомендации о снятии с эксплуатации 3 кранов, выработавших свой ресурс работы.

### Литература

1. Пишмин Ю.И., Наугольников В.А., И.Ю. Пишмин. Общие принципы технической диагностики мостовых кранов // Инженерный вестник Дона, 2012, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1385](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1385).
2. Пишмин Ю.И., Наугольников В.А., И.Ю. Пишмин. Способ диагностики геометрических параметров ходовой части мостовых кранов радиального действия // Инженерный вестник Дона, 2012, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1386](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1386).
3. Maddox S. J. The effect of plate thickness on the fatigue strength of fillet welded joints. Abington Weld. Inst, 1987. - 48 p.
4. Sarkani S., Lutes Loren D. Fatigue experiments for welded joints under pseudo-narrowband loads // Struct, eng. 1988. - Vol. 114 (№ 8). - pp. 1901-1916
5. Александров М.П., Колобов Л.Н., Лобов Н.А. Грузоподъемные машины : учеб. для вузов. – М.: Машиностроение, 1986. – 400 с.
6. Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л: Машиностроение, 1976. – 455 с
7. Концевой Е.М., Б.М. Розенштейн. Ремонт крановых металлоконструкций. М.: Машиностроение, 1979. - 687 с.
8. Прочность, устойчивость, колебания: Справочник в 3-х томах. Том 1 / под. ред. И.А. Биргера. – М.: Машиностроение, 1968 г. – 821 с.
9. Соколов С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин: Учебное пособие. – Спб.: Политехника, 2005. – 423 с.
- 10 «Определение остаточного ресурса мостовых кранов с балкой решетчатого сечения»: свидетельство об отраслевой регистрации разработки №14251 / Е.М. Овсянников, В.Е. Овсянников. - № 50200800111; заявл. 19.02.2010; опубл. 19.02.2010. Инновации в науке и образовании №9(44). 6 с.



## References

1. Pishmin Ju.I., Naugol'nov V.A., I.Ju. Pishmin. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1385](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1385).
  2. Pishmin Ju.I., Naugol'nov V.A., I.Ju. Pishmin. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1386](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1386).
  3. Maddox S. J. The effect of plate thickness on the fatigue strength of fillet welded joints. Abington Weld. Inst, 1987. 48 p.
  4. Sarkani S., Lutes Loren D. Fatigue experiments for welded joints under pseudo-narrowband loadsю Struct, eng. 1988. Vol. 114 (№ 8). pp. 1901-1916
  5. Aleksandrov M.P., Kolobov L.N., Lobov N.A. Gruzopodemnye mashiny [Hoisting machines]: the textbook for higher education institutions. M: Engineering, 1986. 400 p.
  6. Gohberg M.M. Metallicheskie konstrukcii podemno-transportnyh mashin [Metal designs of hoisting-and-transport machines]. 3rd prod., reslave. and additional. L: Engineering, 1976. 455 p.
  7. Koncevoj E.M, Rozenshtejn B.M. Remont kranovyh metallokonstrukcij [Repair of crane metalwork]. M: Engineering, 1979. 687 p.
  8. Prochnost', ustojchivost', kolebanija [Durability, stability, fluctuations]. Handbook by redaction of I.A. Birger M: Engineering, 1968. 821 p.
  9. Sokolov S.A. Metallicheskie konstrukcii podemno-transportnyh mashin [Metal designs of hoisting-and-transport cars]: Manual. SPb: Polyequipment, 2005. 423 p.
  10. E.M. Ovsyannikov, V.E. Ovsyannikov. "Opređenje ostatochnogo resursa mostovyh kranov s balkoj reshetchatogo sechenija» [Definition of a residual resource of bridge cranes with a beam of cross-shaped section]: svidetel'stvo ob otraslevoj registracii razrabotki №14251 zajavl. 19.02.2010; opubl. 19.02.2010. Innovacii v nauke i obrazovanii №9 (44). 6 p.
-