

УДК 621.86–034

Рагулин И. А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ И ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ

Классификация режима работы грузоподъемных кранов и крановых механизмов выполняется по ИСО 4301/1-86 «Краны и подъемные устройства. Классификация» [1].

Классификация, согласно ИСО 4301/1–86, на практике имеет два применения.

Первое применение классификации позволяет покупателю и изготовителю крана прийти к соглашению о режиме работы данного крана.

Второе применение классификации позволяет проектировщику на ее основе анализировать проект и доказать, что проектируемый кран может работать в течение определенного срока службы при определенных условиях эксплуатации, установленных для данного вида использования.

Использование ИСО 4301/1-86 для расчёта действительного режима работы при экспертном обследовании (технической диагностике) грузоподъемных кранов, регламентированное правилами [2] и методическими указаниями [3], обуславливает третье применение классификации.

Третье применение классификации связано с определением остаточного ресурса кранов, отработавших регламентный срок, а также перепрофилированием предприятий, цехов и участков, обслуживаемых грузоподъемными кранами, модернизацией и расширением их функциональных возможностей за счёт применения съёмных грузозахватных приспособлений, что определяет возможность и условия дальнейшей эксплуатации.

Применение съёмных грузозахватных приспособлений при всех положительных факторах расширения функциональных возможностей кранов, повышения производительности и механизации производственных процессов оказывает существенное влияние на условия нагружения, срок службы и остаточный ресурс грузоподъемных кранов. Последний фактор имеет особенное значение для кранов, находящихся в эксплуатации.

Анализ публикаций за последние годы [4–8] указывает на разработку различных методов определения срока службы, долговечности и остаточного ресурса грузоподъемных кранов. Однако эти методы требуют дополнительных исследований, специалистов, зачастую сложны и не утверждены нормативными документами. В тоже время большинство этих методов используют методику международного стандарта ИСО 4301/1-86.

Группа классификации (режима работы) крана согласно ИСО 4301/1-86 подразумевает четыре варианта сочетания режимов нагружения и классов использования Q_i и U_i .

Особенности эксплуатации кранов согласно установленным четырем вариантам сочетания режимов нагружения и классов использования подробно рассмотрены в статье [9]. Эксплуатация крана в пределах одного режима нагружения позволяет с достаточной точностью выполнять необходимые расчёты. Однако, как показывает опыт экспертного обследования грузоподъемных кранов, находящихся в эксплуатации, а также в случае их модернизации, режим нагружения, зависящий от номенклатуры рабочих грузов, изменяется, что приводит к изменению класса использования и, соответственно, максимального числа рабочих циклов за весь срок службы крана.

Поэтому задание параметров расчёта, условий эксплуатации и схем нагружения оказывают существенное влияние на результаты расчёта.

Так, например, в работе [8] при оценке остаточного ресурса согласно ИСО 4301/1-86 принимается, что режим нагружения металлоконструкций соответствует режиму нагружения главного подъёма крана. Таким образом, из расчёта исключаются грузы массой до 30 % номинальной грузоподъёмности крана, поднимаемые вспомогательным подъёмом.

Целью данной работы является исследование влияния номенклатуры рабочих грузов при различных режимах нагружения грузоподъемных кранов в пределах одной режимной группы согласно ИСО 4301/1-86 при определении срока службы и остаточного ресурса кранов.

Данная цель достигается путем решения задачи определения максимального количества рабочих циклов с частными уровнями массы грузов для различных комбинаций класса использования и режима нагружения крана в пределах одной группы классификации крана на основе международного стандарта ИСО 4301/1-86 «Краны и подъемные устройства. Классификация».

Класс использования крана, определяемый по общему количеству рабочих циклов, зависит от частоты использования крана.

Режим нагружения крана характеризуется величиной коэффициента распределения нагрузок K_p , которая определяется по формуле:

$$K_p = \sum_1^n \frac{C_i}{C_T} \left(\frac{P_i}{P_{\max}} \right)^m,$$

где C_i – среднее количество рабочих циклов с частным уровнем массы груза P_i ;
 C_T – суммарное число рабочих циклов за весь срок службы крана:

$$C_T = \sum_{i=1}^n C_i,$$

P_i – значение частных масс отдельных грузов (уровни нагрузок) при типичном применении крана;

P_{\max} – масса наибольшего груза (номинальный груз), который разрешается поднимать краном; $m = 3$.

По общему количеству рабочих циклов определяется класс использования крана, по коэффициенту распределения нагрузок – режим нагружения крана, а по ним группу классификации крана по табл. 1 [1].

Исследования выполнены для крана с наиболее распространенной номинальной грузоподъемностью 10 т и группой классификации А5.

Предварительный анализ выполнен с ограниченным набором характерных грузов для определения общих тенденций и выявления особенностей расчёта срока службы и остаточного ресурса крана. В качестве рабочих грузов принят набор из четырёх грузов, характерных для групп лёгких, средних и тяжёлых грузов.

Исследования выполнены для реальных схем нагружения крана и разделены на четыре подгруппы для определения влияния изменения характера нагружения крана:

- влияние лёгких и тяжёлых грузов на срок службы крана;
- работа крана со средними и лёгкими грузами;
- работа крана со средними грузами;
- работа крана с тяжёлыми грузами.

Для этих грузов и схем нагружения определено максимально возможное количество циклов работы с ними в рамках установленной группы классификации крана, по которому и определяется срок службы крана. Затем схема нагружения изменялась и определялся срок службы крана для неё.

Результаты расчёта срок службы согласно ИСО 4301/1-86 в зависимости от характера загрузки крана и количества рабочих грузов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние учета рабочих грузов при расчете группы действительного режима работы крана согласно ИСО 4301/1–86

№ п/п	Режим крана	Масса рабочего груза P_i , т				C_T	K_p	Класс по ISO		Срок службы, лет	Характеристика класса нагружения
		8	6	4	2			использования	нагружения		
		Количество циклов за год C_i									
1. Влияние лёгких и тяжёлых грузов на срок службы крана											
1	A5	2 000	4 000	6 000	8 000	1000 000	0.117	U6	Q1-легкий	50.0	регулярно лёгкие грузы, а номинальные редко
2	A5	2 000	4 000	12 000	16 000	986 000	0.082	U6	Q1-легкий	29.0	регулярно лёгкие грузы, а номинальные редко
3	A5	4 000	8 000	6 000	8 000	499 200	0.162	U5	Q2-средний	19.2	регулярно средние грузы, а номинальные довольно часто
2. Работа крана со средними и лёгкими грузами											
4	A5	4 000	8 000	6 000	8 000	499 200	0.162	U5	Q2-средний	19.2	регулярно средние грузы, а номинальные довольно часто
4	A5	4 000	8 000	1 000	1 000	249 200	0.275	U4	Q3-тяжелый	17.8	регулярно тяжёлые грузы, а номинальные часто
6	A5	4 000	8 000			249 600	0.315	U4	Q3-тяжелый	20.8	регулярно тяжёлые грузы, а номинальные часто
3. Работа крана со средними грузами											
7	A5	1 000	5 000	8 000	1 000	499 500	0.141	U5	Q2-средний	33.3	регулярно средние грузы, а номинальные довольно часто
8	A5	1 000	5 000	1 000	1 000	500 000	0.208	U5	Q2-средний	62.5	регулярно средние грузы, а номинальные довольно часто
9	A5	1 000	5 000			249 600	0.265	U4	Q3-тяжелый	41.6	регулярно тяжёлые грузы, а номинальные часто
4. Работа крана с тяжёлыми грузами											
10	A5	8 000	5 000	2 000	1 000	249 600	0.332	U4	Q3-тяжелый	15.6	регулярно тяжёлые грузы, а номинальные часто
11	A5	8000	5000	1000	1000	249000	0.35	U4	Q3-тяжелый	16.6	регулярно тяжёлые грузы, а номинальные часто
12	A5	8000	5000			249600	0.398	U4	Q3-тяжелый	19.2	регулярно тяжёлые грузы, а номинальные часто

Анализ результатов расчёта 1–3 срока службы кранов первой подгруппы указывает на то, что тяжёлые грузы оказывают большее влияние на изменение срока службы крана, чем лёгкие при значительно меньшем изменении их количества. Вызвано такое повышенное влияние изменением класса нагружения с Q_1 на Q_2 и, соответственно, класса использования с U6 на U5 который и определил снижение в два раза суммарного числа рабочих циклов за весь срок службы крана.

Таким образом, повышение класса нагружения и, соответственно, понижение класса использования является фактором, обуславливающим максимальное снижение срока службы и остаточного ресурса крана. В данном случае необходимо сравнить объёмы перегружаемых грузов, производительность, срок службы крана и на основании этого принять или отказаться от изменения схемы нагружения.

В остальных трёх подгруппах рассматривается влияние снижения нагрузки на срок службы крана. Снижение количества тяжёлых грузов приводит к снижению класса нагружения и, соответственно, повышению класса использования, числа рабочих циклов за весь срок службы, срока службы и остаточного ресурса крана.

Снижение количества средних и лёгких грузов или исключение их из расчёта даёт неоднозначные результаты из-за своего влияния на класс нагружения и, соответственно, на класс использования. Эти особенности и рассмотрены в дальнейшем исследовании.

Во второй подгруппе представлены расчёты 4–6 табл. 1 для крана, работающего предпочтительно со средними и лёгкими грузами. Снижение количества этих грузов приводит к повышению класса нагружения и, соответственно, снижению класса использования и числа рабочих циклов за весь срок службы крана. При этом при снижении нагрузки срок службы крана повышается либо незначительно – расчёт 6, либо даже снижается – расчёт 5. Таким образом, при данной схеме нагружения крана учёт средних и лёгких грузов оказывает влияние на результаты расчётов как в большую, так и в меньшую сторону.

В третьей подгруппе представлены расчёты 7–9 табл. 1 для крана, работающего предпочтительно со средними грузами. Снижение количества этих грузов приводит к значительному повышению срок службы крана – расчёт 8, но их дальнейшее снижение приводит к повышению класса нагружения и, соответственно, снижению класса использования и числа рабочих циклов за весь срок службы крана – расчёт 8. Таким образом, при данной схеме нагружения крана учёт средних грузов оказывает существенное влияние на результаты расчётов.

В четвёртой подгруппе представлены расчёты 10–12 табл. 1 для крана, работающего предпочтительно с тяжёлыми грузами. Снижение количества средних и лёгких грузов приводит к пропорциональному повышению срок службы крана, так как класс нагружения и, соответственно, класс использования и числа рабочих циклов за весь срок службы крана остаются неизменными. Таким образом, при данной схеме нагружения крана учёт средних и лёгких грузов оказывает пропорциональное влияние на результаты расчётов.

На основании проведенного предварительного анализа для дальнейшего исследования отобраны две схемы нагружения крана:

- работа крана со средними и лёгкими грузами;
- работа крана со средними грузами.

Используя методику, описанную в статье [9] для каждого из расчётов отобранной второй и третьей подгруппы (расчёты 4–6 и 7–8 табл. 1), определено максимальное количество рабочих циклов за весь срок службы крана для полного набора рабочих грузов для схем нагружения крана, принятой в этих расчётах. По результатам расчёта построены графики полученного количества рабочих циклов за весь срок службы крана и их логарифмические тренды, представленные на рис. 1 и 2.

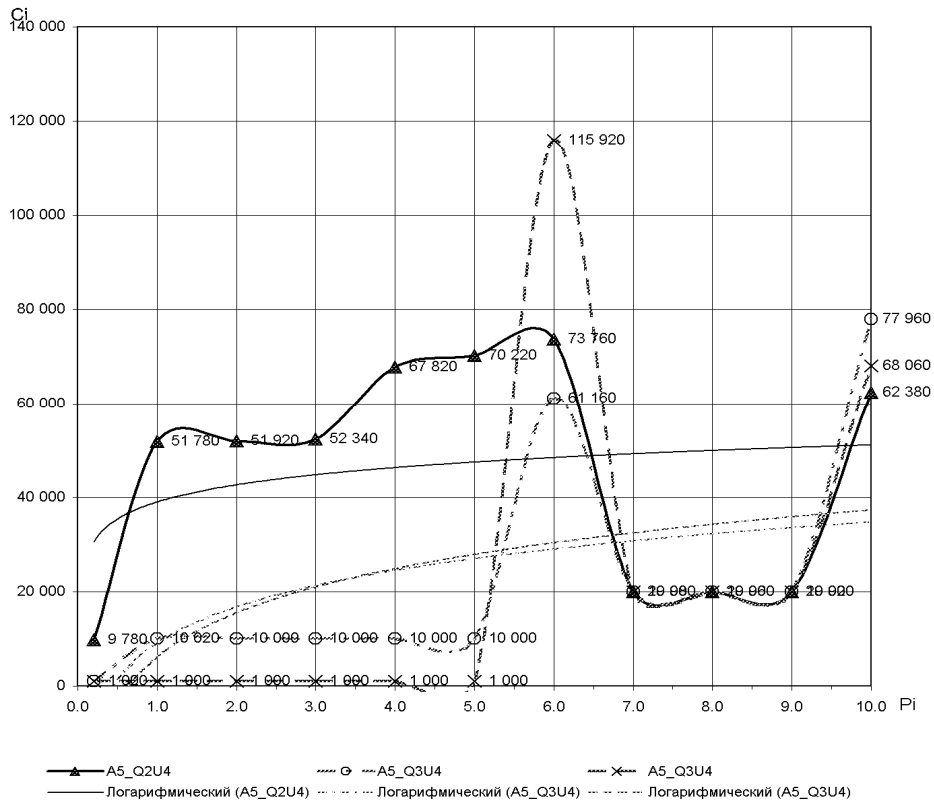


Рис. 1. Максимальное количество рабочих циклов C_i для грузов P_i мостового крана грузоподъёмностью 10 т с группой классификации А5, работающего предпочтительно со средними и лёгкими грузами

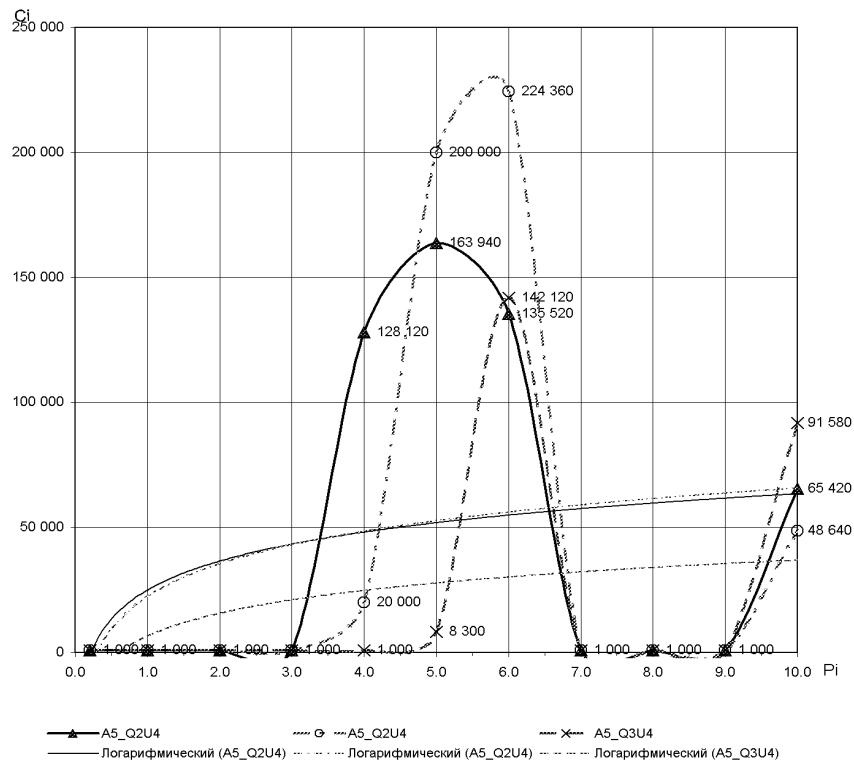


Рис. 2. Максимальное количество рабочих циклов C_i для грузов P_i мостового крана грузоподъёмностью 10 т с группой классификации А5, работающего предпочтительно со средними грузами

Анализ полученных результатов подтверждает соответствие полученных зависимостей рис. 1 и 2 расчётам 4–6 и 7–9 табл. 1. Представление результатов в графической форме, повышает не только их информативность, но и предоставляет возможность обработки полученных зависимостей. Использование современных программных продуктов для решения данных вопросов снижает трудоёмкость, повышает точность, расширяет исследуемые диапазоны и варианты использования оборудования.

Общие характеристики могут быть получены путём использования трендов полученных графиков. Логарифмические тренды полученных графиков представлены на рис. 1 и 2.

ВЫВОДЫ

Использование ИСО 4301/1-86 для расчёта действительного режима работы кранов, отработавших регламентный срок, подвергшихся модернизации или изменению схем нагружения, позволяет определить их срок службы и остаточный ресурс.

Использование методики определения максимального числа рабочих циклов за весь срок службы крана и представление результатов расчёта в табличной и графической форме позволяет выполнить анализ и подбор схем нагружения эксплуатируемого крана, обеспечивающих требуемую производительность и срок службы.

Допускается укрупнение расчетных нагрузок для снижения количества расчётных величин при выполнении расчётов, связанных с определением остаточного ресурса кранов.

Не допускается исключение расчетных нагрузок из расчёта ввиду их малой величины или малого количества при выполнении расчётов, связанных с определением остаточного ресурса кранов.

Результаты данных исследований могут быть использованы для изучения влияния различных номенклатур грузов на процессы накопления усталостных повреждений, разработки и уточнения применяемых расчётных методик.

ЛИТЕРАТУРА

1. ИСО 4301/1-86. Краны и подъёмные устройства. Классификация. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 8 с. – («Серия : Подъёмные устройства, краны, классификация»).
2. НПАОП 0.00–1.01–07. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъёмных кранов. – К. : Основа, 2007. – 312 с.
3. ОМД 00120253.001–2005. Методика проведения экспертного обстеження (технічного діагностування) кранів мостового типу. – На зміну РД 001.01–95; введ. 2006–11–15. – Харків, 2005. – 158 с.
4. О неразрушающих методах определения основных параметров металла грузоподъёмных механизмов / А. С. Рахманний, А. В. Садило, Н. Ф. Хорло, В. Г. Макац // Подъёмные сооружения специальная техника: научно-технический и производственный журнал. – № 06/2008. – С. 42–45.
5. Корень В. Л. Тензор ресурса / В. Л. Корень // Подъёмные сооружения специальная техника: научно-технический и производственный журнал. – № 08/2008. – С. 16–17.
6. Садило А. В. Применение метода твёрдометрии для определения механических свойств металла, из которого изготовлены металлоконструкции грузоподъёмных машин / А. В. Садило, А. С. Рахманний, В. Г. Макац // Подъёмные сооружения специальная техника: научно-технический и производственный журнал. – № 08/2008. – С. 36–40.
7. Садило А. В. О продлении срока службы кранов мостовых однобалочных / А. В. Садило // Подъёмные сооружения специальная техника: научно-технический и производственный журнал. – № 10/2008. – С. 28–34.
8. Садило А. В. Методические рекомендации оценки остаточного ресурса металлоконструкций крана / А. В. Садило, В. Г. Макац, В. Л. Корень // Подъёмные сооружения специальная техника: научно-технический и производственный журнал. – № 02/2009. – С. 16–20.
9. Рагулин И. А. Использование группы классификации грузоподъёмного крана согласно международному стандарту для определения его срока службы [Электронный ресурс] / И. А. Рагулин // Научный Вестник ДГМА. – 2009. – № 2 (5Е). – С. 135–140. – Режим доступа : http://www.dgma.donetsk.ua/publish/2009/2009_2/article/09TIAISL.pdf