УДК 621.874: 65.011.5

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ПРОЛЁТНЫХ БАЛОК ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ БАНКА ДАННЫХ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОСТОВЫХ КРАНОВ

[1]Ахтулов А.Л., [2]Кирасиров О.М., [3]Кирасиров М.О., [2]Чупин П.В.

[1]Омский государственный технический университет, Омск, e-mail: ahtulov-al1949@yandex.ru;
[2]Омский государственный аграрный университет, Омск, e-mail: olegkirasirov@yandex.ru;
[3]ООО «ТитаниумАвто», Омск, e-mail: titaniumauto@mail.ru

Рассмотрены конструкции пролётных балок мостовых кранов, их достоинства и недостатки, причины деформации балок мостов, устойчивость грузоподъемных кранов, назначение и величина строительного подъема балок мостовых кранов. Показано, что в последнее время практика проектирования новых объектов выявила немаловажный для эксплуатации параметр, связанный с прогибом конструкции, время затухания колебаний как форму характеристики податливости конструкции. Рассмотрен вопрос относительно минимальной базы крана. Отмечается, что в настоящее время ощущается недостаток теоретических работ в области автоматизации проектирования основных элементов мостовых кранов, в частности пролётных балок (т.е. мостов крана), поэтому разработка математической модели и алгоритма формирования оптимальных конструкций являются актуальной задачей. На основании проведенных исследований сформирована база данных геометрических элементов и конструктивных схем балок мостовых кранов, с целью создания системы автоматизации проектирования. Таким образом, в работе сделана попытка решения задачи формирования наиболее рациональной конструкции мостового крана по требуемым параметрам.

Ключевые слова: мостовые краны, пролётные балки мостовых кранов, конструктивные схемы, система автоматизации проектирования

OPTIMIZATION OF THE CHOICE OF PARAMETERS SPAN BEAMS FOR FORMATION OF A DATA BANK IN AUTOMATING THE DESIGN OF OVERHEAD CRANES

[1]Akhtulov A.L., [2]Kirasirov O.M., [3]Kirasirov M.O., [2]Chupin P.V.

[1]Omsk State Technical University, Omsk, e-mail: ahtulov-al1949@yandex.ru;
[2]Omsk State Agrarian University, Omsk, e-mail: olegkirasirov@yandex.ru;
[3]Limited liability company «Titaniumavto», Omsk, e-mail: titaniumauto@mail.ru

The design of span beams overhead cranes, their advantages and disadvantages, causes deformation of beams of bridges, the stability of the cranes, the purpose and the value of the construction of lifting beams bridge cranes. It is shown that, in recent years practice of designing of the new objects revealed important operating parameter associated with the deflection of the structure, the decay time as a form of characteristics of the compliance of the structure. Considered with respect to the minimum base of the crane. It is noted that currently there is a lack of theoretical works in the field of automation of designing of basic elements of overhead cranes, in particular the span of the beams (i.e., bridge crane), so the development of a mathematical model and algorithm of formation of optimal structures is an urgent task. On the basis of the research formed the database of geometrical elements and structural layout of the beams overhead cranes, with the goal of creating systems of automation of designing. Thus, in the example of solving the task of forming the most rational design of the bridge crane for the required parameters.

Keywords: bridge cranes, span I-beam bridge cranes, structural designs, system design automation

В настоящее время все больше возрастает интерес в различных отраслях производства [1–4] к созданию систем автоматизации на всех стадиях создания новой техники. Это вызвано, прежде всего, необходимостью обеспечивать значительное совершенствование [5] все большего числа характеристик разрабатываемых образцов новой техники по сравнению с зарубежными и отечественными прототипами при одновременном сокращении затрат, необходимых для их серийного производства и эксплуатации. Для достижения этих целей необходимо повышать степень обоснованности принимаемых технических решений, особенно на ранних стадиях проектирования, когда цена ошибок велика, проводить тщательную всестороннюю отработку всех элементов конструкции, что реально осуществимо лишь на основе сквозной автоматизации проектно-конструкторских и технологических работ [6].

Современные тенденции развития мостовых и козловых кранов можно условно разбить на два подпункта [7]: во-первых, создание автоматизированных комплексов, с максимальной регулировкой скоростей, обеспечивающих наилучшую производительность, безопасность эксплуатации и т.д.; а во-вторых, совершенствование проектирования, с применением современных автоматизированных систем проектирования.

Следует отметить, что в настоящее время ощущается недостаток теоретических работ в области автоматизации проектирования основных элементов мостовых кранов, в частности пролётных балок (т.е. мостов крана), поэтому разработка математической модели и алгоритма формирования оптимальных конструкций является актуальной задачей.

Как уже отмечалось в работе [6], совокупность решаемых создаваемым объектом задач, многоэлементность его систем, случайный и неопределенный характер параметров отдельных элементов и существенное влияние всех этих факторов, а также внешних воздействий на основные характеристики и облик приводит к необходимости их учета в математических моделях и в процессе проектирования. Что привело к возникновению целого направления исследования универсальных или многоцелевых систем [8], разработки математических моделей [3, 9] и методов решения задач оптимизации [10].

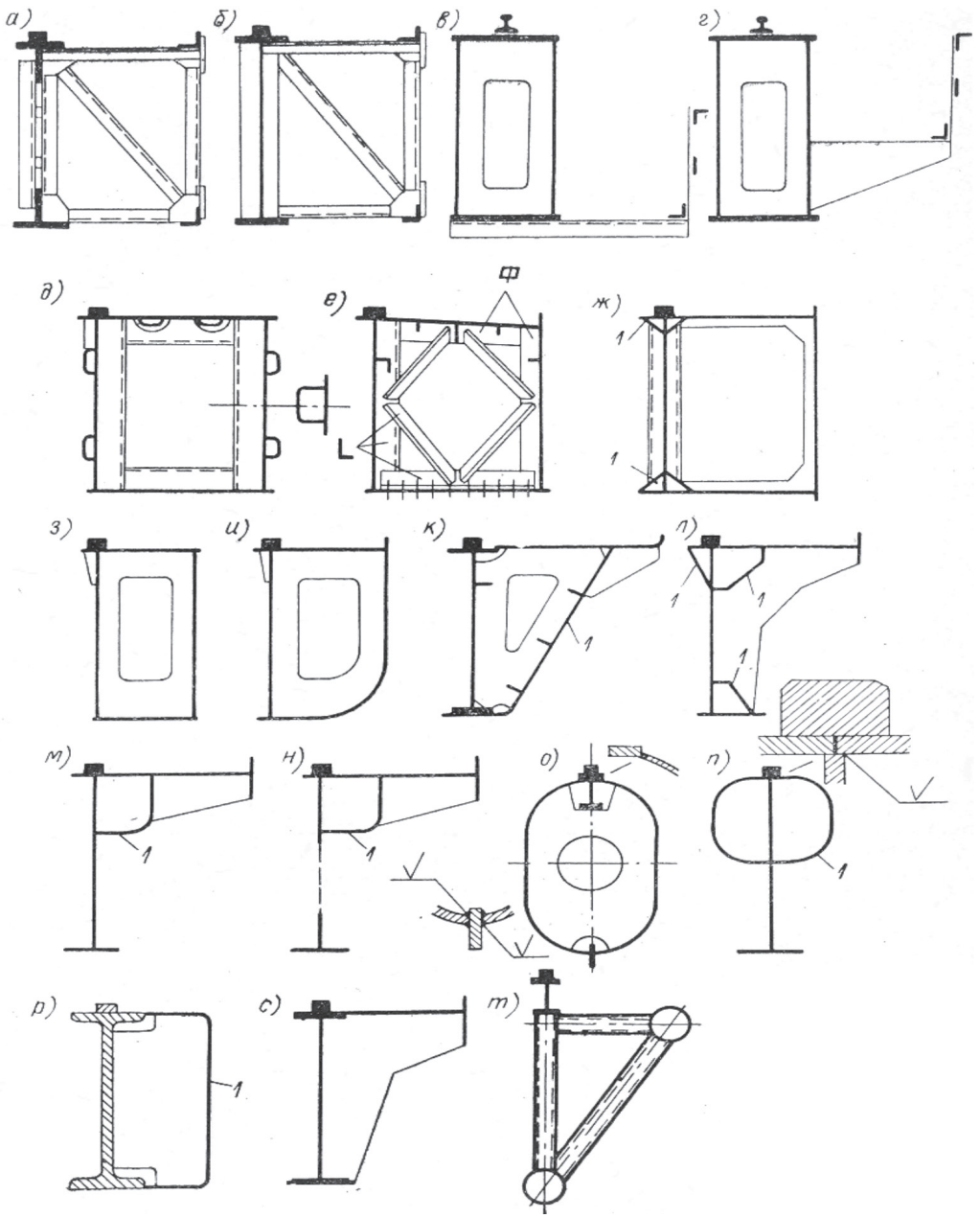


Рис. 1. Схемы поперечных сечений мостовых кранов общего назначения: а, б – решетчатая конструкция; в, г – коробчатая конструкция; д-т – листовые конструкции; элемент 1 образует коробчатое сечение моста по всей длине балки

Таким образом, целью автоматизации информационно-поисковых работ является формирование единой универсальной информационной основы объектно-ориентированных автоматизированных систем – банков данных по каждому из избранных направлений. Автоматизация информационно-поисковых работ предусматривает стандартизацию различных видов регистрируемой информации, наличие альтернативных средств и способов ее ввода и хранения, быстроту и удобство поиска и модификации, защиту от несанкционированного доступа и разрушения.

Оптимальными следует считать конструкции, которые при надежной работе имеют минимальную стоимость изготовления и эксплуатации. Комплексный учет всех составляющих при решении оптимизации параметров балок грузоподъемных кранов значительно осложняет решение задачи.

Впервые в работе [11] была приведена классификация основных типов конструкций пролетных балок мостовых кранов (рис. 1) и их основных параметров, определяющих область применения, дополненная и расширенная в [12], поэтому создание базы данных геометрических элементов и конструктивных схем позволит выбрать оптимальную конструкцию моста крана для каждого конкретного случая.

Так, в целях облегчения конструкции балки крана ВНИИПТмаш было предложено[13] выполнить боковую стенку в виде безраскосной фермы с вырезами (окнами) имеющими отбортовки для обеспечения устойчивости сжатых кромок. Развитие конструктивных форм крановых мостов рассмотрено в работах [14, 15].

Кроме указанных типов мостов для кранов общего назначения существуют [16] мосты кран-балок для талей, двухбалочные мосты с одностенчатыми двутавровыми балками для кранов с ручным приводом при малых пролетах и многочисленные разновидности мостов специальных кранов.

Исходя из опыта [15] эксплуатации крановых мостов из углеродистой стали Ст. 3, их высота H в зависимости от длины пролета L назначается в следующих пределах: для решетчатых мостов H/L = 1/12 или 1/14 и реже 1/10 или 1/16 (число панелей всегда четное, и угол наклона раскосов у главных и вспомогательных ферм ~ 45^0); для коробчатых мостов обычно H/L = 1/14 или 1/18, так как при той же высоте балки обладают большей жесткостью, чем фермы, и реже менее 1/18. Наибольшая высота ограничивается условиями оптимальности по массе, наименьшая – прогибом или временем затухания колебаний моста при работе механизма подъема груза. В связи с увеличением напряжений в конструкциях из низколегированных и тем более высокопрочных сталей при сохранении допустимых значений прогиба, который для крановых мостов никак не связан с маркой стали, необходимо увеличивать высоту мостов H. С этой точки зрения интересна конструкция составной балки (рис. 2), изготовленной на ОАО «Павлодарский машиностроительный завод» путем фигурного продольного разреза двутавровой балки – 1 с последующим сдвигом и сваркой двух половинок разрезанной двутавровой балки – 2.

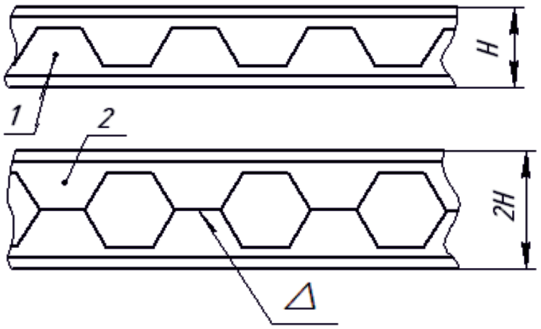


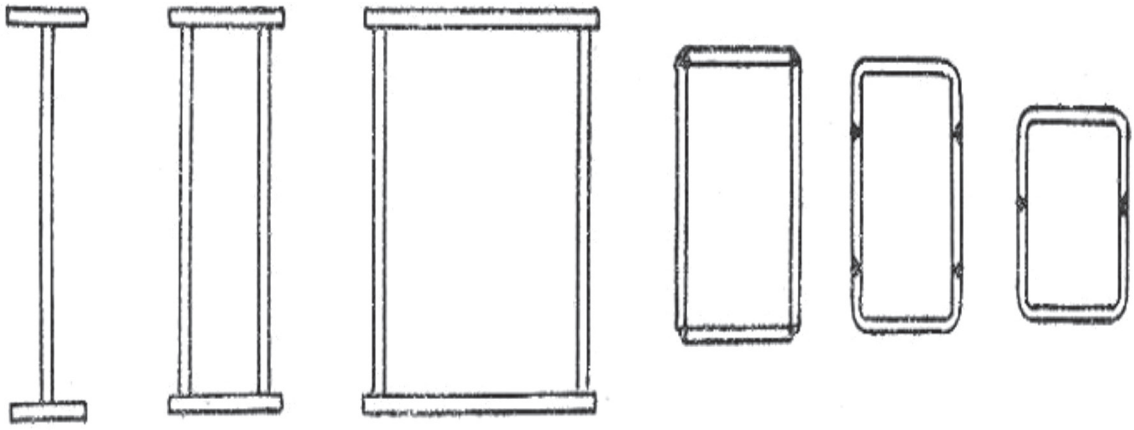
Рис. 2. Эскиз продольного раскроя (1) и составной крановой двутавровой балки в сборе (2)

Рациональное сечение крановой балки как конструкции, работающей на изгиб, определяется по выражению $W/\sqrt{F^3}$ [17]. То есть, чем больше момент сопротивления балки W при данной площади поперечного сечения F, тем более экономична предлагаемая конструкция балки. Следовательно, с точки зрения экономии массы для балок наиболее выгодными являются сечения двутаврового типа с возможно более мощными поясами, насколько это позволяют условия общей устойчивости балок и местной устойчивости их стенок и поясов. В настоящее время для грузоподъемных кранов применяются балки прокатные (рис. 3, а) или составные (рис. 3, б), а по количеству и расположению опор – разрезные, неразрезные и консольные.

Оптимальная высота составной балки может быть определена расчетным путем. При полном использовании материала балки – изгибающему моменту соответствует определенный момент сопротивления W. Поэтому по экономическим соображениям, зная расчетный изгибающий момент, определяется требуемый момент сопротивления сечения:

$$W = \frac{M}{[\sigma]} = \frac{M}{mR}, \qquad (1)$$

где M – изгибающий момент; m – коэффициент условий работы; R – расчетное сопротивление изгибу; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение изгиба.



а) *б)*

Рис. 3. Типовые формы сечений составных балок: а) двутавровое; б) коробчатые

Задавшись высотой балки H, находится необходимый момент инерции сечения:

$$J = W\frac{H}{2}. \qquad (2)$$

Однако надо заметить, что если выбор высоты балки меньше оптимальной может быть оправдан уменьшением габаритов, то выбор высоты балки больше оптимальной необходимо признать нерациональным. Уменьшение высоты балки лимитируется прогибом балки во время подъема груза. Таким образом, максимальная высота балки будет определяться из неравенства

$$H \le \sqrt{\frac{3W}{\sigma_c}}. \qquad (3)$$

Тогда минимально допустимая высота балки H, по условию ограничения прогиба балки f от системы сосредоточенных сил P будет определяться из выражения [11]:

$$\frac{H}{L} \ge \frac{2\alpha'}{\alpha E}\left([\sigma]-\sigma_q\right)\frac{L}{[f]}, \qquad (4)$$

где H – высота балки; L – пролет балки; E – модуль упругости балки; $[f]$ – допускаемый прогиб балки; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение изгиба; σ_q – напряжение изгиба от действия неучтенной нагрузки; α и α' – коэффициенты, учитывающие расположение силы P относительно опор балки.

Расчетный прогиб f – в середине пролета моста определяется от статически действующей подвижной нагрузки (полезный груз плюс сила тяжести тележки с грузозахватными приспособлениями). Прогиб проверяется при сдаче крана в эксплуатацию и контролируется при периодических его испытаниях. Надо полагать, что требование контроля упругого прогиба в настоящее время в значительной степени определяется традицией, идущей с тех времен, когда прогиб рассматривали как величину, характеризующую надежность конструкции. Контроль остаточного прогиба после первого нагружения у клепаных конструкций нормировался и отражал качество клепки. У сварных конструкций он также имеет место из-за наличия в них внутренне уравновешенных остаточных сварочных напряжений, так как в результате нагружения конструкции происходят местные пластические деформации, нарушается равновесие внутренних сил и конструкция деформируется. Это следует учитывать, в частности, при назначении строительного подъема [18]. На отсутствие теоретического обоснования, нормированной величины допустимого прогиба, принимавшегося ранее по нашим нормам равным L/1000, предлагается назначать строительный подъем так, чтобы при номинальном грузе рельсовый путь тележки был горизонтален, что сделает возможным существенно смягчить требования к нормируемому прогибу. Следует отметить, что требование, иметь прогиб равным L/1000 было установлено в то время, когда механизмы передвижения имели центральный привод с жесткими муфтами. Современные конструкции механизмов передвижения, по-видимому, не налагают каких-либо ограничений на величины прогиба. Суще-

ственной надо признать необходимость ограничения прогиба по условию мгновенной разгрузки, которая может привести к «подскоку» грузовой тележки, чтобы не могло иметь место самопроизвольное скатывание стоящей на уклоне тележки к середине пролета и чтобы уменьшить износ реборд колес крана.

Правила [19] не устанавливают требований относительно предельной величины деформаций, отмечая, что ограничения прогиба обуславливаются лишь соображениями эксплуатационного характера и могут устанавливаться только по желанию заказчика.

Также следует отметить, что ограничение конструкций из углеродистой стали по величине прогиба приводит в ряде случаев к недогруженности по напряжениям, а применение низколегированных сталей приводит к возрастанию напряжений в конструкции и, следовательно, к увеличению прогиба. Особенно резко деформации увеличиваются в конструкциях из легких сплавов. Таким образом, существующие ограничения по прогибу во многих случаях являются препятствием для применения низколегированных сталей и легких металлов.

Сложившаяся в последнее время практика проектирования новых объектов выявила другой немаловажный для эксплуатации параметр, связанный с прогибом конструкции, что из других соображений оправдывает требование контроля прогиба, а именно время затухания (t) ее колебаний, зависящее от периода колебаний (τ). Таким образом, время затухания есть другая форма характеристики податливости конструкции.

Вопрос относительно минимальной базы крана [20–21], т.е. расстояния между ходовыми колесами в концевой балке или между осями крайних балансирных тележек у многоколесных кранов, решается из рассмотрения возможных перекосов моста крана при его передвижении. Естественно, что чем база крана больше, тем это для эксплуатации крана лучше. В результате перекосов, чему способствуют также чрезмерные отклонения в размерах при изготовлении мостов, имеют место повышенный износ и выход из строя ходовых колес механизма передвижения крана и увеличение металлоемкости конструкции крана в целом, т.е. возрастают затраты не только на изготовление, но и на его эксплуатацию.

В заключение можно отметить, что на основании проведенного анализа существующих конструкций мостов определяется область их оптимального применения при использовании созданной базы данных геометрических элементов и конструктивных схем балок мостовых кранов, с целью создания системы автоматизации их проектирования.

Таким образом, сделана попытка решения задачи формирования наиболее рациональной конструкции мостового крана по требуемым параметрам.

Список литературы

1. Ахтулов А.Л. Анализ и исследование динамических систем грузоподъемных кранов методом компьютерного моделирования [Текст] / А.Л. Ахтулов, О.М. Кирасиров, Е.В. Комерзан // Омский научный вестник. – 2008. – № 2 (68). – С. 61–64.

2. Галдин Н.С. Компьютерное моделирование основных механизмов мостовых кранов [Текст] / Н.С. Галдин, О.В. Курбацкая, С.В. Ерёмина // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2015. – № 2 (42). – С. 68–75.

3. Галдин Н.С. Моделирование на ЭВМ статического сопротивления передвижению мостового крана [Текст] / Н.С. Галдин, С.В. Курбацкая, О.В. Курбацкая // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования: материалы VII Всероссийской науч.-практ. конференции ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (с международным участием) / СибАДИ. – Омск, 2012. – Кн. 2. – С. 32–36.

4. Соколов С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин [Текст] / С.А. Соколов. – СПб.: Политехника, 2012. – 423 с.

5. Ахтулов А.Л. Методика оценки качества процессов проектирования сложных технических устройств [Текст] / Ахтулов А.Л., Леонова А.В., Ахтулова Л.Н. // Омский научный вестник. – 2013. – № 3 (123). – С. 87–91.

6. Ахтулов А.Л. Разработка методики оценки качества проектирования конструкторско-технологической подготовки производства сложных технических устройств [Текст] / А.Л. Ахтулов, Л.Н. Ахтулова, И.Ф. Иванова, А.В. Леонова // Омский научный вестник. – 2014. – № 3 (133). – С. 82–86.

7. Ахтулов А.Л. Построение имитационной модели двухбалочного мостового крана [Текст] / А.Л. Ахтулов, Л.Н. Ахтулова, О.М. Кирасиров, В.А. Машонский // Вестник СибАДИ: Научный рецензируемый журнал. – 2012. – № 3 (25). – С. 7–11.

8. Кудрявцев Е.М. Основы автоматизированного проектирования [Текст] / Е.М. Кудрявцев. – М.: Academia, 2013. – 304 с.

9. Ахтулов А.Л. Визуальное моделирование двухбалочного мостового крана как сложной динамической системы [Текст] / А.Л. Ахтулов, Л.Н. Ахтулова, О.М. Кирасиров, В.А. Машонский // Омский научный вестник. – 2014. – № 1 (127). – С. 147–152.

10. Ахтулов А.Л. Обеспечение качества проектирования мостовых кранов с учетом динамических характеристик: моногр. / А.Л. Ахтулов, Л.Н. Ахтулова, О.М. Кирасиров, Е.В. Комерзан; под общ. ред. А.Л. Ахтулова. – Омск: СибАДИ, 2010. – 137 с.

11. Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин [Текст] / М.М. Гохберг. – Л.: Машиностроение (Ленингр. Отд-ние), 1976. – 456 с.

12. Машиностроение: Энциклопедия в 40 томах [36 книг] / К.В.Фролов (гл. ред.) – Т. 29. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин [Текст]. – М.: Машиностроение, 2008. – 833 с.

13. Богуславский П.Е. Развитие конструктивных форм крановых мостов отечественного производства [Текст] /

П.Е. Богуславский / Труды ВНИИПТмаша. – М., ОТИ, 1964. – № 2 (44).

14. Богуславский П.Е. Металлические конструкции грузоподъемных машин и сооружений [Текст] / П.Е. Богуславский. – М.: Машгиз, 1961. – 519 с.

15. Окерблом Н.О. Конструктивно-технологическое проектирование сварных конструкций [Текст] / Н.О. Окерблом. – Л.-М.: Машиностроение, 1984. – 419 с.

16. Федотов П.И. Подъемно-транспортные машины. [Текст] / П.И. Федотов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2015. – 200 с.

17. Соколов С.А. Строительная механика и металлические конструкции машин [Текст] / С.А. Соколов. – СПб.: Изд-во Политехника, 2011. – 422 с.

18. ГОСТ 22045-89 (2009) Краны мостовые электрические однобалочные опорные. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2009. – 26 с.

19. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» [Текст]. Серия 10. Выпуск 81. – М.: ЗАО «НТЦ исследования проблем промышленной безопасности», 2014. – 150 с.

20. ГОСТ 7890-93 (2007) Краны мостовые однобалочные подвесные. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2007. – 26 с.

21. ГОСТ 27584-88 (2013) Краны мостовые и козловые электрические. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2013. – 18 с.