

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ НАЗЕМНЫХ КРАНОВЫХ ПУТЕЙ ОПТИМИЗАЦИЕЙ ИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Исследована ситуация нормативно-технического обеспечения требований норм допусков плано-высотных характеристик наземных крановых путей. Выявлены некоторые несоответствия и недостаточная глубина проработки ряда требований допустимых отклонений. Определены решающие факторы области эффективной и надежной работы единой механической системы «кран – путь». Предлагаются способы определения норм допусков. Рекомендуется назначать требования к крановому пути при проектировании крана в зависимости от особенностей их конструктивного исполнения.

**Ключевые слова:** кран, путь, безопасность, нагрузки, допуски, перекосное состояние, уклон, реборда, «колесо – рельс», «кран – путь», расчетная схема.

Индустриализация и рыночная экономика стимулируют модернизацию грузоподъемных механизмов: повышение производительности и надежности их работы, скорости и точности перемещений, роста грузоподъемности кранов, рабочих скоростей, средней загрузки, экономичности и возможности интеграции в автоматизированные системы управления.

При передвижении крана по наземному рельсовому пути возникает ряд динамических процессов, существенно влияющих на работоспособность как крана, так и рельсового пути. К таким процессам относятся: упругие колебания элементов трансмиссии, механизмов передвижения и металлоконструкции крана, возникающие при его пуске и торможении; поперечные и вращательные движения в горизонтальной плоскости в пределах зазоров между ребордами ходовых колес и рельсами; ударное нагружение элементов ходовой части крана, его металлоконструкции, механизмов передвижения крана при проходе крановыми колесами рельсовых стыков, а также некоторые другие [12].

Перечисленные процессы зависят от геометрических характеристик и условий нагружения конструктивных элементов крана; от устройства привода и системы стабилизации движения; от плано-высотных параметров крановых путей, которые в свою очередь зависят от состояния как верхнего, так и нижнего строения пути. Корректное назначение допусков плано-высотных характеристик повышает эффективность и надежность кранового пути.

Крановый путь является важным элементом в единой механической системе эксплуатации грузоподъемного механизма. Согласно результатам работы [18], недостаточная глубина проведенных исследований, результаты натурных обследований путей и кранов подтверждают необходимость дополнительных исследований взаимодействия элементов «кран – путь». В результате изучения нормативной базы [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], работ различных авторов [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17] и сложившейся ситуации в краностроительной индустрии можно сделать вывод об актуальности инициации исследования норм допусков плано-высотных параметров крановых путей в зависимости от конкретных технических и геометрических характеристик крана.

В нормативной документации [5, 6, 7] отсутствует разделение норм допусков плано-высотных характеристик при устройстве и содержании крановых наземных путей в зависимости от устройства функциональных элементов и геометрических параметров крана. Например, существует разделение допусков разности отметок направляющих в продольном и поперечном сечении пути в зависимости от типа крана, однако эти допуски нормируются лишь для какого-либо одного сечения – продольного (по одному рельсу) или поперечного. В то же время нормирование перекосных (возникновение поперечных уклонов с разными знаками на определенном участке пути) параметров пути отсутствует. Назначение отклонений ширины колеи также не имеет зависимости от базы и пролета крана, что может

приводить к заклиниванию крана. Отсутствует разделение по массе, высоте, типу привода и подвески. Оптимизация допустимых отклонений параметров пути особенно актуальна, так как наземный крановый путь используется при эксплуатации только одного конкретного крана и отсутствует необходимость универсализации норм допусков высотных характеристик.

Наиболее важным, по мнению авторов, является следующее:

- предельно допустимый поперечный уклон (разность отметок в одном поперечном сечении) кранового пути составляет  $0,004S$  ( $S$  – пролет, или ширина кранового пути, мм), однако соответствующее значение в требованиях к козловым кранам  $0,002S$ , т.е. кран рассчитывается на уклон, в два раза меньший допустимого уклона пути при нормальной эксплуатации (требования к крану в два раза строже, чем к путям). Такая ситуация приводит к неучтенному увеличению опрокидывающего момента, поперечных и вращательных сил в пятне контакта колеса и рельса, ударного нагружения элементов ходовой части и металлоконструкции крана, сил сопротивления движению и, как следствие, интенсивности износа элементов системы «кран – путь»;

- предельное отклонение ширины колеи ( $S$ ) в требованиях к путям составляет  $\pm 10$  мм (при монтаже) и  $\pm 15$  мм (при эксплуатации), а в требованиях к кранам  $\pm 8$  мм (при  $S \leq 20$  м) и  $\pm 12$  мм (при  $S > 20$  м). При наличии предельных отклонений пролета крана и пути с разными знаками будет наблюдаться увеличение поперечных сил в пятне контакта колеса и рельса, упругих колебаний механизмов передвижения крана, напряжений металлоконструкций крана, упругих деформаций верхнего строения пути и, как следствие, интенсивности износа элементов системы «кран – путь».

Таким образом, ввиду неполного отражения в нормативах некоторых важных факторов актуализируется задача корректировки норм допусков планово-высотных характеристик наземных крановых путей, которые должны обеспечивать безопасное, надежное, плавное и бесперебойное движение крана.

Для этого необходимо в первую очередь установить:

- упругую податливость элементов крана и кранового пути;

- оптимальное соотношение пролета к базе крана;

- оптимальный зазор между ребордой колеса и головкой рельса;

- степень влияния поперечного уклона на величину опрокидывающего момента крана.

Необходимо рассматривать кран и крановый путь как влияющие друг на друга в процессе эксплуатации элементы единой системы. Техническое состояние крановых путей в значительной степени влияет на плавность, величину перекосных нагрузок, сопротивление движению, безопасность, бесперебойность и рентабельность эксплуатации кранов, а при отклонении параметров кранового пути от проектных велика вероятность повышенного износа, ранней выбраковки отдельных элементов пути, внепланового их ремонта и нерационального использования грузоподъемных механизмов.

В работах Н.А. Лобова [11, 12] установлено, что главными факторами, влияющими на износ крановых колес и подкрановых рельсов, является неблагоприятное сочетание перекоса всех колес, неравенство тяговых тормозных сил и сил сопротивления движению, значение коэффициента поперечной податливости, отношение пролета к базе, конструктивный зазор между ребрами колес и рельсами. Представляется целесообразным назначать нормы допусков планово-высотных характеристик наземных крановых путей, считая факторы износа крановых колес, рельсов, элементов трансмиссии решающими.

При перекосном состоянии пути и установочном перекосе колес (см. рис. 1) невозможно устойчивое прямолинейное движение крана, что приводит к повороту оси направления движения крана относительно оси пути. Самыми неблагоприятными факторами являются перекос колес в одну сторону и случай, когда передние и задние колеса перекошены в разные стороны [12]. В этих случаях наблюдается высокий уровень длительно действующих поперечных сил и сил сопротивления движению, являющихся главной причиной малого срока службы крановых колес и рельсового пути, а также выхода из строя приводных элементов. Таким образом, одним из наиболее важных мероприятий, направленных на повышение эффективности и надежности крановых путей, является исключение перекоса колес, т.е. обеспечение плавнос-

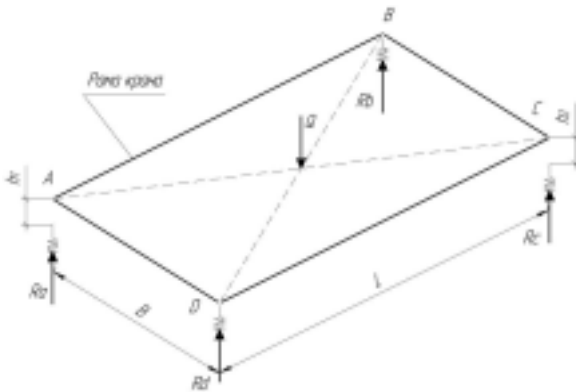


Рисунок 1. Расчетная схема крана при перекосном состоянии

ти и прямолинейности движения крана. Обеспечить это можно конструктивными мероприятиями.

Одним из наиболее существенных условий для плавности и стабильности процессов, происходящих при перемещении крана, является устойчивое прямолинейное движение. Для поддержания такого состояния некоторыми авторами [9, 10] предлагается использование конусных колес. Однако, согласно [12], устойчивое прямолинейное движение крана с отдельным приводом существует лишь при очень малых возмущающих воздействиях. Отсюда можно сделать вывод, что никакая система синхронизации, т.е. система автоматического поддержания равенства скоростей двух сторон крана существующей конструкции, не сможет увеличить область существования его устойчивых прямолинейных движений [12].

Существуют и другие способы сохранения прямолинейности движения крана. Опубликованное в работе [11] исследование показало, что применение в кранах с отдельным приводом жестко связанных холостых колес обеспечивает реальное устойчивое движение «назад» в большом диапазоне возмущающих воздействий. Вместе с тем движение крана с отдельным приводом «вперед» стало не только практически, но и теоретически неустойчивым [12].

Относительно кранов с центральным приводом замена цилиндрических колес на конические целесообразна и экономически оправдана [11, 12].

На практике не всегда существует возможность обеспечения жесткой связи колес. Потому представляется необходимым рассмотреть другие способы уменьшения возмущающих воздей-

ствий для увеличения диапазона существования устойчивого прямолинейного движения, а также продления сроков службы элементов системы «колесо – рельс».

Другим мероприятием для увеличения области существования устойчивого прямолинейного движения крана с отдельным приводом на цилиндрических колесах, по мнению авторов статьи, является обеспечение постоянного, равномерного, равнозначного поперечного уклона рельсового пути в пределах допустимых норм. Тем более, что такие мероприятия не окажут значительного влияния на величину опрокидывающего момента крана, так, при нижнем расположении противовеса влияние уклона на величину опрокидывающего момента крана составляет порядка 5%, при верхнем расположении противовеса – порядка 20%. Из этого следует вывод о нецелесообразности назначения уклонов из условий опрокидывания крана, поскольку при проектировании кранов параметры пути учитываются, как правило, при расчете на устойчивость [1, 4].

Описанное мероприятие сделает движение крана более стабильным. Однако такая «стабильность» приведет к такому же стабильному износу одной стороны рельса и реборды. Уменьшить интенсивность износа можно применением твердых лубрикаторов, а при предельном износе – сменой рабочего канта рельса и реборды.

Долговечность крановых колес и рельсов можно продлить, по мнению авторов и других источников, одним из следующих способов:

- применением рационального, прочного материала и вида термообработки [12];
- применением твердой смазки реборды колес, исключая попадание на дорожку катания [12];
- изменением профиля реборды с целью повышения ее износостойкости [12];
- проведением конструктивных и иных мероприятий, направленных на уменьшение времени и уровня значений поперечных сил, приложенных к ходовым колесам и в целом крановой системе [12];
- уменьшением длины консолей концевых балок, на которых закреплены ходовые колеса [12];
- установлением оптимальной зависимости  $S/B$  (для мостовых кранов  $S/B < 6$ , где  $S$  – пролет,  $B$  – база крана [8]);
- предотвращением возникновения крити-

ческого угла поворота оси колеса относительно оси рельса, уменьшением конструктивных зазоров в системе «колесо – рельс» или созданием постоянного, равномерного, равнозначного поперечного уклона пути. Это позволит уменьшить вероятность наката и силы сопротивления движению крана;

– уменьшением зазора между ребордой и рельсом [13, 14, 15, 16]. Авторами статьи предлагается назначение конструктивного зазора  $\Delta$  (см. рис. 2) между боковой гранью рельса и ребордой при проектировании крана, исходя из геометрии выбранных, в каждом конкретном случае, колес и рельсов, минимально возможной (см. рис. 3):

$$\Delta = B - b = \delta_1 + \delta_2 = \delta_3 + \delta_4$$

Необходимо заметить, что в некоторых случаях может возникнуть необходимость назначения большего количества колес с меньшим диаметром или рельса с большей несущей способностью, однако это позволит минимизировать величины возмущающих воздействий, ударных нагрузжений элементов, сил сопротивления движению крана, а также увеличить ресурс системы «колесо – рельс»;

– назначением горизонтальной ступеньки в стыках, при проектировании, для конкретной конструкции системы «колесо – рельс», исходя из профиля реборды (уклона и высоты), угла поворота колеса, подуклонки рельса, а также соотношения пролета к базе  $S/B$  и конструктивного зазора  $\Delta$ .

Существующие значения допустимых отклонений ширины колеи представляются недостаточно объективными в силу большого разброса величин пролета и базы крана, упругой податливости металлоконструкции крана, зазоров между ребордами колес и рельсами, а также несоответствия некоторых нормативных документов, указанных выше. Потому предлагается нижеприведенная схема определения ширины (пролета) кранового пути (см. рис. 3). Значение ширины кранового пути предлагается определять по формуле:

$$S = \frac{S_{\text{внеш.}} + S_{\text{внут.}}}{2},$$

где  $S$  – ширина кранового пути по осям (центру) рельсов (направляющих),

$S_{\text{внеш.}}$  – ширина кранового пути по внешним граням головок рельсов (направляющих),

$S_{\text{внут.}}$  – ширина кранового пути по внут-

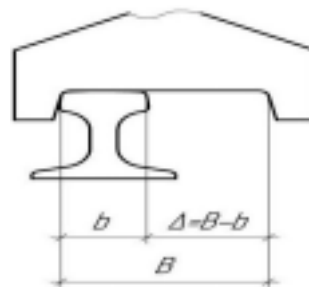


Рисунок 2. Схема определения конструктивного зазора;  $b$  – расчетная ширина головки рельса;  $B$  – расчетная ширина колеса

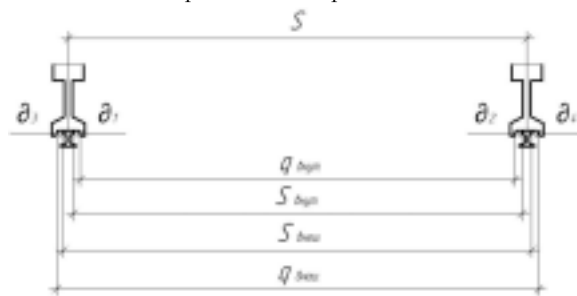


Рисунок 3. Схема определения ширины колеи кранового пути

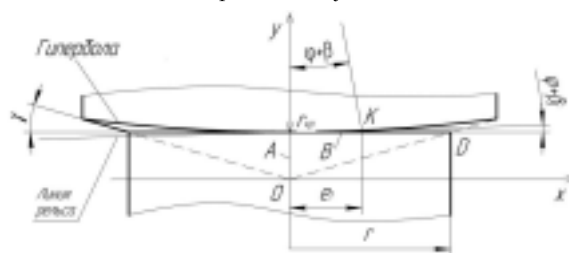


Рисунок 4. Схема образования гиперболы при измерении угла  $(\beta + \phi)$

ренним граням головок рельсов (направляющих).

Представляется целесообразным назначить допуски по ширине пролета  $S$  (колеи) как для пути, так и для крана равными:

$$\delta = \pm \left( \frac{1}{2} \Delta + \epsilon_q + \epsilon_s \right),$$

где  $\delta$  – допуск отклонения ширины колеи;

$\epsilon_q$  – горизонтальная упругая податливость пролета крана;

$\epsilon_s$  – горизонтальная упругая податливость рельса.

Величины горизонтальных упругих податливостей определяют для каждого конкретного случая выбранной конструкции «кран – путь» при проектировании.

Величина конструктивного зазора  $\Delta$  должна компенсировать максимальные разнозначные допустимые отклонения ширины колеи пути и крана  $-\delta_p (+\delta_p)$ . Таким образом:

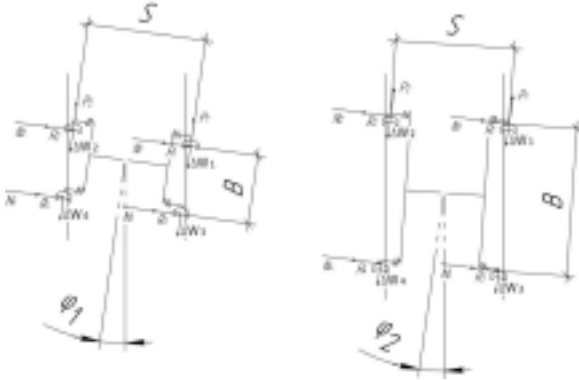


Рисунок 5. Расчетные схемы крана в режиме установившегося движения при контакте реборд с рельсами

$$-\delta_p + \delta_k = -\left(-\frac{1}{2}\Delta\right) + \frac{1}{2}\Delta = \Delta$$

Величина конструктивного зазора  $\Delta$ , а также ширина колеи как рельсового пути, так и крана имеют прямо пропорциональную зависимость от величины угла поворота оси колеса относительно оси рельса  $(\beta i + \varphi)$  (см. рис. 4) и, соответственно, сил сопротивления движения ( $W$ ), возникающих при контакте реборд ходовых колес с рельсами (см. рис. 5).

При контакте реборд ходовых колес с рельсами возникают силы сопротивления движению [12]:

$$\Delta W_i = |N_i| \cdot f \cdot \cos \gamma \cdot \frac{\sqrt{e_0 + \left(\frac{r}{\operatorname{tg} \gamma} \cdot (\beta i + \varphi)^2\right)}}{r}$$

где  $N_i$  – контактная сила между колесом и рельсом;

$f$  – коэффициент трения скольжения;

$\gamma$  – угол уклона реборды;

$e_0$  – забег;

$r$  – радиус колеса;

$(\beta i + \varphi)$  – угол поворота оси колеса относительно оси рельса;

$\varphi$  – угол поворота оси направления движения относительно оси пути.

Таким образом, силы сопротивления движению крана, по мнению авторов, зависят от:

- контактной силы;
- поперечного уклона пути;
- угла поворота колес;
- конструктивного зазора между колесом и рельсом;
- установочного перекоса;
- отношения пролета к базе крана.

Оптимизируя значения этих параметров, можно повысить эффективность, экономичность, надежность элементов систем «кран – путь», «колесо – рельс».

Для продления сроков службы, уменьшения темпов износа элементов системы «колесо – рельс», а также увеличения области существования устойчивого прямолинейного движения крана необходимо уменьшить предельную величину угла поворота оси колеса относительно оси рельса, назначая оптимальное ( $B > S$ ) отношение пролета к базе крана, уменьшая зазор между ребордой колеса и рельсом, обеспечивая постоянный равнозначный поперечный уклон пути. Учитывая разнообразие конструкций крана, а также индивидуальность использования кранового пути, рекомендуется назначать предельные значения ширины колеи при проектировании, принимая во внимание упругую податливость всех элементов системы. Такие мероприятия уменьшают возможность наката, заклинивание, уменьшают силы сопротивления движению крана, продлевают межремонтные сроки, повышают энергоемкость и т.д.

1.12.2010

#### Список литературы:

1. ГОСТ 28609-90. Краны грузоподъемные. Основные положения расчета. – Введ. 1992-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 5 с.
2. ГОСТ 27584-88. Краны мостовые и козловые электрические. – Введ. 1990-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 19 с.
3. ГОСТ Р 51248-99. Пути наземные рельсовые крановые. – Взамен СНИП 3.08.01-85; введ. 1999-06-01. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 8 с.
4. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов: ПБ 10-382-00. – Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 31.12.99 №98. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 125 с.
5. Комплексное обследование крановых путей грузоподъемных машин: РД 10-138-97. – Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 28.03.97 № 14, постановлением Минстроя России от 24.12.96 № 18-91. – М.: НПО ОБТ, 2004. – 20 с.
6. Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации наземных крановых путей: РД 50:48:0075.01.05 – Утверждены научно-техническим советом НПЦ «Путь К» 25.09.2002. – М.: ЗАО Научно-производственный центр «Путь К», 2005. – 148 с.
7. Требования к устройству и безопасной эксплуатации рельсовых путей козловых кранов: РД 10-117-95. – Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 08.08.95 №41. – М.: НПО ОБТ, 2001. – 20 с.
8. Технические условия на проектирование мостовых электрических кранов. М.: Изд. ВНИИПТМАШ, 1960. – 10 с.

9. Бессекерский, В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бессекерский, Е.П. Попов. – М.: Наука, 1975. – 767 с.
10. Ковальский, Б.С. Вопросы передвижения мостовых кранов / Б.С. Ковальский. – Луганск: Восточноукраинский государственный университет, 1998. – 39 с.
11. Лобов, Н.А. Динамика грузоподъемных кранов / Н.А. Лобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 157 с.
12. Лобов, Н.А., Динамика передвижения кранов по рельсовому пути / Н.А. Лобов. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 232 с.
13. Бук, В.А. Разработка методики определения динамических нагрузок кранов мостового типа на основе анализа случайных колебаний при движении: дис. ... канд. тех. наук. – Челябинск, 1986. – 235 с.
14. Иванов, В.Н. Исследование влияния реального пути и параметров приводных колес на движение мостового крана: дис. ... канд. тех. наук. – Харьков, 1983. – 204 с.
15. Конопля, А.С. Вопросы силового взаимодействия крановых силовых колес с рельсами: дис. ... канд. тех. наук. – Л., 1969. – 242 с.
16. Фомичев, В.Ф. Разработка методики определения динамических нагрузок в металлоконструкциях козловых кранов: дис. ... канд. тех. наук. – М., 1990. – 16 с.
17. Шевнин В.М. Моделирование процессов взаимодействия и обоснование рациональных параметров элементов системы «кран-путь»: дис. ... канд. тех. наук. – 1998. – 134 с.

Сведения об авторах:

**Миронов С.В.**, генеральный директор ЗАО НПП «Энергоаудит», кандидат технических наук, доцент  
**Кулешов И.В.**, аспирант кафедры технологии строительного производства архитектурно-строительного факультета Оренбургского государственного университета  
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, e-mail: tsppost@mail.ru

**UDC 621.87:625.143:621:86.01**

**Mironov S.V., Kuleshov I.V.**

**IMPROVING THE EFFECTIVENESS AND RELIABILITY OF GROUND CRANE WAYS TO OPTIMIZE THEIR GEOMETRICAL PARAMETERS**

The situation of normative and technical support of the norms requirements of tolerance of horizontal and vertical characteristics of the ground crane ways is investigated in this work. Some inconsistencies and lack of depth to develop a range of requirements of acceptable branching are revealed here. The authors identified critical factors for the efficient and reliable operation of a single mechanical system «Crane - the way». Also they suggest ways to determine the norms of tolerance. It is recommended that requirements for crane way at the design of the crane, depending on the features of their design.

Key words: crane, way, road safety, load variations, tolerance, warped condition, slope, ledge, «wheel - rail», «crane - the way», calculation scheme.

References:

1. GOST 28609-90. Cranes load-lifting substantive provisions of calculation. – Entered. 1992-01-01. – М : Izd-vo standartov, 1990. – 5 p.
2. GOST 27584-88. Cranes roadways and gantry electric. – Entered. 1990-01-01. – М : Izd-vo standartov, 1988. – 19 p.
3. GOST R 51248-99. Ways ground rail of crane. – In exchange SNiP 3.08.01-85; entered. 1999-06-01. – М : Izd-vo standartov, 1999. – 8 p.
4. Rules for the Construction and Safe Operation of load-lifting cranes: PB 10 – 382 – 00. – are confirmed by the decision of Gosgortekhnadzor of Russia from 31.12.99 №98. – М : Izd-vo standartov, 2001. – 125 p.
5. Complex inspection crane of load-lifting machines{cars}: RD 10 – 138 – 97: – are confirmed by the Decision of Gosgortekhnadzor of Russia from 28.03.97 14, decision Ministry of construction of Russia from 24.12.96 18-91. – М : NPO OBT, 2004. – 20 p.
6. Recommendations on the device and safe operation ground crane ways: RD 50:48:0075.01.05: – are confirmed by scientific and technical advice NPTS « the Way To » 9/25/2002. – М : ZAO Nauchno-proizvodstvennyy centr «Put-K», 2005. – 148 p.
7. Requirements to the device and safe operation of railway lines gantry cranes: RD 10 – 117 : – are confirmed by the decision of Gosgortekhnadzor of Russia from 08.08.95 №41. – М : NPO OBT, 2001. – 20 p.
8. Specifications on designing of bridge electric cranes // М. : Izd. VNIPTMASH, 1960. – 10 p.
9. Bessekersky, V.A. Theor of systems of automatic control / V.A.Bessekersky, E.P. Priests. – М : Nauka, 1975. – 767 p.
10. Kowalski, B.S. Question of movement of bridge cranes / B.S.Kowalski. –Lugansk: East Ukraine university, 1998. – 39 p.
11. Lobov, N.A. Dynamics of load-lifting cranes / N.A.Lobov. – М : Mashinostroenie – 1987. – 157p.
12. Lobov, N.A., Dynamics of movement of cranes on a rail way / N.A.Lobov. – М : Izdatelstvo MGTU im. N.E.Bauman. – 2003. – 232 p.
13. A beech, V.A. Development of a technique of definition of dynamic loadings of cranes of bridge type on the basis of the analysis of casual fluctuations at movement: dissertation. ... Cand.Tech.Sci. – Chelyabinsk, 1986. – 235 p.
14. Ivanov, V.N. Research of influence of a real way and parameters drive wheels on movement of the bridge crane: dissertation. ... Cand.Tech.Sci. – Kharkov, 1983. – 204 p.
15. A hemp, A.S. Question of power{force} interaction crane power wheels with rails: dissertation. ... Cand.Tech.Sci.-, 1969. – 242 p.
16. Fomitchyov, V.F. Development of a technique of definition of dynamic loadings in metalware gantry cranes: dissertation. ... Cand.Tech.Sci.-, 1990. – 16 p.
17. Modelling of processes of interaction and a substantiation of rational parameters of elements of system «crane-way»: dissertation. ... Cand.Tech.Sci. – 1998. – 134 p.