

Машины и Установки

проектирование, разработка и эксплуатация

Сетевое издание
МОО "Стратегия объединения"
<http://maplants-journal.ru>

Ссылка на статью:
//Машины и установки: проектирование,
разработка и эксплуатация.
Электрон. журн. 2025. № 2. С. 39 – 46

DOI:

Представлена в редакцию: 03.06.2025

Принята к публикации: 04.08.2025

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621.86

Мостовой кран с двухуровневой конструктивной схемой

Заярный С. Л.,
Павлов И. Д.*

* slepova0330@gmail.com

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
(г. Калуга, Россия)

Предложен вариант конструктивного исполнения двухуровневой схемы мостового крана, состоящей из опорного мостов и грузового моста с грузовой тележкой. Разработана расчетная схема определения сопротивления передвижению грузового моста и грузовой тележки, вызванного деформациями несущей системы двухуровневого мостового крана. Рассмотрены конструктивные варианты компенсации углов уклона, вызванных деформациями несущей системы двухуровневого мостового крана, в частности с применением двухуровневого концевой балки опорного моста с упругими связями. Показана эффективность использования двухуровневой схемы мостового крана.

Ключевые слова: мостовой кран, несущая система, двухуровневая схема, сопротивление передвижению, компенсация сопротивления передвижению.

Введение

В промышленности применяются модели кранов мостового типа с широким диапазоном характеристик [1 – 4]. Выбор определяется особенностями сферы использования и параметрами грузов. Как правило, в мостовых кранах используют пролетные балки коробчатого сечения, их использование обусловлено их высокой жесткостью на кручение в горизонтальной плоскости, а также высокой общей устойчивостью при изгибе. Это позволяет, в случае их использования в металлоконструкции двух балочного моста крана, обеспечить их грузоподъемность до 500т, при величине пролета до 34,5 м.

Использование пролетных балок двутаврового сечения для металлоконструкции моста крана, ограничено их невысокими жесткостями на кручение и в горизонтальной плоскости, а также невысокой общей устойчивостью при изгибе. Это ограничивает их использование до грузоподъемности крана 1-10т в пролетах 4,5-16,5 м. Вместе с тем, металлоконструкция мостового крана, выполненная из балок двутаврового сечения, в случае замены ими балок коробчатого сечения, обладает рядом преимуществ, к которым относятся: большая технологичность; меньшая себестоимость; меньшая материалоемкость; лучшие эксплуатационные характеристики в связи с отсутствием закрытых полостей не доступных для визуального осмотра и ремонта [5, 6].

Основная часть

Рассмотрим предлагаемую конструкцию мостовой крана, выполненного по двухуровневой схеме. Такой мостовой кран состоит из установленных один на другом, грузовым и опорным мостами, металлоконструкции пролетных строений которых выполнены из прокатного двутавра. Концевые балки опорного моста опираются на ходовую систему крана, выполненную в виде ходовых и опорных рам, скрепленных через упругие опоры [7 - 9], с возможностью относительного перемещения в вертикальном направлении. Грузовой мост, установлен на опорном мосту таким образом, что его пролетные балки расположены вдоль пролетных балок опорного моста, а однонаправленные перемещения, грузового моста и установленным на нем грузоподъемным устройством, состоящим из подвижной, или установленной на грузовой тележке, стационарной тали, синхронизированы, и обеспечиваются приводными колесами грузового моста и сопряженным с ними канатным приводом грузовой тележки. Канатный приводом грузовой тележки, установленной между ней и опорным мостом, обеспечивающим одновременное достижение грузовым мостом и грузовой тележкой, своих средних и крайних положений. Механические характеристики упругих опор определены таким образом, что их деформация от нагрузки, изменяющейся с изменением однонаправленного синхронизированного перемещения грузового моста и грузовой тележки, обеспечивают формирование уклона опорного моста противоположного направления и величины, по отношению к направлению и величине уклона, препятствующего перемещению грузовой тележки, формирующемуся при деформациях пролетных балок опорного и грузового мостов, и изменении углового положения грузового моста.

Такая конструктивная схема позволяют получить: повышение эффективности конструкции мостового крана с большой величиной пролета, использованием в его металлоконструкции прокатных балок двутаврового сечения, изготовленных из материалов повышенной прочности; обеспечение благоприятного перераспределения грузовых нагрузок по длине пролетного строения крана с учетом особенностей его функционирования;

снижение сопротивления перемещению грузовой тележки мостового крана, от увеличения углов уклона подкранового рельса, вызванных увеличением упругих деформаций;

металлоконструкции мостового крана при использовании в ней материалов с высокими механическими характеристиками; снижение материалоемкости металлоконструкции крана в целом.

На рис. 1 представлен мостовой крана с двухуровневой конструктивной схемой, состоящий из: опорного моста 1, установленного на ходовые колеса 2 оборудованные приводом; грузового моста 3, установленного на ходовые колеса 4 оборудованные приводом; грузоподъемного устройства 5, выполненного в виде подвижной тали известной конструкции 6, с канатным приводом 7.

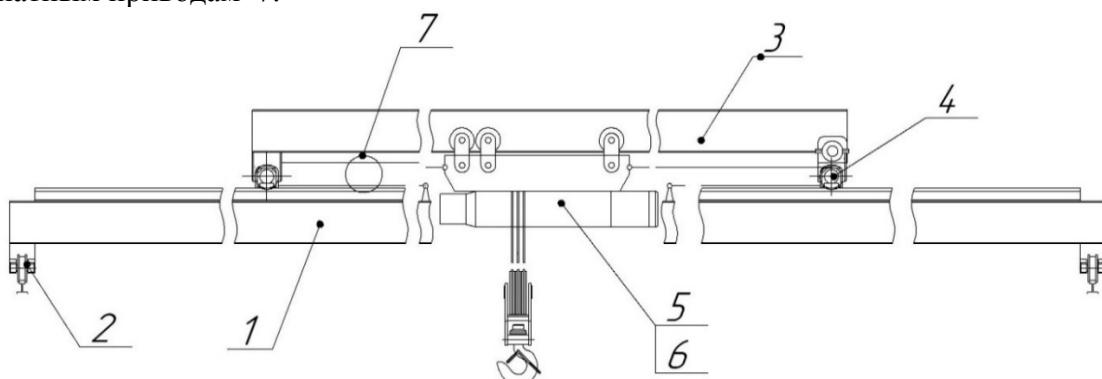


Рис.1. Мостового крана с двухуровневой конструктивной схемой

Особенность функционирования заявленного мостового крана, в отличие от известных аналогов, определяется его двухуровневой конструктивной схемой, нижним уровнем которой является опорный мост, перемещающегося посредством ходовых колес, оборудованных приводами, по подкрановым балкам, а верхним уровнем которой является грузовой мост, перемещающейся, по пролетным балкам опорного моста, приводом посредством ходовых колес. При этом, грузоподъемное устройство, перемещается односторонне грузовому мосту, по пролетной балке, посредством ходовых колес, в варианте однобалочного грузового моста, или по пролетным балкам, в варианте двухбалочного грузового моста. При этом, перемещение приводом грузового моста, синхронизируется, посредством канатного привода, состоящего из симметрично установленных двух канатных тяг, проходящих через обводные блоки, установленные на осях ходовых колес передвижения грузоподъемного устройства и симметрично закрепленных своими концами на грузоподъемном устройстве 5 и кронштейнах, установленных на пролетных балках опорного моста, с односторонним перемещением грузоподъемного устройства, из условия одновременное достижение ими своих крайних положений.

При этом, односторонние синхронизированные перемещения грузового моста и грузоподъемного устройства, с одновременным достижением ими своих крайних и средних положений, обеспечивается сочетанием геометрических размеров мостового крана, при котором разность баз (расстояний между осями ходовых колес) опорного и грузового мостов, равняется разности баз грузового моста и грузоподъемного устройства.

Расчетная схема условий нагружения и деформирования пролетного строения заявленного крана, представлена на рис.2. Так если, в пределах верхнего уровня, нагрузка G от грузоподъемного устройства 4 распределяется, между опорными реакциями R_a, R_b грузового моста пропорционально его положения на пролетной балке 1, то, с учетом синхронизации положения грузоподъемного устройства 4 относительно грузового моста 3, и положения грузового моста 3 относительно опорного моста 1, величина грузовой нагрузки в средней части опорного моста 1 не может быть больше $G/2$. Тем самым, и с учетом соотношения длин опорного и грузового мостов, обеспечивается минимизация действующих изгибающих моментов в элементах пролетного строения заявленного крана, что предопределяет конструктивную реализацию рациональных прочностных и весогабаритных характеристик элементов его металлоконструкции.

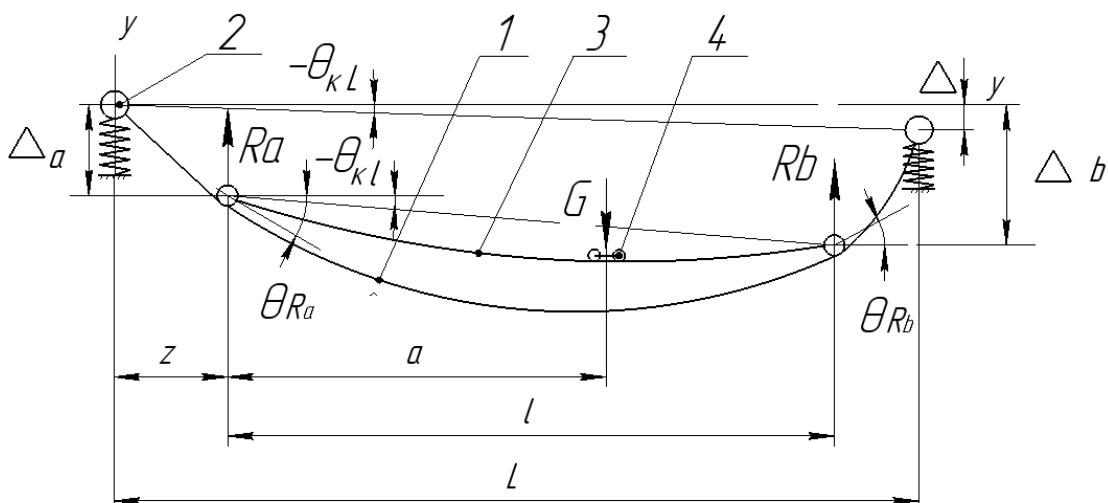


Рис.2. Расчетная схема двухуровневого мостового крана

Пролетные балки опорного моста выполнены из двутаврового проката и соединены с концевыми балками раскосами, что, аналогично пролетным балкам однобалочных кранов, обеспечивает повышение их жесткости и общей устойчивости. Это обусловлено тем, установка раскосов уменьшает эффективную длину пролетной балки l_{ef} , что обеспечивает повышение величины критической нагрузки, по условию обеспечения общей устойчивости балки, при прочих равных условиях, пропорционально величине $\left(\frac{1}{l_{ef}}\right)^2$.

Увеличению критической нагрузки способствует также перераспределение грузовым мостом грузовой нагрузки по длине пролетного строения опорного моста.

Так если, положение a нагрузки F на пролетной балке длиной l_{ef} , и при $a/l_{ef} = 0,5$, $F = F_{kp}(a/l_{ef} = 0,5)$, то в диапазоне $0,1 < a/l_{ef} < 0,25$, величина критической нагрузки может быть аппроксимирована зависимостью

$$F_{kp}(0,1 < a/l_{ef} < 0,25) = F_{kp}(a/l_{ef} = 0,5)/(0,1 + 2,3a/l_{ef}).$$

Если по условию синхронизации перемещения грузоподъемного устройства и грузового моста, соотношение длин опорного и грузового мостов определяется расчетом и приблизительно составляет 2:1, то $a/l_{ef} < 0,25$.

В этом случае,

$$F_{kp}(0,1 < a/l_{ef} < 0,25) > 1,5F_{kp}(a/l_{ef} = 0,5)$$

Сопротивление перемещению груза, вдоль оси заявленного двухуровневого мостового крана, складывается из сопротивления перемещению грузовой мост 3, по пролетным балкам опорного моста 1, и сопротивления перемещению грузоподъемного устройства 4 по пролетным балкам грузовой мост 3. На рис.2 представлена расчетная схема мостового крана, поясняющая формирование сопротивления перемещению груза, вдоль оси заявленного двухуровневого мостового крана.

Сопротивление передвижению грузового моста F_{tm} складывается из:

сопротивления передвижению грузового моста, вызванного деформациями опорного моста от собственного веса и опорных реакций ходовых колес грузового моста

$$F_{tmR} = (\theta_{a,R_a} + \theta_{a,R_b} + \theta_{a,q})R_a + (\theta_{b,R_b} + \theta_{b,R_a} + \theta_{b,R_b})R_b,$$

сопротивления передвижению грузового моста вызванного изменением его положения

$$F_{tmg} = G_{tm}\theta_{ab},$$

где R_a, R_b – опорные реакции по ходовым колесами a, b ; $\theta_{a,R_a}, \theta_{a,R_b}, \theta_{a,q}$ – углы уклона рельсового пути пролетного строения опорного моста под колесами a , вызванные, соответственно, опорными реакциями R_a, R_b и собственным весом q пролетного строения грузового моста; $\theta_{b,R_b} + \theta_{b,R_a} + \theta_{b,R_b}$ – углы уклона рельсового пути пролетного строения опорного моста под колесами b , вызванные, соответственно, опорными реакциями R_a, R_b и собственным весом q пролетного строения грузового моста; G_{tm} -вес грузового моста; $\theta_{ab} = \frac{1}{l}(\Delta_a - \Delta_b)$ - углы уклона рельсового пути грузового моста, вызванный изменением его положения на опорном мосту.

Сопротивление передвижению грузоподъемного устройства определяется углами уклонов, вызванных деформациями грузового моста от собственного веса, опорных реакций ходовых колес грузоподъемного устройства и изменением положения грузового моста

$$F_{tt} = (\theta_{t,G_t} + \theta_{t,G_Q} + \theta_{t,qg} + \theta_{ab})G,$$

где $\theta_{t,qg}, \theta_{t,G_t}, \theta_{t,G_Q}$ – углы уклонов, вызванные деформациями грузового моста от собственного веса и опорных реакций ходовых колес грузоподъемного устройства; G - все грузоподъемное устройство.

Общее сопротивления передвижению грузового моста и грузоподъемного устройства, определяется как функция от перемещения грузового моста Δz_m , соотношением

$$F_{\Sigma}(\Delta z_m) = F_m + 2F_{rt},$$

где, коэффициент «2» учитывает кратность канатного привода передвижения грузоподъемного устройства.

Конструкция мостового крана с двухуровневой конструктивной схемой предусматривает компенсацию общего сопротивления передвижению грузового моста и грузоподъемного устройства, посредством установки опорного моста на упругие опоры деформация которых от нагрузки, изменяющейся с изменением одностороннего синхронизированного перемещения грузового моста и грузоподъемного устройства, обеспечивают формирование компенсирующего уклона θ_{kl} моста, и тем самым формирование скатающего усилия, противоположного направления и величины, общему сопротивлению передвижению грузового моста и грузоподъемного устройства.

Величина компенсирующего уклона определяется соотношением

$$\theta_{kl} = \Delta R_{AB} \vartheta_{op} / L,$$

где $\Delta R_{AB} = R_A - R_B$; R_A, R_B – опорные реакции в опорах А, В, опорного моста; ϑ_{op} – податливость упругих опор.

Компенсация сопротивления передвижению грузовой системы (тележка + мост), определяется как функция от Δz_m и параметра ϑ_{oq} ,

$$F_k(\Delta z_m, \vartheta_{oq}) = (2G + G_m)\theta_{kl},$$

где коэффициент «2» учитывает кратность канатного привода передвижения грузоподъемного устройства.

Величина податливости упругих опор определяется из условия

$$\Delta F(\Delta z_m, \vartheta_{oq}) = |F_{\Sigma}(\Delta z_m) - F_k(\Delta z_m, \vartheta_{oq})| \Rightarrow min,$$

Или с учетом синхронизации перемещения грузового моста и грузоподъемного устройства

$$\Delta F(Z_t, \vartheta_{oq}) = |F_{\Sigma}(Z_t) - F_k(Z_t, \vartheta_{oq})| \Rightarrow min,$$

где $Z_t = \frac{L}{2} + 2\Delta z_m$ - координата положения груза.

Выводы

Эффективность использования двухуровневой схемы мостового крана определяется несколькими показателями: повышение эффективности конструкции мостового крана с большой величиной пролета, использованием в его металлоконструкции прокатных балок двутаврового сечения, изготовленных из материалов повышенной прочности; обеспечение благоприятного перераспределения грузовых нагрузок по длине пролетного строения крана с учетом особенностей его функционирования; снижение сопротивления перемещению грузовой тележки мостового крана, от увеличения углов уклона подкранового рельса, вызванных увеличением упругих деформаций металлоконструкции мостового крана при использовании в ней материалов с высокими механическими характеристиками; снижение материалаомкости металлоконструкции крана в целом.

Список литературы

- Гохберг М. М., Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. Машиностроение, 1969, 520с.с.198.
- Шабашов А. П., Лысяков А. Г. Мостовые краны общего назначения.-М.: Машиностроение, 1980. 304 с.

3. Справочник по кранам: В 2 т. Под общ. Ред. М. М. Гохберга. М.: Машиностроение, 1988. Т. 1. 536 с.: ил.
4. Соколов С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин: Учебное пособие- СПб.: Политехника, 2005. 423 с.
5. Соколов С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин: Учебное пособие- СПб.: Политехника, 2005. 423 с.
6. Патент 2803209. Российская Федерация. Зарегистрирован в Госреестре изобретений РФ 11.09.2023 г. [Электронный ресурс]: <https://patenton.ru/patent/RU2803209C2>. Доступ 15.04.2025.
7. Патент 2812012. Российская Федерация. Зарегистрирован в Госреестре изобретений РФ 22.01.2024 г. [Электронный ресурс]: <https://patenton.ru/patent/RU2812012C2>. Доступ 15.04.2025
8. Заярный С.Л., Павлов И.Д. Система компенсации угла уклона подтележечного рельсового пути мостового крана. // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. 2024; (2): 1 - 12. Режим доступа: <https://www.maplants-journal.ru/jour/article/view/117> (дата обращения 19.04.2025).
9. Заярный С.Л., Павлов И.Д. Конструктивная реализация кинематического способа компенсации углов уклона рельсового пути пролетного строения мостового крана // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2024. № (48). С. 006-009. URL: <http://nto-journal.ru/uploads/articles/bcc329e5cd57299304831a4fdb61d2bb.pdf> (дата обращения 19.04.2025)

АВТОРЫ

Заярный Сергей Леонидович, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Подъемно-транспортные системы» Калужского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана, texnakon@yandex.ru.

Павлов Иван Дмитриевич, кафедра «Подъемно-транспортные системы» Калужского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана, slepcova0330@gmail.com

Machines & Plants Design & Exploiting

Electronic journal
International Public Organization
“Integration strategy”
<http://maplants-journal.ru>

Link to the article:
//Machines and Plants:Design and Exploiting.
2025. № 2. pp. 39 – 46

DOI:

Received: 03.06.2025

Accepted for publication: 04.08.2025

© International Public Organization “Integration strategy”

Overhead crane with two-level design scheme

Sergey L. Zayarny,
Ivan D. Pavlov*

* slepcova0330@gmail.com

Kaluga Branch of the Bauman Moscow State
Technical University, Moscow, Russian
Federation

A variant of the structural design of a two-level bridge crane scheme consisting of a support bridge and a cargo bridge with a cargo truck is proposed. A calculation scheme has been developed for determining the resistance to movement of a cargo bridge and a cargo truck caused by deformations of the load-bearing system of a two-level overhead crane. Constructive options for compensation of slope angles caused by deformations of the bearing system of a two-level overhead crane are considered, in particular, using a two-level end beam of a support bridge with elastic connections. The efficiency of using a two-level bridge crane scheme is shown.

Keywords: Overhead crane, load-bearing system, two-level circuit, resistance to movement, compensation of resistance to movement.

References

1. Gokhberg M. M., Metal structures of lifting and transport machines. Mashinostroenie, 1969, 520s.p.198.
2. Shabashov A. P., Lysyakov A. G. General purpose overhead cranes. Moscow: Mashinostroenie, 1980. 304 p.
3. Reference book on cranes: In 2 volumes. Under the general Editorship of M. M. Gokhberg. Moscow: Mashinostroenie, 1988. Vol. 1. 536 p.: ill.
4. Sokolov S.A. Metal structures of lifting and transport machines: A textbook- St. Petersburg: Polytechnic, 2005. 423 p.
5. Sokolov S.A. Metal structures of lifting and transport machines: A textbook- St. Petersburg: Polytechnic, 2005. 423 p.
6. Patent 2803209. Russian Federation. Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation on 11.09.2023 [Electronic resource]: <https://patenton.ru/patent/RU2803209C2>. Accessed 04/15/2025.
7. Patent 2812012. Russian Federation. Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation on 22.01.2024 [Electronic resource]: <https://patenton.ru/patent/RU2812012C2>. Accessed 04/15/2025.
8. Zayarny S.L., Pavlov I.D. A system for compensating the angle of inclination of the underlay rail path of an overhead crane. // Machines and installations: design, development and operation.

2024;(2):1 - 12. Access mode: <https://www.maplants-journal.ru/jour/article/view/117> (accessed 04/19/2025).

9. Zayarny S.L., Pavlov I.D. Constructive implementation of a kinematic method for compensating the slope angles of a rail track of a bridge crane superstructure // Electronic journal: science, technology and education. 2024. No. (48). pp. 006-009. URL: <http://nto-journal.ru/uploads/articles/bcc329e5cd57299304831a4fdb61d2bb.pdf> (accessed 04/19/2025).

AUTHORS

Sergey L. Zayarny, Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University,
texnakon@yandex.ru

Ivan D. Pavlov, Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University,
slepcova0330@gmail.com.