УДК 631.313

ПУТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ, БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПУТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РАСКАЧИВАНИЯ ГРУЗОВОГО ПОДВЕСА

Л.А.ГОЛДОБИНА, *д-р техн. наук, профессор, kaf-sgp@mail.ru*
Санкт-Петербургский горный университет, Россия
П.С.ОРЛОВ, *д-р техн. наук, профессор, p.orlov@yarcx.ru*
Ярославская государственная сельскохозяйственная академия, Россия

В статье рассмотрены особенности возведения уникальных строительных объектов, в частности высотных, которые связаны, прежде всего, с неустранимым колебательным процессом грузового подвеса. Приведены результаты исследования негативного влияния раскачивания грузового подвеса при производстве строительно-монтажных и грузоподъемных работ, проанализированы существующие и представлены разработанные авторами статьи инженерно-технические решения, направленные на обеспечение безопасности и эффективности строительного производства путем стабилизации процесса раскачивания груза на грузовом подвесе. Предложено теоретическое обоснование разработанных на уровне изобретений инженерно-технические решений, принципом действия которых является гироскопический эффект.

Ключевые слова: строительно-монтажные работы, подъемно-транспортное оборудование, подъемно-транспортные машины, башенные краны, безопасность, надежность, стабилизация процесса раскачивания грузового подвеса, уменьшение колебаний.

Строительство высотных объектов, в том числе уникальных зданий и сооружений, таких как гидротехнические сооружения; объекты космической и авиационной инфраструктуры; объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования; метрополитены; морские порты, уникальные объекты капитального строительства высотой более 100 м, – требует внедрения новых технологий с широким использованием подъемно-транспортных машин, и прежде всего, строительных кранов, обеспечивающих точную посадку груза в проектное положение.

Особенности современного экономического положения предприятий требуют создания конкурентоспособных машин, обеспечивающих высокую производительность строительно-монтажных и погрузочно-разгрузочных работ, надежную и безопасную их эксплуатацию. При этом должна быть обеспечена как безопасность оператора, осуществляющего деятельность внутри сложной эргатической системы, так и безопасность людей, находящихся в зоне ее внешнего влияния (члены бригады, стропальщики и др.).

К вопросу возведения строительных объектов, прежде всего высотных, в разных странах подходят по-разному. Так, например, в США строительство осуществляется с помощью рабочих платформ, которые закрепляются на металлоконструкции здания или в лифтовых шахтах. В России же при строительстве подобных сооружений традиционно применяются башенные краны. И хотя в последнее время изменились технологии возведения строительных объектов, башенные краны остаются ведущими грузоподъемными машинами, посредством которых выполняются практически все подъемно-транспортные работы при монтаже строительных элементов высотных объектов.

При этом следует отметить, что эксплуатация грузоподъемных кранов связана с высокой аварийностью, в том числе и со смертельным исходом. По данным Ростехнадзора,

больше половины аварий при эксплуатации грузоподъемных кранов произошло по техническим причинам и в основном из-за нарушения технологии производства работ и неудовлетворительного состояния технических устройств [3, 4, 5, 21].

Травматизм, вызываемый аварийностью строительных кранов при производстве строительно-монтажных работ, возникает вследствие отказов отдельных компонентов системы «человек – строительная машина – среда» (ОСМС), а поэтому устранение технических неисправностей машин и механизмов, совершенствование их конструкций должно осуществляться разработкой и внедрением мероприятий по активной, пассивной и послеаварийной безопасности.

Основными направлениями в развитии современного подъемно-транспортного оборудования являются:

– разработка качественно новых и модернизация существующих подъемно-транспортных машин с целью автоматизации погрузочно-разгрузочных и строительно-монтажных процессов, повышения их надежности и долговечности;

– применение автоматических и полуавтоматических грузозахватных устройств, автоматических приборов управления и контроля, способствующих повышению производительности подъемно-транспортных машин (ПТМ), снижению нагрузок на несущие конструкции и механизмы, обеспечению безопасности и облегчению условий труда оператора ПТМ и других участников строительства на строительной площадке.

Одним из таких направлений развития подъемно-транспортного оборудования является создание устройств, позволяющих снизить раскачивание гибкого грузового подвеса башенного крана при возведении строительных объектов.

Неустранимый колебательный процесс грузового подвеса в вертикальной и горизонтальной плоскостях влечет за собой снижение производительности крана, поскольку требуется больше времени на наводку и точную посадку груза или конструкции в проектное положение. Раскачивание груза приводит к колебаниям металлоконструкции крана, которые вызывают вибрации кабины, оказывающие вредное и порой опасное воздействие непосредственно на оператора. Осуществляя монтажные работы в течение смены под действием низкочастотных вибраций, оператор находится в состоянии «морской качки», которому свойственны рассредоточение внимания, быстрая утомляемость, головокружение, тошнота. В таком состоянии оператор становится потенциально опасным, поскольку он несет ответственность как за собственную безопасность, так и за безопасность людей на строительной площадке. Кроме того, канаты грузового подвеса при постоянных колебаниях в разных плоскостях участвуют в процессе скручивания и раскручивания, что ведет к их преждевременному износу и возможному внезапному обрыву, а это, в свою очередь, может стать причиной несчастного случая на производстве. Поэтому проблема гашения колебаний груза актуальна при обеспечении сопротивления усталости металлических конструкций безопасных условий труда крановщику и членам бригады.

Следует также отметить, что помимо причин, перечисленных выше и объясняющих несомненную актуальность поставленной задачи, существуют и другие, над решением которых уже долгие годы работают зарубежные и отечественные специалисты: М.П.Александров, А.А.Алейнер, В.И.Брауде, А.А.Вайнсон, Д.П.Волков, Н.И.Григорьев, С.А.Казак, В.Ф.Сиротский и др. [1, 2, 6-8, 18, 22-24].

Систематизация и анализ способов и устройств, стабилизирующих процесс раскачивания груза, позволили сделать вывод о том, что решение проблемы следует искать как в источнике возбуждения, так и в самой колебательной системе. Поэтому мероприятия, направленные на снижение или устранение процесса раскачивания грузового подвеса можно разделить на два направления: изменение приводного механизма (фактора возбуждения) и изменения системы подвеса груза (фактора колебательной системы).

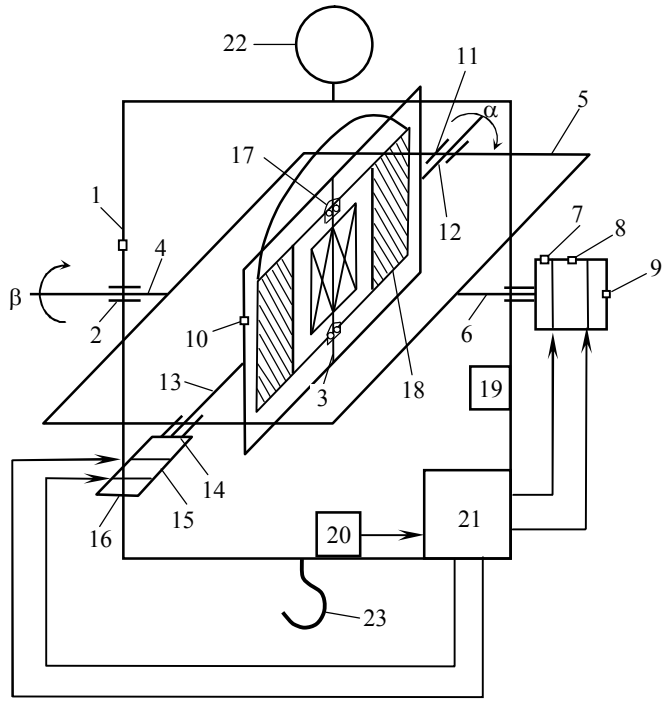


Рис.1. Схема устройства для гашения колебаний груза, подвешенного на канате строительного крана

1 – корпус; 2 – подшипники; 3 – ось устройства центральная вертикальная; 4 – ось устройства центральная поперечная горизонтальная; 5 – рама горизонтальная; 6 – вал; 7 – редуктор; 8 – электродвигатель прецессионный; 9 – тормоз; 10 – рама вертикальная; 11 – подшипники; 12 – ось устройства центральная продольная горизонтальная; 13 – вал; 14 – редуктор; 15 – электродвигатель прецессионный; 16 – тормоз; 17 – подшипники; 18 – двигатель асинхронный; 19 – датчик угла; 20 – датчик периода; 21 – микропроцессорный блок; 22 – подвеска; 23 – крюк грузовой

К таким мероприятиям, например, относятся: *V*-образная запасовка канатов с дополнительным демпфированием; демпфирование с применением дополнительного каната; использование трения на канатных блоках; воздействие на органы управления краном с формированием сигналов управления приводами механизмов перемещения стрелы и (или) грузовой тележки; задание допустимого отклонения ветвей грузового каната от вертикального положения и др. Мероприятия по уменьшению колебаний груза могут привести к существенному повышению производительности труда (приблизительно на 20 %) [2-5, 7, 10, 12-14, 13-15, 18-20, 25].

Авторами статьи на уровне изобретений был разработан ряд инженерно-технических решений, принципом действия которых является гироскопический эффект [3-8].

Задача изобретений – повышение эффективности гашения колебаний в двух взаимно перпендикулярных вертикальных плоскостях за счет расширения его конструктивных особенностей известных устройств.

Одним из таких инженерно-технических решений является устройство для гашения колебаний груза, подвешенного на канате строительного крана (рис.1), отличающееся от известных тем, что содержит корпус 1, внутри которого через подшипники 2 симметрично расположены относительно центральной вертикальной оси 3 устройства, горизонтальная рама 5 установлена для поворота относительно центральной поперечной оси 4 устройства. Снаружи корпуса 1 на общем с горизонтальной рамой 5 валу 6 соосно установлены редуктор 7 прецессионного электродвигателя 8 и тормоз 9. С горизонтальной рамой 5 внутренним образом шарнирно соединена вертикальная рама 10 посредством подшипников 11, симметрично расположенных относительно центральной поперечной горизонтальной оси 4 устройства. На общем с вертикальной рамой 10 валу 13 соосно установлены: редуктор 14 прецессионного электродвигателя 15 и тормоз 16, имеющие с вертикальной рамой 10 общую ось, совпадающую с центральной продольной горизонтальной осью 12 устройства. Вертикальная рама 10 подвижно связана через подшипники 17 с асинхронным двигателем 18, имеющим с ней общую вертикальную ось 3. Внутри корпуса 1 жестко закреплены: датчик угла 19, датчик периода колебаний 20 и микропроцессорный блок 21, а снаружи корпуса 1 в верхней его части жестко закреплены подвеска 22, а в нижней – грузовой крюк 23 [13].

Гашение колебаний груза происходит автоматически по команде микропроцессорного блока 21, обрабатывающего сигналы датчиков угла 19 отклонения груза от вертикали и датчика периода колебаний 20. В зависимости от того, в какую сторону произошло отклонение груза от вертикали, автоматически приводятся в действие электродвигатели 8 и (или) 15 в сторону прецессии.

При отклонении грузового подвеса на угол β относительно оси 3 прецессия вертикальной рамы 10 с асинхронным двигателем 18 создается через редуктор 14 прецессионным электродвигателем 15, управляемым микропроцессорным блоком 21, обрабатывающим сигналы датчика угла 19 и датчика периода колебаний 20. Одновременно по сигналу микропроцессорного блока 21 растормаживается тормоз 16 вала 13 вертикальной рамы 10. Следствием прецессионного движения вертикальной рамы 10 с асинхронным двигателем 18 является гироскопический стабилизирующий момент.

Когда угол прецессии вертикальной рамы 10 от среднего положения достигнет предельного значения $\alpha = 30 \div 60°$, электродвигатель 15 отключается микропроцессорным блоком 21. Одновременно включается тормоз 16.

По окончании четверти периода колебаний датчик периода колебаний 20 сообщает сигнал на микропроцессорный блок 21, который формирует управляющие сигналы тормозу 16 и электродвигателю 15. Последний начинает вращаться в обратную сторону и по окончании полупериода колебаний приведет ось асинхронного двигателя 18 в вертикальное положение.

При отклонении грузового подвеса на угол в плоскости осей 3 и 4 (вокруг оси 12) прецессия горизонтальной рамы 5 с асинхронным двигателем 18, закрепленным в вертикальной раме 10, создается через редуктор 7 электродвигателем 8, управляемым микропроцессорным блоком 21, обрабатывающим сигналы датчика угла 19 и периода колебаний 20. Одновременно по сигналу микропроцессорного блока 21 начинается торможение 9 вала 6 вертикальной рамы 10. Следствием прецессионного движения горизонтальной рамы 5 с асинхронным двигателем 18 является гироскопический стабилизирующий момент.

Когда угол прецессии β горизонтальной рамы 5 от среднего положения достигнет предельного значения $\beta = 30 \div 60°$, электродвигатель 8 отключается микропроцессорным блоком 21. Одновременно включается тормоз 9.

По окончании четверти периода колебаний датчик периода колебаний 20 подает сигнал на микропроцессорный блок 21, который формирует управляющие сигналы тормозу 9 и электродвигателю 8, при этом он начинает вращаться в обратную сторону и по окончании полупериода колебаний приведет ось 3 асинхронного двигателя 18 в вертикальное положение.

Другое устройство, теоретически обоснованное и разработанное на уровне изобретения авторами статьи, – одноосный силовой гиростабилизатор (рис.2, 3) [5, 14].

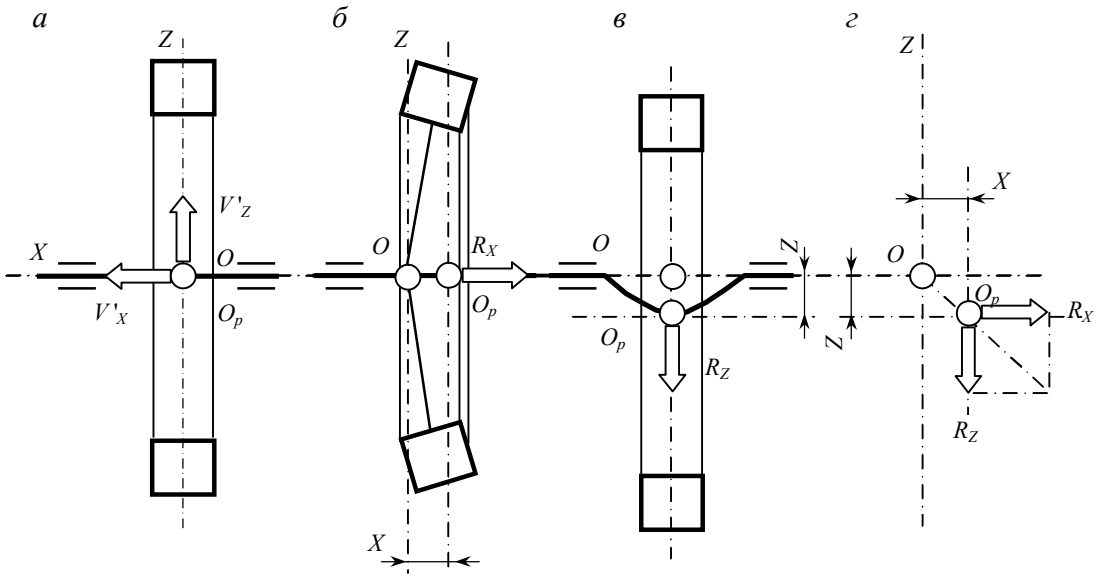


Рис.2. Смещение центра масс ротора гироскопа: *а* – ротор гироскопа; *б* – смещение центра масс ротора гироскопа вследствие упругих деформаций диафрагмы; *в* – смещение центра масс ротора гироскопа вследствие упругих деформаций вала ротора; *г* – смещение центра масс ротора гироскопа в общем случае

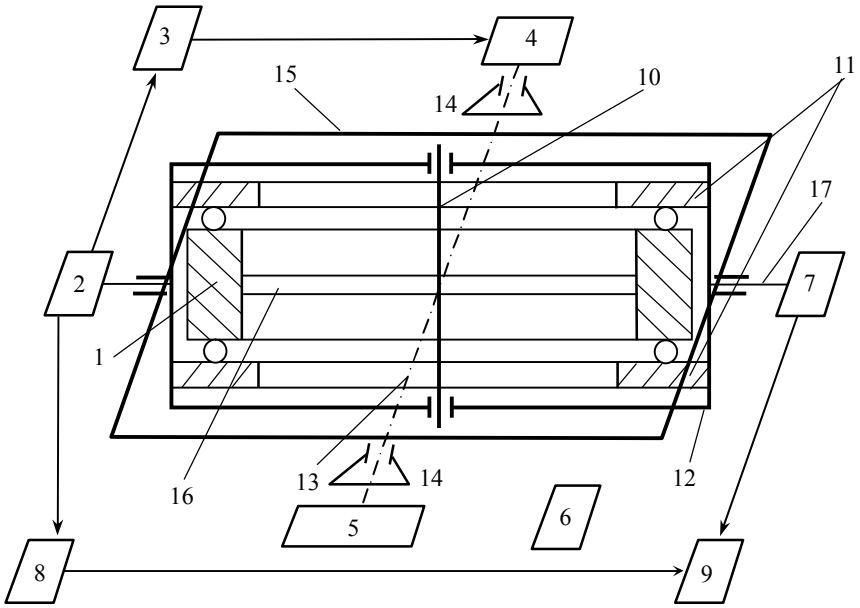


Рис.3. Одноосный силовой гиростабилизатор

1 – гироскоп; 2 – датчик угла прецессии вертикальной рамы гироскопа; 3 – усилитель стабилизации; 4 – двигатель стабилизации; 5 – акселерометр горизонтальной рамы гироскопа; 6 – усилитель коррекции; 7 – двигатель стабилизации горизонтальной рамы; 8 – оптимальный линейный фильтр; 9 – сумматор; 10 – вертикальная ось гироскопа; 11 – упорный горизонтальный подшипниковый узел; 12 –вертикальная рама; 13 – центральная продольная горизонтальная ось; 14 – стойки стабилизированной платформы объекта; 15 – горизонтальная рама; 16 – диафрагма; 17 – центральная поперечная горизонтальная ось

Технический результат обеспечивается тем, что для снижения процесса раскачивания объекта в двух вертикальных плоскостях ось гироскопа располагают вертикально, а наличие в устройстве упорного подшипникового узла – опоры для массивного обода ротора – исключает деформации оси и ротора гироскопа, а также возможные прецессии, вызванные деформациями и влияющие на точность стабилизации объекта. Значительные отклонения от горизонтального положения стабилизируемой платформы парируются прецессионным двигателем горизонтальной рамы совместно с двигателем стабилизации горизонтальной рамы.

В устройствах, использующих стабилизирующие свойства гироскопа, ротор вращается с большой угловой скоростью Ω, что создает кинетический момент $L = J\Omega$, необходимый для сохранения неизменного положения главной оси гироскопа в инерциальном пространстве. Угловые скорости отклонения главной оси гироскопа в инерциальном пространстве определяются значением кинетического момента гироскопа: чем больше кинетический момент $L = J\Omega$, тем меньше угловые скорости дрейфа оси гироскопа и выше точность работы устройства. Но одновременно с увеличением кинетического момента растут моменты внешних возмущающих сил. Для определения требований к конструкции ротора необходимо выяснить силы, создающие возмущающие моменты относительно осей подвеса гироскопа. Для этого рассмотрим идеально сбалансированный ротор, состоящий из массивного обода и гибкого вала, соединенных между собой тонкой диафрагмой (рис.2, *а*).

При равномерном движении объекта со скоростью V его ускорение $V' = 0$, а центр $O_р$ массы $m_р$ ротора совмещен с точкой O подвеса гироскопа (рис.2, *а*). При ускорениях положение точек $O_р$ и O будет нарушаться, и на гироскоп начнут воздействовать моменты возмущающих сил, вызывающие отклонения его от первоначального направления. В результате ускорений вдоль осей X и Z (рис. 2, *б*, *в*) возникнут силы инерции, которые вызовут деформации диафрагмы и вала ротора:

$$R_X = m_р V'_X; \quad R_Z = m_р V'_Z, \tag{1}$$

где R_X, R_Z – осевая и радиальная силы инерции; V'_X, V'_Z – осевое и радиальное ускорения. В результате центр $O_р$ массы $m_р$ ротора сместится относительно точки подвеса O на расстояния X и Z. Амплитуда деформаций зависит от осевой c_X и радиальной c_Z жесткостей диафрагмы и вала гироскопа и определяется из условий равенства упругих и инерциальных сил по координатным осям:

$$Xc_X = m_р V'_X; \quad Zc_Z = m_р V'_Z, \tag{2}$$

где X, Y – осевое и радиальное перемещения центра массы $O_р$ гироскопа от точки подвеса O.

В общем случае (рис.2, *г*) силы инерции R_X и R_Z создадут относительно оси Oy, проходящей через точку O подвеса, возмущающий момент:

$$M_и = R_X Z - R_Z X, \tag{3}$$

который вызовет прецессию гироскопа относительно осей подвеса ротора. Угловая скорость прецессии вокруг вертикальной оси подвеса Z

$$\psi'_и = \frac{M_и}{J\Omega} = \frac{m_р^2 V'_X V'_Z}{J\Omega}\left(\frac{1}{c_Z} - \frac{1}{c_X}\right). \tag{4}$$

Равнодействующая сил инерции R_X и R_Z, направленная по оси $O - O_р$, будет создавать на опоры, установленные на оси Y, силовое воздействие:

$$R = \sqrt{R_X^2 + R_Z^2}, \tag{5}$$

с моментом сил трения в подшипниках

$$M_т = \lambda\sqrt{R_X^2 + R_Z^2}. \tag{6}$$

Под влиянием момента у гироскопа тоже начнется прецессионное движение, угловая скорость которого определяется равенством:

$$\psi'_т = \frac{M_т}{J\Omega} = \frac{m_р \lambda}{J\Omega}\sqrt{V'^2_X + V'^2_Z}, \tag{7}$$

где λ – коэффициент момента сил трения.

Следовательно, для повышения характеристик гироскопического успокоителя необходимо уменьшить угловые скорости прецессионного движения.

Для выяснения влияния конструктивных параметров гироскопа на произведение угловых скоростей прецессии рассмотрим произведение (4) и (7):

$$\psi'_и \psi'_т = \lambda \frac{m_р^3 V'_X V'_Z}{J^2\Omega^2}\left(\frac{1}{c_Z} - \frac{1}{c_X}\right)\sqrt{V'^2_X + V'^2_Z}. \tag{8}$$

Заменив массу ротора его весом, получим

$$\psi'_и \psi'_т = \lambda \frac{V'_X V'_Z}{g^3}\frac{G^3}{J^2\Omega^2}\frac{c_X - c_Z}{c_Z c_X}\sqrt{V'^2_X + V'^2_Z}. \tag{9}$$

Анализ полученного равенства показывает, что ускорения стабилизируемого объекта, ускорение силы тяжести и коэффициент момента сил трения в опорах подвеса не зависят от параметров ротора гироскопа.

Для оценки рациональности конструктивного исполнения ротора гироскопа рассмотрим произведение второго и третьего сомножителей выражения (9) – коэффициент K, характеризующий работоспособность конструкции:

$$K = G\left(\frac{G}{J\Omega}\right)^2 \frac{c_X - c_Z}{c_X c_Z} \to 0. \qquad (10)$$

Исходя из значения коэффициента работоспособности K гироскопического успокоителя (10), рациональная конструкция возможна, когда кинетический момент гироскопа $L = J\Omega \to \infty$, а разность жесткостей ротора в осевом c_X и радиальном c_Z направлениях $(c_X - c_Z) \to \infty$.

Кинематический момент гироскопа можно повысить, увеличив число оборотов Ω ротора и сосредоточив большую часть массы гироскопа в его ободе большого диаметра 2 (рис.3), при этом разместив его на сравнительно тонкой диафрагме 16 [17].

Для исключения деформаций диафрагмы 16 и оси 10 гироскопа необходимо опереть массивный обод гироскопа 1 на упорный подшипник 11, размещенный в вертикальной раме 12 и парирующий осевые и отчасти радиальные деформации, в результате чего жесткость опор ротора в осевом c_X и радиальном c_Z направлениях будет примерно одинаковой ($c_X \cong c_Z$).

Выводы

Разработанные на уровне изобретений инженерно-технические решения, принципом действия которых является гироскопический эффект, направлены на решение актуальной проблемы по успокоению груза на канате строительного крана. По мнению авторов, они помогут обеспечить безопасность на строительной площадке, снизить энергетические затраты оператора башенного крана по точной посадке груза в предпроектное положение, что в целом позволит увеличить производительность работ при возведении высотных строительных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вайнсон А.А.* Подъемно-транспортные машины. М.: Машиностроение, 1989. 535 с.
2. *Вайнсон А.А.* Крановые грузозахватные устройства / А.А.Вайнсон, А.Ф.Андреев. М.: Машиностроение, 1982. 303 с.
3. *Голдобина Л.А.* Анализ инженерно-технических мероприятий по стабилизации раскачивания груза на канате строительного крана / В.С.Шкрабак, Л.А.Голдобина // Проблемы охраны труда в АПК и пути их решения: Сб. научн. тр. / СПбГАУ. 1999. С.113-119.
4. *Голдобина Л.А.* Инженерно-технические решения обеспечения безопасности при производстве строительно-монтажных и подъемно-транспортных работ / Л.А.Голдобина, П.С.Орлов, А.П.Орлов // Технико-технологические проблемы сервиса: Научн.-техн. журнал НИИТТС. 2011. № 4 (18). С.30-34.
5. *Голдобина Л.А.* Пути повышения безопасности и производительности труда при погрузочно-разгрузочных и строительно-монтажных работах / Л.А.Голдобина, П.С.Орлов // Там же. 2011. № 2 (16). С.48-51.
6. *Григорьев Н.И.* Нагрузки кранов. М.: Машиностроение, 1964. 168 с.
7. *Ишлинский А.Ю.* Ориентация, гироскопы и инерциальная навигация. М.: Наука, 1976. 670 с.
8. *Казак С.А.* Колебания груза при переменной длине подвески // Вопросы теории и работы подъемно-транспортных машин: Тр. Уральского политехнического ин-та / Под ред. П.З.Петухова. Москва – Свердловск: Машгиз, 1958. С.39-45.
9. *Казаков Н.И.* Уменьшение раскачиваний груза на пространственном канатном подвесе при работе механизма поворота стреловых кранов: Автореф. дис. … канд. техн. наук / Ленинградский политехнический институт им. М.И.Калинина. 1984. 20 с.
10. *Кокоев М.Н.* Аэродинамический стабилизатор-наводчик груза подъемного крана / М.Н.Кокоев, В.Т.Федоров // Строительные и дорожные машины. 1999. № 1. С.17-19.
11. *Лосев П.Г.* Гашение колебаний груза на гибкой подвеске // Механизация и автоматизация производства. 1973. № 10. С.25-27.
12. Патент № 2224708 РФ. Устройство для гашения колебаний груза, повешенного на канате строительного крана / Л.А.Голдобина, В.С.Шкрабак, Ю.Ф.Лачуга и др. Опубл. 27.02.2004. Бюл. № 6.
13. Патент № 2280607 РФ. Устройство для гашения колебаний груза, повешенного на канате строительного крана / П.С.Орлов, А.П.Орлов, Л.А.Голдобина. Опубл. 27.07.2006. Бюл. № 21
14. Патент № 2382331 РФ. Одноосный силовой гиростабилизатор / А.П.Орлов, Л.А.Голдобина, П.С.Орлов. Опубл.20.02.2010. Бюл. № 5.

15. Патент № 2422354 РФ. Способ уменьшения раскачивания груза при подъеме стреловым краном и система для его осуществления / А.В.Ерзутов, М.И.Затравкин, Л.С.Каминский, И.А.Пятницкий, И.Г.Федоров. Опубл. 27.06.2011. Бюл. № 18

16. Патент № 2406679 РФ. Способ предотвращения раскачивания груза на гибком подвесе / В.А.Коровин, К.В.Коровин. Опубл. 20.12.2010. Бюл. № 35.

17. *Павлов В.А.* Основы проектирования и расчета гироскопических приборов. Л.: Судостроение, 1967. 407 с.

18. *Перельмутер М.М.* Устранение колебаний груза, подвешенного к крановой тележке воздействием на ее электропривод / М.М.Перельмутер, А.Н.Поляков // Электромеханика. 1971. № 7. С.46-51.

19. *Сиротский В.Ф.* Динамические нагрузки механизма изменения вылета стрелы крана // Сб. научн. тр. МИВТ. 1958. Т. XXV. С.186-195.

20. *Терехов А.М.* Устройство для успокоения раскачивания груза на портовых портальных кранах: Автореф. дис. … канд. техн. наук / Московская академия водного транспорта, 2003. 17 с.

21. *Федина Е.В.* Анализ основных причин травматизма при эксплуатации башенных кранов и мероприятия по снижению аварийных ситуаций [Электронный ресурс] / Е.В.Федина, С.Л.Пушенко // Инженерный вестник Дона. 2015. № 4. URL:http// www.ivdon.ru.

22. *Франк Флюгель*. Методика построения обобщенных математических моделей грузоподъемного крана с грузом на пространственном канатном подвесе: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / СПбГТУ. 2002. 18 с.

23. *Corriga Giorgio*. An implicit gain-scheduling controller for cranes / Giorgio Corriga, Alessendro Gina, Giampaolo Usai // IEEE Trans. Contr. Syst. Technol. 1998. Vol. 6. N 1. P.15-20.

24. Patent N US 5495955 A. Metod and apparatus of damping the sway of the hoisting rope of a crane. Shibata Naotake, K.K.Yaskawa Denki. Publ. 05.03.96.

REFERENCES

1. *Vainson A.A.* Pod"emno-transportnye mashiny (*Lifting machinery*). Moscow: Mashinostroenie, 1989, p.535.

2. *Vainson A.A.*, *Andreev A.F.* Kranovye gruzozakhvatnye ustroistva (*Crane handling devices*). Moscow: Mashinostroenie, 1982, p.303.

3. *Goldobina L.A.*, *Shkrabak V.S.*, *Goldobina L.A.* Analiz inzhenerno-tekhnicheskikh meropriyatii po stabilizatsii raskachivaniya gruza na kanate stroitel'nogo krana (*Analysis of engineering measures to stabilize the sway on the rope construction crane*). Problemy okhrany truda v APK i puti ikh resheniya. SPbGAU. 1999, p.113-119.

4. *Goldobina L.A.*, *Orlov P.S.*, *Orlov A.P.* Inzhenerno-tekhnicheskie resheniya obespecheniya bezopasnosti pri proizvodstve stroitel'no-montazhnykh i pod"emno-transportnykh rabot (*Engineering and technical security solutions in the production of straw-itelno installation and Conveyor Works*). Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa: Nauchn.-tekhn. zhurnal NIITTS. 2011. N 4 (18), p.30-34.

5. *Goldobina L.A.*, *Orlov P.S.* Puti povysheniya bezopasnosti i proizvoditel'nosti truda pri po-gruzochno-razgruzochnykh i stroitel'no-montazhnykh rabotakh (*Ways to increase safety and productivity during handling, construction and installation works*). Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa: Nauchno-tekhnicheskii zhurnal NIITTS. 2011. N 2 (16), p.48-51.

6. *Grigor'ev N.I.* Nagruzki kranov (*Load cranes*). Moscow: Mashinostroenie, 1964, p.168.

7. *Ishlinskii A.Yu.* Orientatsiya, giroskopy i inertsial'naya navigatsiya (*Orientation, gyroscopes and inertial navigation*). Moscow: Nauka, 1976, p.670.

8. *Kazak S.A.* Kolebaniya gruza pri peremennoi dline podveski (*Fluctuations in the variable length of the cargo suspension*). Voprosy teorii i raboty pod"emno-transportnykh mashin: Tr. Ural'skogo politekhnicheskogo in-ta. Pod red. P.Z.Petukhova. Moscow – Sverdlovsk: Mashgiz, 1958, p.39-45.

9. *Kazakov N.I.* Umen'shenie raskachivanii gruza na prostranstvennom kanatnom pod-vese pri rabote mekhanizma povorota strelovykh kranov: Avtoref. dis. … kand. tekhn. nauk (*Reducing the load sway on spatial rope suspension mechanism at work turning jib cranes*: *The autor… PhD in Engineering Sciences*). Leningradskii politekhnicheskii institut im. M.I.Kalinina. 1984, p.20.

10. *Kokoev M.N.* Aerodinamicheskii stabilizator-navodchik gruza pod"emnogo krana (*Aerodynamic stabilizer – gunner cargo crane*). Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 1999. N 1, p.17-19.

11. *Losev P.G.* Gashenie kolebanii gruza na gibkoi podveske (*Vibration damping load on a flexible suspension*). Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya proizvodstva. 1973. N 10, p.25-27.

12. Patent N 2224708 RF. *Goldobina L.A.*, *Shkrabak V.S.*, *Lachuga Yu.F.* et al. Ustroistvo dlya gasheniya kolebanii gruza, poveshennogo na kanate stroitel'nogo krana (*Device for damping load hanged on a rope construction crane*). Opubl. 27.02.2004. Byul. N 6.

13. Patent N 2280607 RF. *Orlov P.S.*, *Orlov A.P.*, *Goldobina L.A.* Ustroistvo dlya gasheniya kolebanii gruza, poveshennogo na kanate stroitel'nogo krana (*Device for damping load hanged on a rope construction crane*). Opul. 27.07.2006. Byul.21.

14. Patent N 2382331 RF. *Orlov A.P.*, *Goldobina L.A.*, *Orlov P.S.* Odnoosnyi silovoi girostabilizator (*Singleaxis power gyrostabilizer*). Opubl.20.02.2010. Byul. N 5.

15. Patent N 2422354 RF. *Erzutov A.V.*, *Zatravkin M.I.*, *Kaminskii L.S.*, *Pyatnitskii I.A.*, *Fedorov I.G.* Sposob umen'sheniya raskachivaniya gruza pri pod"eme strelovym kranom i sistema dlya ego osushchestvleniya (*A method for reducing sway when lifting jib crane and a system for its implementation*). Opubl. 27.06.2011. Byul. N 18

16. Patent N 2406679 RF. *Korovin V.A.*, *Korovin K.V.* Sposob predotvrashcheniya raskachivaniya gruza na gibkom podvese (*A method for preventing sway on a flexible suspension*). Opubl. 20.12.2010. Byul. N 35.

17. *Pavlov V.A*. Osnovy proektirovaniya i rascheta giroskopicheskikh priborov (*Fundamentals of design and analysis of gyroscopic devices*). Leningrad: Sudostroenie, 1967, p.407.

18. *Perel'muter M.M*., *Polyakov A.N*. Ustranenie kolebanii gruza, podveshennogo k kranovoi telezhke vozdeistviem na ee elektroprivod (*Dynamic load mechanism luffing crane*). Elektromekhanika. 1971. N 7, p.46-51.

19. *Sirotskii V.F*. Dinamicheskie nagruzki mekhanizma izmeneniya vyleta strely krana (*Dynamic load mechanism luffing crane*). MIVT. 1958.Vol. XXV, p.186-195.

20. *Terekhov A.M*. Ustroistvo dlya uspokoeniya raskachivaniya gruza na portovykh portal'nykh kranakh: Avtoref. dis. … kand. tekhn. Nauk (*Device for soothing sway in the port gantry cranes*: *Reducing the load sway on spatial rope suspension mechanism at work turning jib cranes*: *The autor… PhD in Engineering Sciences*). Moskovskaya akademiya vodnogo transporta, 2003, p.17.

21. *Fedina E.V.*, *Pushenko S.L*. Analiz osnovnykh prichin travmatizma pri ekspluatatsii bashennykh kranov i meropriyatiya po snizheniyu avariinykh situatsii [Elektronnyi resurs] (*Analysis of the main causes of accidents in the operation of cranes and measures to reduce accidents* [*Electronic resource*]). Inzhenernyi vestnik Dona. 2015. N 4. Available at: http// www.ivdon.ru.

22. Frank Flyugel'. Metodika postroeniya obobshchennykh matematicheskikh modelei gruzopod"emnogo krana s gruzom na prostranstvennom kanatnom podvese: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk (*Methods for constructing generalized mathematical models of crane with a load on the spatial rope suspension*: *The autor… PhD in Engineering Sciences*). SPbGTU. 2002, p.18.

23. *Corriga Giorgio*, *Gina Alessendro*, *Usai Giampaolo*. An implicit gain-scheduling controller for cranes. IEEE Trans. Contr. Syst. Technol. 1998. Vol. 6. N 1, p.15-20.

24. Patent N US 5495955 A. Shibata Naotake, K.K.Yaskawa Denki.Metod and apparatus of damping the sway of the hoisting rope of a crane. Publ. 05.03.96.

WAYS TO ENSURE RELIABILITY, SAFETY AND EFFICIENCY OF THE COSTRUCTION AND INSTALLATION WORKS WHEN BUILDINGS AND STRUCTURES ERECTING BY STABILIZING PROCESS OF THE ROCKING CARGO SUSPENSION

L.A.GOLDOBINA, *Dr. of Engineering Sciences*, *Professor*, *kaf-sgp@mail.ru*
Saint-Petersburg Mining University, *Russia*
P.S.ORLOV, *Dr. of Engineering Sciences*, *Professor*, *p.orlov@yarcx.ru*
Yaroslavl State Agricultural Academy, *Russia*

Nondestructive optical methods for measuring of the «thick» films thickness of the order of 0,001-1,00 mm are analyzed. It is shown that using the laser beam radiation and modern optical and electronic schemes possible to decrease the time of single measurement to 1ms and less at the measuring frequency of 10-50 hz. The possibility of measuring thickness and spreading coefficient and evaporation kinetics of liquid films is demonstrated.

A new computer method of the data processing aimed to determine the film thickness from the angle dependence of the laser beam reflection coefficient by the film is offered. The offered procedure and the experimental technique realizing it permits to decrease the thickness determination uncertainty to the order of ten.

***Key words*:** laser interferometry, fast measuring the thickness, thick films, solid and liquid films.