

Интеграция систем управления и обеспечения безопасности мобильных грузоподъемных машин

Integration of mobile load-lifting machines control and safety systems

Редькин А.В.

канд. техн. наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные машины и оборудования»
Тульский государственный университет, г. Тула
e-mail: ra171171@yandex.ru

Red'kin A.V.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department "Lifting and transporting machines and equipment", Tula State University, Tula
e-mail: ra171171@yandex.ru

Ильин В.С.

Студент кафедры «Подъемно-транспортные машины и оборудования» Тульский государственный университет, г. Тула
e-mail: aheldji@gmail.com

Иyin V.S.

Student of the Department "Lifting and transporting machines and equipment", Tula State University, Tula
e-mail: aheldji@gmail.com

Аннотация

Рассмотрены вопросы интеграции систем контроля устойчивости мобильных стреловых кранов и управления гидроприводами исполнительных органов при выполнении рабочих операций с последующей коррекцией траектории перемещения груза и положения кранового оборудования. Приведены обобщенная схема и алгоритм работы системы. Предложены варианты методов определения запасов устойчивости крана к опрокидыванию.

Ключевые слова: стреловой кран, безопасность, управление, устойчивость, гидропривод.

Abstract

The study deals with the integration of stability control systems for mobile cranes and hydraulic drives when lifting operations include load path and crane position adjustments. The system's general flowchart and algorithm are presented. Crane tip-over safety margin estimation methods and their possible implementations are proposed.

Keywords: jib crane, safety, control, stability, dynamics, monitoring, hydraulic drive.

Основными задачами при автоматизации управления грузоподъемными операциями является обеспечение оптимизации рабочего процесса, точности позиционирования, минимизации колебаний груза при соблюдении условий устойчивости к опрокидыванию [1]. Совместное решение этих задач требует интеграции системы обеспечения безопасности, включающей микропроцессорный ограничитель нагрузки крана, координатную защи-

ту, системы мониторинга положения и состояния рабочего оборудования и системы управления исполнительными приводами рабочих органов.

В таких ограничителях устройство управления обрабатывает сигналы с датчиков, обеспечивает сигнализацию для машиниста и формирует сигналы блокировки исполнительных приводов, предотвращающие превышение текущего значения нагрузки F_T над предельно допустимыми значениями $P_{\text{доп}}$, предварительно записанными в память управляющего устройства для различных вариантов положения стрелового оборудования.

Текущее значение $P_{\text{доп}}$ зависит от ряда параметров крана, режима работы и внешних возмущений, изменяющихся в течение рабочего цикла с одним и тем же грузом.

В качестве основного изменяющегося аргумента рассматривается вылет стрелы относительно ребра опрокидывания L , зависящий от угла поворота платформы φ и определяющий величину опрокидывающего момента $M_{\text{опр}}$

$$L = \max \left[\left(|L' \cos \varphi| - \frac{a}{2} \right), \left(|L' \sin \varphi| - \frac{b}{2} \right) \right],$$

где $L' = l \cdot \cos \alpha$ – вылет стрелы относительно оси поворота; l , α – длина и угол наклона стрелы; a , b – габаритные размеры опорного контура (рис. 1). Особенностью мобильных грузоподъемных средств является выполнение работ в заранее неопределенных условиях, что приводит к повышению риска опрокидывания [2, 3].

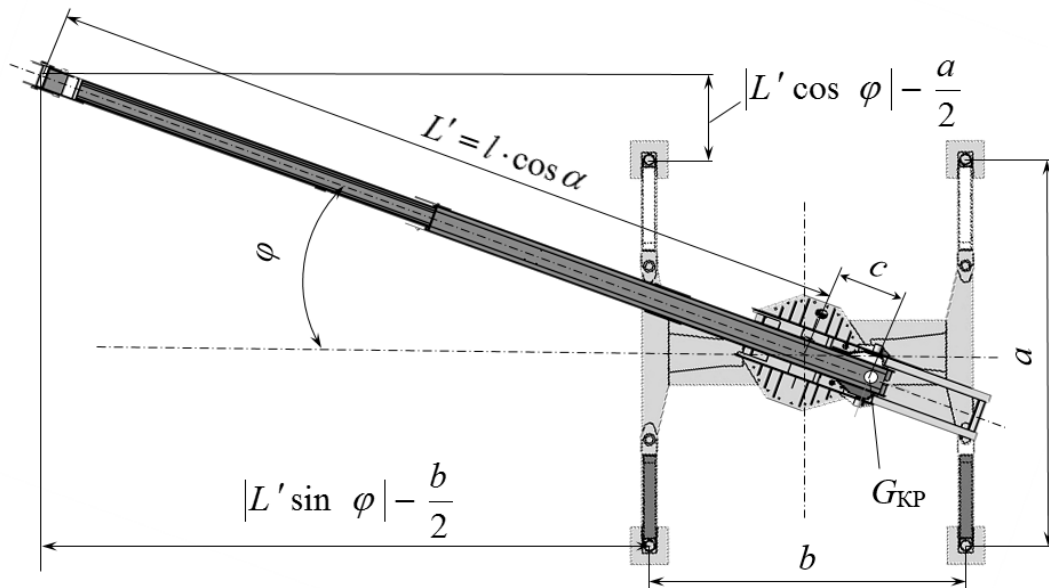


Рис. 1. Расчётная схема для определения текущего значения допустимой нагрузки

С учетом внешних воздействий (ветер, просадка грунта) допустимое значение нагрузки определится следующим образом:

$$P_{\text{доп}} = \frac{G_{\text{кр}} [c \cdot \cos \gamma - h \cdot \sin \gamma]}{k \cdot L} - W,$$

где c , h – соответственно расстояние до оси вращения и высота центра масс ненагруженного крана, $G_{\text{кр}}$ – вес крана, γ – угол наклона опорного контура по отношению к горизонтали, W – ветровая нагрузки на кран и на груз, k – коэффициент запаса, который согласно правилам Госгортехнадзора должен составлять не менее 1,15.

Патентный анализ показывает, что в настоящее время ведутся работы в направлении интеграции и расширения функций систем управления и защиты. Способ и устройство по [4] предполагают мониторинг положения и состояния кранового оборудования в течение всего рабочего цикла для отключения приводов по фактору перегрузки либо по фактору ограничения перемещений. Управляющее устройство [5] выполнено с возможностью плавного или скачкообразного изменения предельно допустимой величины нагрузки в зависимости от времени, режима или стадии нагружения машины, с возможностью установки во время подъема груза минимального значения предельно допустимой величины нагрузки в рабочем диапазоне машины по углу азимута, с последующим сохранением ее и изменением в зависимости от угла азимута. При превышении значения нагрузки предельно допустимой величины управляющее устройство формирует предупреждающие сигналы для машиниста или сигналы блокирования движений машины.

В системе [6] управление гидрораспределителями происходит в зависимости от результата сравнения заданных и фактических скоростей изменения вылета и высоты подвеса крюка, от параметров ограничения крановых операций, возможности их совмещения из условия обеспечения безопасной работы крана.

Систему контроля грузовой устойчивости [7] осуществляют мониторинг текущего положения центра масс (или равнодействующей всех сил) относительно ребра опрокидывания с целью определения запаса устойчивости, определяемого степенью приближения точки приложения этой равнодействующей к границам опорного контура. Изменения величины $P_{\text{доп}}$ в течение рабочего цикла косвенно учитываются по перемещению этой проекции. Если смещение проекции центра масс достигает зоны опасного снижения устойчивости, происходит формирование направленного воздействия стабилизирующего характера для ограничения скоростей или блокирования перемещения технологического оборудования.

Оптимизация рабочего цикла предполагает два направления: оптимизация траектории перемещения и оптимизация скоростных режимов приводных гидродвигателей. Это особенно важно при реализации сложных траекторий перемещения и частом переключении скоростного режима. Таким образом, система управления должна обеспечивать оптимальный режим по критерию быстродействия с наложением ограничения по суммарной нагрузке (вес груза и стрелового оборудования, динамические процессы, ветровая нагрузка и т.п.) с точки зрения обеспечения устойчивости.

Целью создания комплексной системы является недопущение создания аварийных ситуаций без отключения рабочих механизмов путем формирования оптимальных алгоритмов функционирования каждого из рабочих механизмов с учетом влияния каждого на безопасное выполнение грузоподъемных работ.

Для достижения этой цели необходимо решить задачу синтеза системы управления рабочими механизмами, предусматривающей:

1. Определение в каждый момент времени допустимых значений скоростей, ускорений перемещения элементов оборудования крана.
2. Формирование в соответствии с п. 1 управляющих воздействий, обеспечивающих отработку заданной траектории в оптимальном скоростном режиме.
3. Организация обратной связи, осуществляющей контроль правильности отработки системой управляющих воздействий.

Обобщенная функциональная схема такой системы отображена на рис. 2.



Рис. 2. Обобщенная структурная схема системы управления и защиты стрелового самоходного крана

Положение кранового оборудования и груза контролируется информационной системой, включающей датчики угла поворота платформы φ , длины l и угла наклона стрелы α , датчик длины каната, а также вторичные преобразователи и линии связи. Согласно заложенной математической модели крана блок определения допустимой нагрузки рассчитывает значение $P_{\text{доп}}$ для текущего пространственного положения машины.

Для определения текущей нагрузки F_T могут быть использованы различные системы датчиков, производящих измерения как прямыми [4-6], так и косвенными [7, 8] методами. Устройство сравнения и определения запасов устойчивости может оперировать как непосредственно величинами $P_{\text{доп}}$ и F_T , так и связанными с ними параметрами (расстояние от центра масс до ребра опрокидывания в [8], давление в опорных гидроцилиндрах [9]). Параметры выбирают таким образом, чтобы привод имел заданное быстродействие, допустимые сдвиги по фазе, определяющие динамические свойства контура управления [10].

Таким образом, система, построенная по рассмотренному принципу (см. рис. 2), обеспечивает согласованную работу исполнительных приводов с точки зрения устойчивости к опрокидыванию и безопасной траектории перемещения, практически исключая создание аварийных ситуаций без отключения рабочих механизмов и остановки выполняемых грузоподъемных операций. Оптимизация производительности и энергоэкономичности достигается путём автоматизации процессов регулирования скоростных и мощностных режимов работы механизмов крана.

Литература

1. *Ватулин Я.С., Потахов Д.А., Потахов Е.А.* Моделирование потери устойчивости свободно стоящих стреловых самоходных кранов // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2016. – №4 (36). – С. 60–66.
2. *Лагерева А.В., Кончиц С.В., Блейшмидт Л.И.* Оценка риска при эксплуатации самоходных грузоподъемных кранов стрелового типа в условиях недостаточной информации // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. – №2. – С. 77–94.
3. *Анцев В.Ю., Витчук П.В., Крылов К.Ю.* Дефекты и отказы автомобильных кранов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – №7. – С. 88–93.
4. Пат. 2309112 РФ, МПК В66С23/88. Способ управления грузоподъемным краном и устройство для его реализации / Затравкин М.И., Каминский Л.С., Маш Д.И. и др. № 2006106630/11; заявл. 03.03.2006; опубл. 27.10.2007, Бюл. №30.
5. Пат. 2448037 РФ, МПК В66С23/88. Ограничитель нагрузки грузоподъемной или строительной машины / Коровин В.А., Коровин К.В. № 2010137361/11; заявл. 07.09.2010; опубл. 20.04.2012, Бюл. №11.
6. Пат. 2457170 РФ, МПК В66С23/88. Способ управления грузоподъемным краном и система для его реализации / Тихонов Ю.Б. № 2011109322/11; заявл. 11.03.2011; опубл. 27.07.2012, Бюл. №21.
7. *Редькин А.В., Сорокин П.А.* Методы обеспечения устойчивости стреловых самоходных кранов при ненормируемых внешних воздействиях // Строительные и дорожные машины. – 2016. – №9. – С. 16–19.
8. *Редькин А.В., Сорокин П.А., Ильин В.С.* Система контроля грузовой устойчивости мобильных грузоподъемных машин // Строительные и дорожные машины. – 2017. – №8. – С. 16–19.
9. *Редькин А.В.* Анализ динамики исполнительных приводов гидравлических кранов частотными методами // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2012. – №9. – С. 166–171.
10. *Редькин А.В.* Способ управления стреловым краном с учётом дополнительных динамических нагрузок // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – №12. – С. 238–244.