

ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И БЕЗОПАСНОСТИ СТРЕЛОВЫХ САМОХОДНЫХ КРАНОВ

А. В. Редькин,

доцент, канд. техн. наук

К. С. Кузнецов,

магистрант

Тульский государственный университет, Тула

Аннотация. Рассмотрены вопросы интеграции систем контроля устойчивости стреловых самоходных 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.

INTEGRATION OF CONTROL AND SAFETY SYSTEMS OF MOBILE BOOM CRANES

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. Совместное решение этих задач требует интеграции системы обеспечения безопасности 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 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).

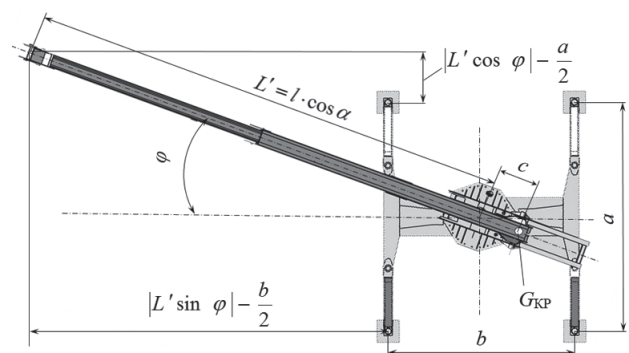


Рис. 1. Расчетная схема для определения текущего значения допустимой нагрузки

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

на, $G_{кр}$ — вес крана, γ — угол наклона опорного контура по отношению к горизонтали, W — ветровая нагрузка 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 [1] 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 [2] выполнено с возможностью плавного или скачкообразного изменения предельно допустимой величины нагрузки в зависимости от времени, режима или стадии нагружения машины. В системе [3] управление гидрораспределителями производится согласно результатам сравнения фактических и заданных скоростей изменения вылета и высоты подвеса крюка, в зависимости от параметров ограничения рабочих операций, возможности их совмещения, исходя из условия обеспечения безопасности работы. Система контроля устойчивости [4] 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.

Оптимизация рабочего цикла предполагает два направления: оптимизацию траектории перемещения и оптимизацию скоростных режимов приводных гидродвигателей. 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 (рис. 2), 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 обработку заданной траектории в оптимальном скоростном режиме.
3. Организация обратной связи, осуществляющей контроль правильности обработки системой управляющих воздействий.

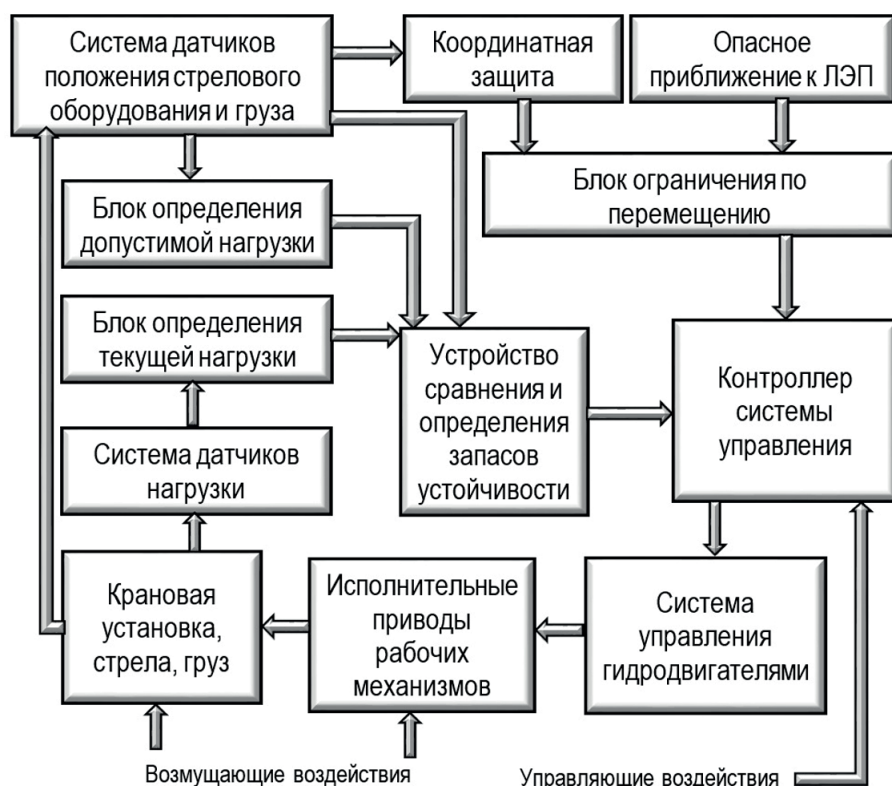


Рис. 2. Обобщенная структурная схема системы управления и защиты стрелового самоходного крана

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 [1–3], так и косвенными [4; 5] 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, давление

в опорных гидроцилиндрах [5]). Параметры выбирают таким образом, чтобы привод имел заданное быстродействие, допустимые сдвиги по фазе, определяющие динамические свойства контура управления [6].

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 путем автоматизации процессов регулирования скоростных и мощностных режимов работы механизмов крана.

Список литературы

1. Пат. на изобретение № 2309112 РФ. Способ управления грузоподъемным краном и устройство для его реализации / М. И. Затравкин, Л. С. Каминский, Д. И. Маш и др. ; заявл. 03.03.2006 ; опубл. 27.10.2007 ; Бюл. № 30.
2. Пат. на изобретение № 2448037 РФ. Ограничитель нагрузки грузоподъемной или строительной машины / В. А. Коровин, К. В. Коровин; заявл. 07.09.2010 ; опубл. 20.04.2012 ; Бюл. № 11.
3. Пат. на изобретение № 2457170 РФ. Способ управления грузоподъемным краном и система для его реализации / Ю. Б. Тихонов ; заявл. 11.03.2011 ; опубл. 27.07.2012 ; Бюл. № 21.
4. Редькин А. В., Сорокин П. А. Методы обеспечения устойчивости стреловых самоходных кранов при ненормируемых внешних воздействиях // Строит. и дорож. машины. 2016. № 9. С. 16–19.
5. Редькин А. В., Сорокин П. А., Ильин В. С. Система контроля грузовой устойчивости мобильных грузоподъемных машин // Строит. и дорож. машины. 2017. № 8. С. 16–19.
6. Редькин А. В. Способ управления стреловым краном с учетом дополнительных динамических нагрузок // Изв. Тул. гос. ун-та. Техн. науки. 2013. № 12. Ч. 1. С. 238–244.