

Комплексная система защиты и управления стрелового грузоподъемного крана

В.А. КОРОВИН, *докт. техн. наук*,
М.Н. КРЕТОВ, Д.В. ТОКАРЕВ, С.А. ГЕРАСКИН, К.В. КОРОВИН
 (НПП «Резонанс», г.Челябинск),

А.В. ДАВЫДКОВ, А.Ф.КАЗАНЦЕВ
 (ОАО «Челябинский механический завод»)

Создание конкурентоспособных грузоподъемных кранов с эксплуатационными характеристиками, отвечающими современным требованиям экономичности, безопасности, надежности и эргономичности, требует совершенствования их систем контроля, защиты и управления.

В настоящее время эти системы выполняются преимущественно раздельно. Стреловые автомобильные и гусеничные краны традиционно оснащаются ручной гидравлической системой управления. Система (прибор) безопасности при этом фактически используется как дополнительное оборудование и выполняет функции отключения движений механизмов крана в случае превышения номинальной грузоподъемности крана (ограничитель грузоподъемности), при перемещении стрелы или грузозахватного органа крана в зону недопустимых положений (координатная защита) и при опасном приближении к линии электропередачи. Отключение осуществляется, как правило, при помощи клапана (гидравлического распределителя) с электрическим управлением, включенного в гидравлическую систему крана и обеспечивающего, кроме ее разгрузки, предохранение гидропривода от превышения установленного давления и, при необходимости, ограничение скорости его нарастания.

Сложившаяся схема, при всей ее простоте и экономичности, обладает рядом принципиальных недостатков.

Дискретное и достаточно резкое, а иногда и неожиданное для крановщика, отключение движений механизмов крана при срабатывании прибора безопасности приводит к увеличению динамических нагрузок на кран и раскачиванию груза после остановки. Это увеличивает вероятность аварии, особенно при подъеме и перемещении

грузов, близких к максимальной грузоподъемности крана. Резкая остановка крана при внезапном срабатывании координатной защиты, в том числе при ошибочном введении ее параметров, снижает популярность практического применения координатной защиты.

Управление грузоподъемным краном с помощью рычагов управления многосекционными гидрораспределителями, установленными в кабине или под полом кабины крана, усложняет компоновку рабочего места крановщика, затрудняет герметизацию, теплоизоляцию, звукоизоляцию и подрессоривание кабины, ухудшает ее интерьер. При таком управлении проблематично повысить эргономичность управления краном ввиду достаточно больших усилий перемещений рычагов и передачи через них вибраций машины на руки крановщика.

Еще одним недостатком традиционной схемы является легкость умышленного отключения приборов безопасности. Для этого достаточно подать напряжение на электромагнит при помощи переключки или установить какой-либо предмет, механически удерживающий электромагнит или золотник защитного гидроклапана во включенном положении.

При сохранении раздельных систем управления и защиты крана, возможности устранения этих недостатков ограничены.

В частности, динамические нагрузки на кран при срабатывании прибо-

ра безопасности можно снизить путем предварительного снижения скорости движения механизмов перед их остановкой. Известные методы этого снижения предусматривают, например, применение двухскоростного гидропривода или дополнительного гидравлического регулятора потока — клапана снижения скорости, установленного между напорной и сливной магистралями. Но это связано с усложнением гидросистемы и, соответственно, приводит к уменьшению основного достоинства раздельного построения систем защиты и управления крана — предельной простоты, и не решает других проблем.

Улучшение эргономических характеристик системы управления при сохранении традиционной системы защиты путем применения гидравлических джойстиков — сервоуправления, механических тросиков для дистанционного управления гидрораспределителями и т.д. также приводит к ее усложнению, но не устраняет динамические нагрузки на кран при срабатывании прибора безопасности и другие недостатки, органически присущие раздельному исполнению этих систем.

Поэтому попытки добиться существенного улучшения характеристик традиционного ручного управления гидрораспределителями с последующим блокированием управляющих воздействий крановщика в гидросистеме крана, на наш взгляд, являются бесперспективными.

Качественное повышение технического уровня систем защиты и управления краном возможно путем их объединения в единую систему, реализованную на основе электрогидроуправления...

Качественное повышение технического уровня систем защиты и управления краном возможно путем их объединения в единую систему, реализованную на основе электрогидроуправления, особенно пропорционального.

В этом случае поток гидравлической энергии, направляемый к исполнительным механизмам лебедки, поворота крановой установки, стрелоподъемного механизма и механизма телескопирования стрелы, регулируется электрогидравлическими распределительными устройствами с пропорциональным управлением. В качестве этих устройств используются секционные электроуправляемые гидрораспределители, имеющие, как правило, регуляторы давления рабочей жидкости по нагрузке выходного звена (LS-регуляторы), исключающие непроизводительные энергозатраты и обеспечивающие для любого управляющего воздействия свой постоянный расход рабочей жидкости и, соответственно, свою постоянную скорость движения исполнительного гидродвигателя или гидроцилиндра независимо от изменения противодействующей нагрузки.

Пропорциональное управление крановыми операциями осуществляется с помощью электрических джойстиков-манипуляторов — аппаратов электрогидравлического управления краном. Выходные широтно-импульсные сигналы аппаратов управления, параметры которых изменяются пропорционально углу отклонения их рукояток, поступают на электрические управляющие входы исполнительных устройств — на электромагниты гидрораспределителей. В итоге, поток гидравлической энергии, поступающий на каждый исполнительный механизм крана и, соответственно, скорость его перемещения, пропорциональны углу отклонения рукоятки аппарата управления (джойстика).

Для остановки механизмов и управления их скоростью при наличии попутной нагрузки, в гидравлическую схему крана устанавливаются устройства торможения (тормозные клапаны), а фиксация механизмов в заданном положении при отсутствии управляющего сигнала на отдельных входах гидрораспределителей осуществляется с помощью гидрозамков.

Реализация защитных ограничений движений крана производится в электрической части этой системы путем ограничения или блокирования выходных сигналов джойстиков

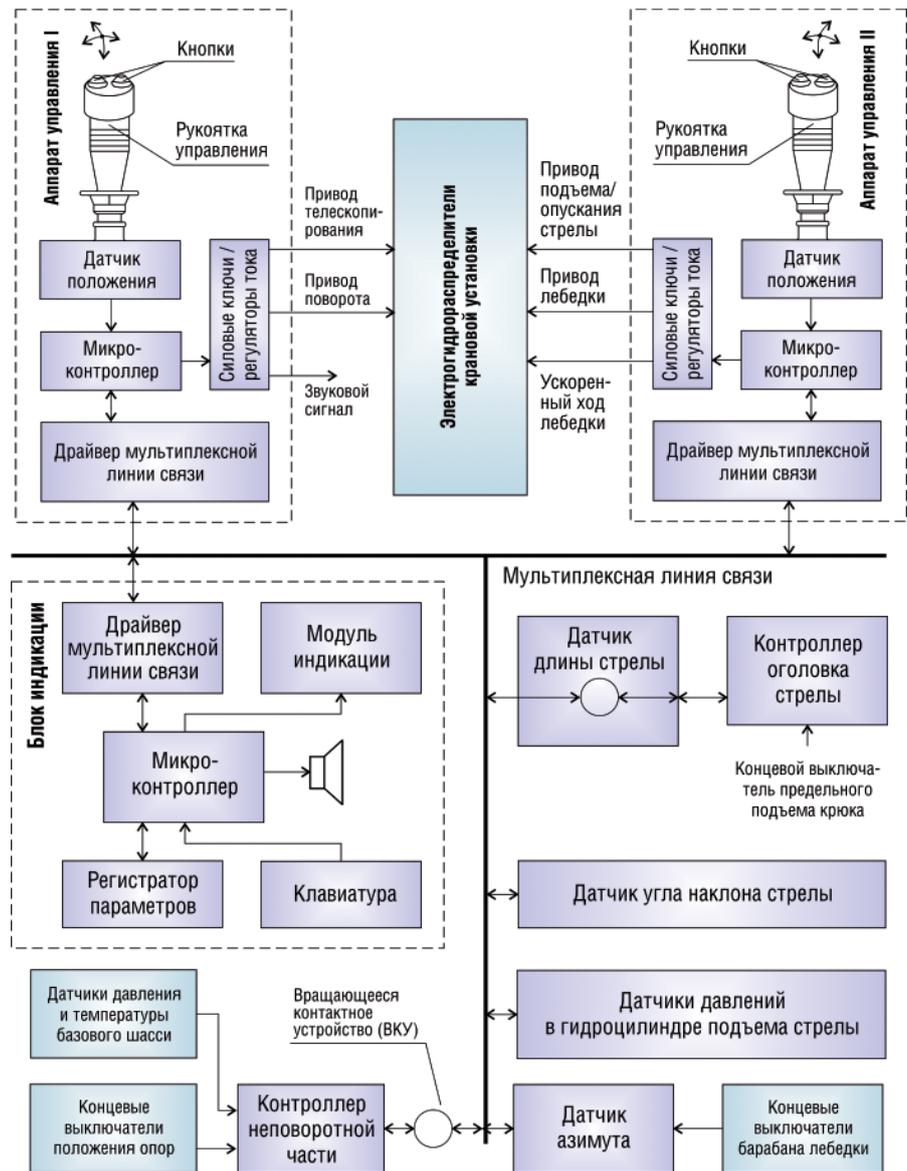


Рис.1. Комплексная система защиты и электрогидравлического управления крана КС-4579

без вмешательства в гидравлическую схему крана.

Работы по созданию такой комплексной системы защиты и управления краном были начаты в 1999г. ООО НПП «Резонанс» (г.Челябинск) совместно с ОАО «Мотовилихинские заводы» (г.Пермь) для кранов КС-5579.2, КС-5579.3 и КС-5477А грузоподъемностью 25 т. Система включала в себя прибор безопасности ОГМ240.1, техническое задание на который было согласовано в декабре 1999г., и два джойстика — аппарата управления АУРСР23.2, формирующих сигналы управления гидрораспределителями Р20ДЭ (ОАО ПМЗ «Восход», г.Павлово) или РСРЗ.Э-16 (ЗАО «Гидра-1», г.Москва) (рис.1).

Особенностью этой системы является применение единого однопроводного мультимплексного канала обмена данными (патент RU 2232709) и цифровых датчиков параметров работы крана (кроме штатных датчиков температуры

и давления базового шасси), реализованных со встроенными схемами лианеризации, фильтрации, термокомпенсации и калибровки их выходных сигналов (патент RU 2260560).

Комплектность используемых датчиков выбрана с учетом конструктивных особенностей крана и требований Правил ПБ 10-382-00. Для уменьшения количества цифровых датчиков и соединений в электрической схеме системы, датчики аналоговых параметров работы крана выполнены с возможностью обработки сигналов концевых выключателей, расположенных с ними в одной конструкционной зоне крана, и с последующей совместной передачей сигналов этих датчиков в блок индикации прибора ОГМ240 по мультимплексному каналу обмена данными (патент RU 2268232).

Основные функции защиты крана реализованы с использованием математической модели крана при помощи перепрограммируемого мик-

роконтроллера блока индикации. Настройка системы защиты, учитывающая прогиб стрелы под нагрузкой, осуществляется без применения электрических потенциометров и без механической регулировки пространственного положения датчиков на кране (патенты RU 2262481 и RU 49811).

Реализованная система защиты и управления краном обладает гибкой и наращиваемой структурой. Любые датчики, блоки или функциональные узлы, подключаемые к мультиплексной линии связи (которая может быть выполнена беспроводной по патенту RU 2251524 или заявке RU 2004138353), могут быть как дополнительно включены в состав системы, так и исключены из нее, без изменения уже существующих частей этой системы.

Каждый из 2-х джойстиков – аппаратов управления АУРСР23.2, содержит бесконтактный двухкоординатный датчик положения рукоятки, микроконтроллер, драйвер мультиплексной линии связи и силовые защитные ключи-регуляторы тока. Применение моноблочных аппаратов управления, совмещающих информационно-измерительные и силовые электронные узлы, и мультиплексного канала обмена данными, позволило максимально уменьшить количество составных частей системы и упростить соединения между ними. Это обеспечивает повышение надежности, ремонтпригодности и удобства системы в эксплуатации.

Формирование сигналов управления электрогидравлическими распределителями осуществляется в зависимости не только от отклонений крановщиком рукояток аппаратов управления, но и от наличия сигнала разрешения включения соответствующих секций распределителя, поступающих от блока индикации прибора ОГМ240 по последовательному мультиплексному каналу обмена данными (патент RU 2237610). Срабатывание защиты от перегрузки, координатной защиты или защиты от опасного приближения к ЛЭП, а также отказы системы защиты, приводят к отключению сигналов разрешения включения электрогидравлических распределителей, а не к блокированию потоков гидравлической энергии после гидрораспределителей, как это имеет место на кране с отдельными системами управления и защиты. Это повышает надежность защиты крана.

Еще одним важным достоинством описанной системы, как было отме-

чено на научно-практической конференции по микропроцессорным приборам безопасности, проходившей в г. Челябинске в марте 2006г., является невозможность умышленного блокирования ее защитных функций. Для этого потребовалась бы имитация сигналов разрешения включения гидрораспределителей, поступающих на аппараты управления по мультиплексной линии связи в последовательном коде, что в эксплуатации практически нереализуемо.

Пропорциональное управление краном при помощи аппаратов управления (джойстиков), встроенных в подлокотники кресла крановщика, обеспечивает высокую плавность пуска и остановки всех механизмов крана, регулирование скорости подъема/опускания и перемещения груза в широких пределах, и существенно улучшает условия труда крановщика.

В этой системе при реализации защитных функций обеспечивается плавное снижение скорости движения механизмов крана при приближении грузового момента или параметров пространственного положения стрелы к своим предельным значениям. Причем, пороговый уровень какого-либо параметра, при достижении которого осуществляется снижение скорости, устанавливается в зависимости от скорости изменения этого параметра или от приведенного момента инерции (массы) перемещающегося механизма крана (патент RU 2255894).

Для дальнейшего повышения эргономических характеристик системы, дополнительно было реализовано управление всеми механизмами крана, сигнализацией и индикаторами прибора безопасности без снятия рук крановщика с рукояток аппаратов управления. В их верхних частях установлены дополнительные органы управления — кнопки, обеспечивающие возможность включения ускоренного хода лебедки, звукового сигнала, а также циклическое переключение параметров работы крана, отображаемых на дисплее блока индикации ОГМ240 (патент RU 2237006). При помощи этих кнопок принципиально возможно также введение параметров защиты крана, в частности ограничений зоны его работы — координатной защиты.

В процессе работы над этой системой был преодолен ряд серьезных проблем.

В частности, для обеспечения плавности регулирования скорости механизмов крана необходимо обес-

печатить плавность и малую инерционность изменения тока пропорциональных электромагнитов, а также плавность перемещения золотников гидрораспределителей в динамических режимах работы крана. Однако этому препятствуют силы трения якоря электромагнита и золотника гидрораспределителя, вызывающие появление зон нечувствительности в регулировочной характеристике приводов. Изменения индуктивности электромагнита и гидравлических сил, воздействующих на золотник во время перемещения якоря электромагнита, вызывают его автоколебания в отдельных режимах работы привода, что дополнительно усложняет задачу получения высокой плавности регулирования. Эту проблему удалось решить путем совершенствования программы микроконтроллеров аппаратов управления и оптимизации параметров широтно-импульсного управления электромагнитами на аппаратном и программном уровнях.

Другой проблемой является разброс параметров электрогидравлических распределителей, приводящий к ухудшению плавности регулирования. Для ее решения в аппаратах управления АУРСР23.2 было реализовано программирование их передаточных характеристик «угол отклонения рукоятки — ток пропорционального электромагнита». Это программирование, для обеспечения ремонтпригодности крана, удалось реализовать без применения каких-либо дополнительных технических средств и без вскрытия корпусов или разборки каких-либо составных частей системы. Это дало возможность программирования характеристик АУРСР23.2 непосредственно на кране, в том числе в эксплуатации и на заводе-изготовителе.

Планами НИР и ОКР ОАО «Мотовилихинские заводы» было предусмотрено подготовить систему «ОГМ240.2 — АУРСР23.2» к серийному производству в 3 кв. 2001г. Но этим планам не суждено было сбыться. Во многом из-за того, что производство грузоподъемных кранов на ОАО «Мотовилихинские заводы» было прекращено.

Что касается аппаратов управления АУРСР23.2, то после их безотказной наработки в объеме более 2 тыс. моточасов на кране КС-5477А на ОАО «Мотовилихинские заводы» было принято решение запустить серийное изготовление автокранов с комплектацией этими аппаратами. На краны КС-5579.2 и КС-5579.3 было установлено около

20 шт. АУРСР23.2, что позволило получить опыт практического применения пропорционального электрогидравлического управления кранами.

Прибор ОГМ240 в 2002г. успешно прошел приемочные испытания, но уже не на кране КС-5579, а на кране Челябинского механического завода КС-45721 без электрогидравлической системы управления и, соответственно, без аппаратов управления АУРСР23.2.

За три с половиной года серийного производства выпущено около 2 тыс. шт. приборов ОГМ240. Они успешно эксплуатируются на стреловых автомобильных, гусеничных и железнодорожных кранах. Но их работа в комплексе с системой электрогидравлического управления краном для конструкторов ООО НПП «Резонанс» долго оставалась красивой мечтой, уже практически реализованной, но так и не воплощенной в серийно выпускаемых кранах.

Ситуация изменилась после разработки на ОАО «Челябинский механический завод» стрелового самоходного гусеничного гидравлического крана ДЭК-361 грузоподъемностью 36 т. (рис.2).



Рис.2. Гусеничный гидравлический кран ДЭК-361

Гидравлический привод этого крана реализован на базе гидросистемы открытого типа по двухнасосной схеме, которая позволяет обеспечить совмещение выполнения основных крановых операций без взаимного влияния. Применение в схеме пропорциональных гидравлических распределителей с электрическим управлением обеспечивает решение проблем плавности и точности выполнения крановых операций при небольших усилиях на органах управления.

В кабине крана установлено кресло оператора «Grammer», имеющее две консоли, в которых размещены уже отработанные аппараты управления АУРСР23.2. В качестве прибора безопасности применен серийно выпускающийся прибор ОГМ240-38 (рис.3).

Поскольку аппараты управления АУРСР23.2 и прибор безопасности



Рис.3. Рабочее место крановщика крана ДЭК-361

ОГМ240-38 имеют интерфейс мультимедийного канала обмена данными, их объединение в единую систему не составило технических сложностей, тем более что идеология построения такой системы была уже достаточно отработана. Ее отличия от системы, приведенной на рис.1 не носят принципиального характера и обусловлены лишь конструктивными особенностями крана ДЭК-361. Из этих отличий наиболее существенным является использование аппаратов управления АУРСР23.2 не только для управления крановыми операциями, но и для управления гусеничным ходом крана в транспортном режиме.

Первый серийный кран ДЭК-361 с комплексной объединенной системой защиты и пропорционального электрогидравлического управления «ОГМ240-38 — АУРСР23.2» введен в эксплуатацию на предприятии Euro Kinnisvaraarendus (г. Таллин, Эстония).

Интенсивное развитие микропроцессорной техники и силовой электроники, совершенствование электрогидравлических приводов, а также непрерывное повышение требований к эффективности и безопасности работы кранов и к условиям работы крановщиков, определяют целесообразность дальнейшего развития комплексных систем управления и защиты грузоподъемных кранов.

Возможными направлениями совершенствования таких систем (заявка на патент RU 2005128421) являются:

- изменение характеристик управления механизмами крана в зависимости от вида выполняемой крановой операции и стрелового оборудования, в частности установка безопасных для крана и наиболее удобных для работы крановщика различных скоростей подъема и опускания груза, более медленный поворот крановой установки при работе с длинной стрелой (с гуськом) и т.п.;

- изменение характеристик управления механизмами крана в зависимости от параметров его работы, в

частности автоматическое уменьшение скорости выполнения крановых операций при увеличении нагрузки или вылета грузозахватного органа с целью уменьшения максимальной нагрузки на кран в динамических режимах его работы и снижения вероятности ошибок крановщика в наиболее опасных режимах;

- автоматическое разрешение или запрещение совмещения выполнения различных крановых операций или отдельных движений крана, в частности автоматическое переключение с режима одновременного управления двумя и более механизмами на режим без совмещения их управлением в наиболее нагруженных или в наиболее динамичных режимах работы крана;

- автоматический выбор одного из исполнительных устройств крана, подлежащего включению в работу, в соответствии с предварительно установленным приоритетом, при попытках крановщика осуществить одновременное управление различными механизмами крана в опасных режимах его работы;

- установка усилия противодействия перемещению крановщиком рукоятки аппарата управления (усилия возврата рукоятки в нейтральное положение) в зависимости от текущего значения грузового момента, скорости перемещения груза или вылета, или осуществление механической вибрации рукоятки при приближении к наиболее опасным режимам работы крана, с целью обеспечения тактильного ощущения режима работы крана рукой крановщика и, соответственно, повышения эргономичности управления краном и безопасности его работы.

Подробное рассмотрение этих направлений выходит за рамки настоящей статьи. Отметим лишь, что их реализация, иными словами — повышение степени «интеллектуализации» и автоматизации управления краном, даст возможность максимально эффективно использовать силовые и скоростные возможности конструкции крана. При этом оптимальное сочетание возможностей человека-крановщика, обладающего способностью предвидеть развитие текущей ситуации, и автоматической системы защиты краном, реализованное по принципу их взаимного резервирования в критических ситуациях с использованием элементов экспертной системы (заявка на патент RU 2004134628), позволит поднять на принципиально более высокий уровень как безопасность работы крана, так и удобство работы крановщика.