

Определение требований к некоторым средствам обеспечения автоматизации мостовых кранов

Ф. Э. Микушевич, И. М. Моисеев

В настоящее время дальнейшая интенсификация погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских (ПРТС) работ благодаря внедрению средств автоматизации имеет исключительное значение для нашей страны как важный резерв экономии трудовых и материальных ресурсов, повышения производительности труда и решения такой социальной задачи как освобождение трудящихся от тяжелого, непривлекательного физического труда.

В нашей стране и за рубежом получены определенные результаты по автоматизации ПТО. Однако основными объектами работ в этом направлении были, как правило, машины с достаточно организованной по технологии ПРТС работ внешней средой и четкими маршрутами грузопотоков. К их числу следует отнести подвесные, толкающие, роликовые, пластинчатые и другие типы конвейеров, краны-штабелеры, контейнерные краны, монорельсовый транспорт, напольный тележечный транспорт (робокары), манипуляторы для загрузки и разгрузки подвесных конвейеров. Именно по этим причинам указанные типы ПТО получили за последнее время преимущественное распространение по сравнению с такими традиционными средствами механизации ПРТС работ как мостовые краны. Тем не менее, как показывает анализ перспектив дальнейшего развития ПТО, мостовые краны являются и будут оставаться в ближайшем будущем

одним из основных средств механизации на предприятиях различных отраслей народного хозяйства. Поэтому проблема их автоматизации в настоящее время очень актуальна.

Анализ накопленного отечественного и зарубежного опыта по автоматизации ПТО позволяет сформулировать некоторые основные этапы рационального выполнения работ, а именно:

создание и производство блоков-модулей средств обеспечения автоматизации отдельных видов работ мостовых кранов. К функциональному назначению таких средств могут быть отнесены: обеспечение безопасности, позиционирование грузозахватного устройства (ГУ) и груза с заданной точностью; оптимизация переходных процессов по критериям ограничения затрачиваемого времени,

раскачивания груза и энергопотребления; идентификация, взвешивание и дозировка грузов; передача данных о работе крана ЭВМ высшего уровня; диагностика исправного состояния и регистрация режимных или ресурсных характеристик отдельных систем крана и др.;

на базе освоенных блоков-модулей средств обеспечения автоматизации создание и освоение различных модификаций мостовых кранов;

создание и производство автоматизированных комплексов, осуществляющих единый технологический процесс.

Необходимо отметить, что в общем случае к грузоподъемному крану как к объекту автоматизации ПРТС работ могут быть предъявлены следующие основные требования: обеспечение безопасности проведения работ; наличие дистанционно управляемого ГУ; возможность обеспечения позиционирования ГУ и груза с заданной точностью. Кроме указанных требований особое внимание должно уделяться факторам обеспечения максимальной преемственности с существующими конструкциями, массовости выпуска и существующего парка конкретных исполнениях мостовых кранов, реальных производственных возможностей и потребности народного хозяйства в их автоматизированных модификациях. Так, обеспечение безопасной работы управляемого оператором магнитного или грейферного крана (что отмечено в соответствующем разделе Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов) практически сводит к минимуму необходимость оснащения автоматизируемых кранов дополнительными устройствами безопасности. При оценке допустимой погрешности позиционирования следует отметить, что в случае перегрузки сыпучих грузов или скрапа черного металла требуемая точность на один или несколько порядков меньше по сравнению с перегрузкой штучных грузов. Из имеющихся публикаций известно, что из общего количества перегружаемых в нашей стране грузов доля сыпучих грузов и скрапа черного металла составляет на сегодня значительную часть и в дальнейшем их количество будет увеличиваться. Именно поэтому существующий парк магнитных и грейферных мостовых кранов из общего количества кранов с дистанционно управляемыми захватами составляет подавляющее большинство и будет продолжать расти в количественном объеме.

Целесообразность выбора магнитных и грейферных кранов в качестве объекта исследования при их автоматизации может быть также подтверждена тем, что в случае перегрузки сыпучих грузов или скрапа черных металлов маршрутизация их грузопотоков, как правило, четко определена технологией ПРТС работ и сравнительно легко может быть запрограммирована с помощью серийно выпускаемых вычислительных средств. Кроме того, из опубликованных в последнее время зарубежных источников также известно, что магнитные и грейферные краны приняты за рубежом в качестве первоочередных объектов

среди мостовых кранов. Таким образом, анализ изложенных требований и факторов позволяет сделать вывод о том, что на первоначальном этапе работы по автоматизации мостовых кранов целесообразно выбрать магнитные и грейферные краны. Следует также отметить, что для автоматизации перегрузочных работ эти краны должны быть обеспечены, по существу, только средствами обеспечения позиционирования ГУ с заданной точностью и по заданной программе.

При рассмотрении погрешности позиционирования ГУ мостового крана в общем случае можно выделить две основные составляющие:

погрешность позиционирования исполнительных органов крана (пролетного строения и грузовой тележки);

погрешность позиционирования ГУ относительно грузовой тележки.

В свою очередь погрешность позиционирования исполнительных органов крана относительно некоторого заданного объекта наведения зависит от следующих факторов:

типа используемых датчиков позиционирования, их шага расстановки и стабильности работы;

случайных нагрузок, действующих на систему, нестабильности начальных условий процессов торможения и характеристик тормозной системы.

Кроме того, погрешность позиционирования может зависеть от перекоса крана и грузовой тележки, уклонов подкрановых и подтележечных путей, податливости металлоконструкции крана и строительной части и пр. Однако для магнитных и грейферных мостовых кранов погрешности вследствие этих факторов являются малыми величинами и не могут оказать какого-либо существенного значения на общую погрешность позиционирования.

Одним из наиболее важных элементов систем автоматизированного управления грузоподъемным краном являются технические средства, позволяющие управляющей ЭВМ получать информацию о состоянии управляемого объекта. Применительно к рассматриваемым грузоподъемным кранам мостового типа к ним, в первую очередь, следует отнести системы позиционирования механизмов крана. Основными элементами системы позиционирования являются датчики позиционирования, которые необходимы для получения информации о текущих координатах исполнительных механизмов.

К настоящему времени разработано и серийно изготавливается большое число различных типов датчиков, которые можно использовать в системах позиционирования грузоподъемных кранов. Из датчиков данного типа можно выделить три основные функциональные группы:

счетные датчики позиционирования; позиционные датчики;

измерительные датчики (измерительные устройства).

Счетные датчики предназначены для измерения какой-либо кинематической характеристики одного из узлов механизма. Принимается, что данная характеристика имеет прямую функциональную связь с путем, пройденным механизмом от точки отсчета, он может быть определен с помощью вычислительных средств.

Позиционные датчики предназначены для выдачи сигнала (единый или кодированный) при прохождении механизмом какой-либо заданной точки (позиции).

Измерительные датчики предназначены для непосредственного измерения расстояния от движущегося механизма до точки отсчета.

Определение текущих координат исполнительных механизмов крана с помощью названных функциональных групп датчиков выполняется с погрешностью, которая далее будет называться погрешностью датчика. Погрешность датчика определяется в первую очередь типом применяемого датчика и входит как составляющая в общую погрешность позиционирования.

Для счетных датчиков с цифровым представлением информации при отсутствии пробуксовки ходовых колес указанная погрешность зависит от скорости движения исполнительного механизма и может быть определена из следующего выражения

$$\Delta S_d = \mp \frac{2\pi V}{\omega_d N}, \quad (1)$$

где ΔS_d — погрешность датчика, м;
 V — скорость движения исполнительного механизма, м/с;
 ω_d — угловая скорость вращения вала датчика, с⁻¹;
 N — число импульсов на один оборот вала датчика.

Величины (ω_d и N определяются типом используемого датчика. Например, для счетного датчика типа ППК-12 N — 4096, а ω_d не должно превышать 3 с⁻¹. Таким образом, при скорости исполнительного механизма 0,5 м/с минимальная погрешность датчика составит 0,25 мм. Однако на практике пробуксовка ходовых колес может привести к систематической накапливаемой ошибке при определении текущих координат исполнительного механизма крана.

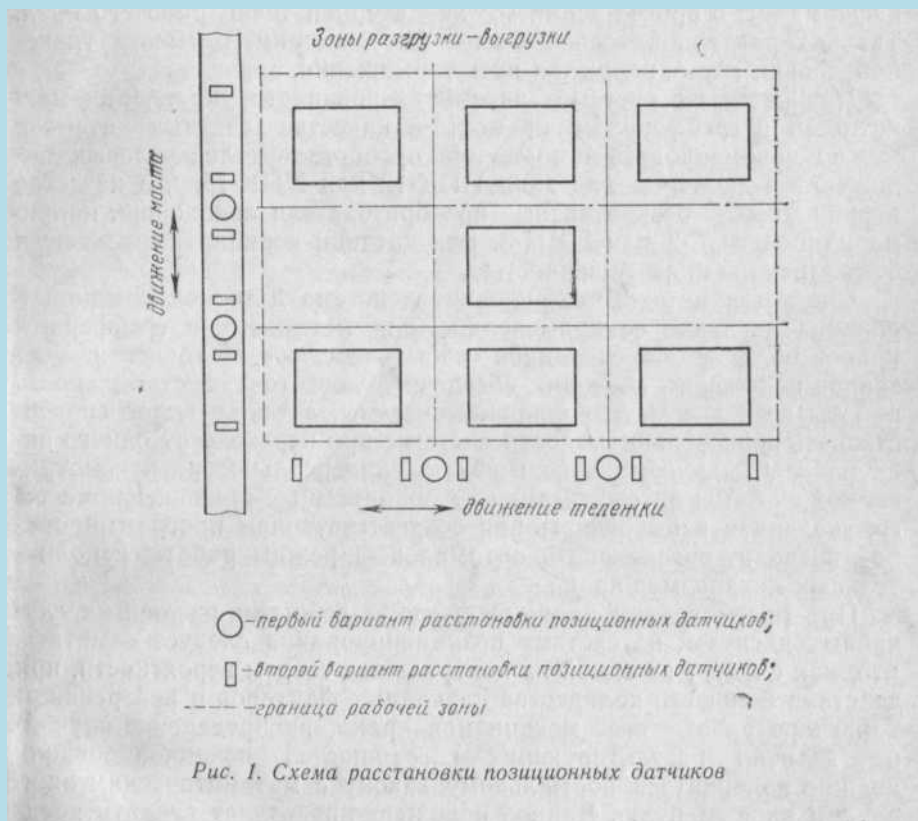
Погрешность позиционного бесконтактного датчика в момент прохождения механизмом точки его установки зависит от технических характеристик датчика и в большинстве случаев находится в пределах от нескольких единиц до нескольких десятков миллиметров. Недостатком позиционных датчиков является неопределенность в положении механизма крана в то время, когда он находится между двумя соседними датчиками.

Погрешность систем позиционирования с использованием измерительных датчиков определяется так же, как и погрешность любого измерительного прибора. Метод непосредственного определения координат механизмов крана с помощью измерительных устройств представляется весьма привлекательным, однако из-за сложности и высокой стоимости измерительные датчики пока не получили широкого применения в системах автоматизации ПТО.

Исходя из приведенного анализа, для позиционирования рассматриваемых магнитных и грейферных кранов можно рекомендовать использование комбинации из счетных и позиционных датчиков, что позволяет, с одной стороны, осуществлять постоянное определение текущих координат механизма кранов, а с другой — выполнять периодическое сравнение данных счетного и позиционного датчиков для исключения накапливаемой ошибки в определении координат.

На рис. 1 представлены две возможные схемы расстановки позиционных датчиков. Выбор варианта расстановки определяется требованиями технологии ПРТС работ. Первый вариант применим в том случае, когда зоны загрузки-выгрузки практически смыкаются друг с другом. Второй вариант используется при более жестких требованиях технологии ПРТС работ, например в случае, когда соседние зоны разделены пространством, в котором загрузка-выгрузка должна быть исключена. В этом случае работа автоматизированного крана организуется таким образом, что операции по загрузке-выгрузке могут проводиться только при положении ГУ в границах зоны, которые определяются позиционными датчиками. В некоторых случаях при применении второго

варианта появится возможность отказаться от использования счетных датчиков, однако такое решение существенно снизит гибкость автоматизированной системы и возможности ее усовершенствования. Из приведенных на рис. 1 схем расположения датчиков видно, что при втором варианте требуется примерно вдвое больше позиционных датчиков.



При работе механизма подъема явление пробуксовки практически отсутствует. Поэтому для определения расстояния от тележки до ГУ достаточно установить один счетный датчик на механизме подъема и один позиционный датчик, который должен давать информацию о прохождении ГУ характерной точки рабочего пути. Такой характерной точкой может быть, например, высота транспортировки груза, исключая путь торможения.

Для работы в системах автоматизированного управления магнитными и грейферными кранами в качестве счетных датчиков можно рекомендовать применение преобразователей угловых положений в двоичный код типа ППК-12 или ППК-15, и в качестве позиционных — бесконтактные преобразователи положения, например, типов ВСГ-2 или ПИП-3. Эти датчики серийно выпускаются отечественной промышленностью.

Следует заметить, что описанная система датчиков позиционирования в случае ее применения для магнитных и грейферных кранов обладает определенной «избыточностью» по точности. Указанное положение позволит обеспечить достаточную стабильность работы всей автоматизированной системы, а также будет способствовать повышению гибкости системы при переходе от одного вида работы к другому и повышению универсальности рассматриваемой системы автоматизации грузоподъемных кранов. Кроме того, указанная избыточность при соответствующем программировании позволит организовать оптимальный режим работы исполнительных механизмов крана.

При рассмотрении влияния фактора действия различных случайных нагрузок на систему позиционирования следует отметить, что, как следует из одной из центральных

теорем вероятности, при действии большого количества случайных факторов и реверсивном характере работы всех механизмов крана, распределение случайных величин результирующих погрешностей позиционирования должно подчиняться нормальному закону с математическим ожиданием равным нулю. Данное положение позволяет сделать предположение об отсутствии необходимости предусматривать на первоначальном этапе какие-либо технические средства, ограничивающие погрешность позиционирования за счет действия случайных нагрузок. Указанная рекомендация может иметь исключения в таких специфических случаях, как, например, при постоянном воздействии на систему больших ветровых нагрузок.

Влияние нестабильности начала торможения и характеристик самой тормозной системы на погрешность позиционирования может быть проиллюстрировано следующим аналитическим выражением

$$\Delta S_k = (V + \Delta V) \Delta t + \frac{(V + \Delta V)^2}{2(a_T + \Delta a_T)} - \frac{V^2}{2a_T}, \quad (2)$$

где ΔS_k — кинематическая составляющая от общей погрешности позиционирования, м;
 V — абсолютное значение теоретически заданной скорости в момент начала торможения, м/с;
 ΔV — разница между фактической и теоретически заданной скоростью, м/с;
 Δt — интервал времени между фактическим и теоретически заданным началом торможения, с;
 a_T — абсолютное значение теоретически заданного среднего ускорения в процессе торможения, м/с²;
 Δa_T — разница между фактическим и теоретически заданным ускорением в процессе торможения, м/с².

Анализ известных исследований по погрешности позиционирования грузоподъемных кранов показывает, что в общем случае существует пропорциональная зависимость между приведенными выше -величинами и абсолютными значениями .самих величин. Кроме того следует отметить, что параметр скорости в двух членах выражения (2) имеет степенную функцию в отличие от параметра ускорения, который имеет непосредственную связь с параметром скорости.

Учитывая данные положения, можно сделать вывод о том, что кинематическая составляющая погрешности позиционирования при прочих идентичных условиях зависит, в первую очередь, от скорости и может быть снижена за счет уменьшения ее абсолютной величины. Следует также отметить, что при выборе исходных данных для определения минимального возможного шага размещения центров пунктов захвата и выгрузки груза в рабочей зоне, обслуживаемой автоматизированным краном, следует осуществлять проверку выполнения следующего неравенства:

$$t \geq \frac{V^2}{2a_p} + \frac{V^2}{2a_T}, \quad (3)$$

где t — шаг размещения центров пунктов захвата и выгрузки груза, м;
 a_p — абсолютное значение теоретически заданного ускорения в процессе разгона, м/с².

Рассмотрение выражения (3) позволяет сделать вывод, что для сокращения возможного шага размещения центров пунктов захвата и выгрузки груза теоретически заданную скорость в момент начала торможения следует принимать равной минимально возможной величине, которая обеспечивается системой регулирования привода. Однако любое снижение скорости, например, за счет использования двухскоростных приводов,

может привести к усложнению и удорожанию системы, а также явиться причиной снижения производительности работ. Поэтому вопрос о выборе указанных кинематических характеристик должен рассматриваться, исходя из комплексной оценки, в качестве которой может быть рекомендован расчет экономической эффективности.

Погрешность позиционирования ГУ относительно грузовой тележки по существу предопределяется типом и характеристиками системы его подвески. Системы подвесок грузоподъемных кранов рассмотрены довольно подробно в ранее опубликованных работах, поэтому нижеприведенный анализ будет ограничен определением их достоинств и недостатков для случаев автоматизации мостовых магнитных и грейферных кранов.

В общем случае системы подвески могут быть классифицированы следующим образом:

- по жесткости (гибкие, жесткие и полужесткие);
- по ориентации в пространстве связей (линейные, плоскостные и пространственные);
- по конструкции связей (с канатами или цепями, телескопические или шарнирно-рычажные, с жесткими колоннами);
- по наличию демпфирующих устройств.

Подвески серийно выпускаемых магнитных и грейферных мостовых кранов выполняются, как правило, в виде гибких линейных систем с использованием канатов. К числу достоинств таких систем следует отнести в первую очередь их конструктивную преемственность с кранами общего назначения, относительную простоту, небольшую массу, низкие трудозатраты в процессе изготовления и эксплуатации кранов. Однако указанные системы подвесок в случае их использования для автоматизированных кранов обладают крупным недостатком, а именно величина амплитуды раскачивания подвески в момент установки груза или посадки ГУ на груз будет являться составляющей частью общей погрешности позиционирования.

Рассмотрим существующие способы ограничения раскачивания груза для гибких систем подвесок грузоподъемных кранов, анализ которых представлен в общем виде в ранее опубликованных работах. Так, из представленного в работах [5, 6] обоснования математической модели крана с грузом и уравнений, описывающих движение системы при перемещении груза в горизонтальной плоскости, для анализа способов ограничения раскачивания груза рассмотрим дифференциальное уравнение, описывающее его движения относительно точки подвеса:

$$\ddot{S}_{отн} + \omega^2 S_{отн} = -\lambda a, \quad (4)$$

где $S_{отн}$ — относительное перемещение массы груза, м;
 ω — вынужденная частота колебаний, c^{-1} ;

$$\omega = p \sqrt{\lambda};$$

p — частота свободных колебаний груза, c^{-1} ;

$$\lambda = \frac{m_k + m_{гр}}{m_k};$$

m_k — приведенная масса крана или тележки, кг;
 $m_{гр}$ — приведенная масса груза, кг;
 a — среднее ускорение системы, м/с².

Решение уравнения относительного движения груза (4) при условии $a = \text{const}$ может быть записано в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} S_{отн}(t_{n+1}) &= \frac{\dot{S}_{отн}(t_n)}{\omega} \sin \omega (t_{n+1} - t_n) + \\ &+ \left[S_{отн} + \frac{a}{p^2} \right] \cos \omega (t_{n+1} - t_n) - \frac{a}{p^2}; \\ \dot{S}_{отн}(t_{n+1}) &= \dot{S}_{отн} \cos \omega (t_{n+1} - t_n) - \\ &- \omega \left[S_{отн} + \frac{a}{p^2} \right] \sin \omega (t_{n+1} - t_n) \end{aligned} \right\} (5)$$

В работах [5—8] с использованием теории оптимального управления приводится доказательство, что при формировании по определенным законам процессов разгона и торможения системы с неподвижным в начальный момент движения грузом результирующие в конце переходного процесса амплитуда и скорость раскачивания груза относительно точки его подвеса будут равны нулю. Для иллюстрации данного положения рассмотрим представленные на рис. 2 фазовые траектории относительных колебаний груза при различных графиках изменения скорости системы кран- груз или тележка-груз.

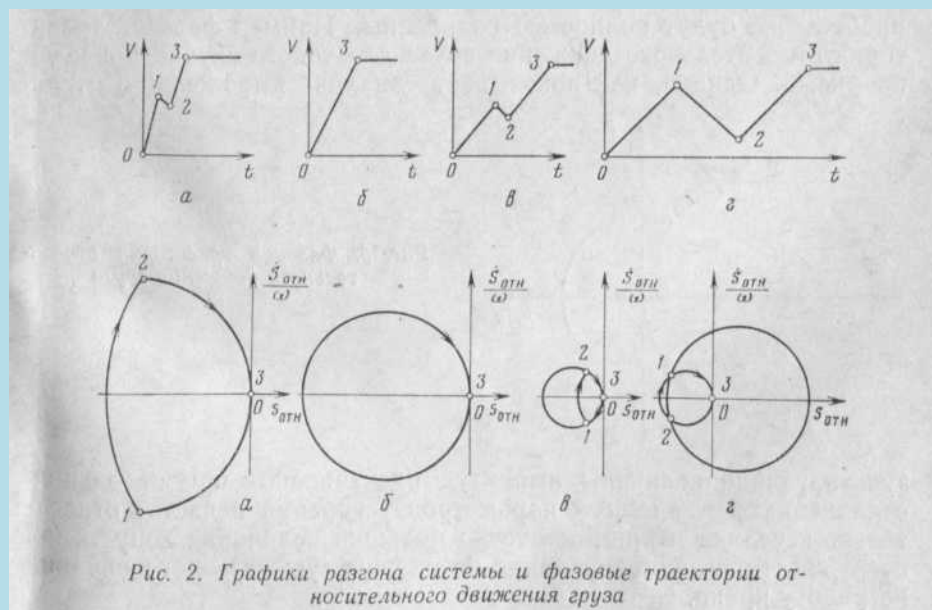


Рис. 2. Графики разгона системы и фазовые траектории относительного движения груза

Как следует из приведенных графиков, существует два метода подавления раскачивания груза — метод двойного пуска или торможения (рис. 2, а, в, г) и метод искусственного подбора соответствующих величин ускорений и частот вынужденных колебаний (рис. 2, б). Первый метод широко используется на практике крановщиками с большим опытом работы с целью подавления раскачивания груза в процессе разгона и торможения механизмов передвижения. Однако для его внедрения при автоматизации краной понадобится достаточно сложная система с большим количеством обратных связей по изменяемым в процессе работы параметрам ускорений и частот вынужденных колебаний. Поэтому на первоначальном этапе автоматизации магнитных и грейферных мостовых кранов следует признать более целесообразным использование второго метода с

заданными величинами ускорений и частот вынужденных колебаний. Физический смысл данного метода заключается в том, что процесс транспортировки должен происходить на теоретически заданной высоте, т. е. с постоянной частотой вынужденных колебаний при транспортировке наиболее массового груза по технологии ПРТС работ. Кроме того, средние величины ускорений разгона и торможения как крана, так и тележки должны быть равны между собой, а продолжительность переходного процесса должна быть равна периоду вынужденных колебаний.

Следует отметить, что величины ускорений и частоты вынужденных колебаний при выполнении холостого и рабочего рейсов будут отличаться от теоретически заданных величин. В случае непринятия необходимых мер по их компенсации указанные отличия приведут к тому, что продолжительность переходного процесса не будет точно равна периоду вынужденных колебаний. Вследствие этого результирующие колебания груза в конце переходного процесса не будут полностью подавлены. Пример фазовой траектории относительного движения груза для такого случая приведен на рис. 3.

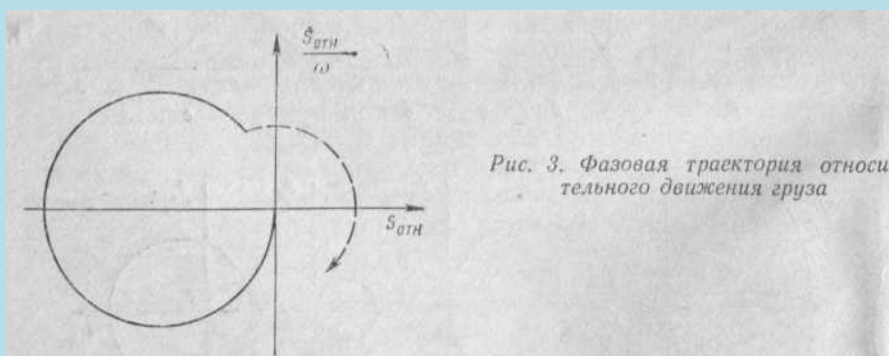


Рис. 3. Фазовая траектория относительного движения груза

Однако, как показывает анализ выражений (5), результирующие величины амплитуд раскачивания при небольших отклонениях от заданных параметров ускорений и частот относительно невелики и при достаточно больших величинах допустимой погрешности позиционирования не окажут существенного влияния на работу крана.

Приведенные примеры возможных технических решений не охватывают всего многообразия задач по рациональным областям использования средств для обеспечения автоматизации мостовых кранов. Однако они иллюстрируют рациональные направления по их поэтапному внедрению с учетом современных потребностей народного хозяйства и его реальных производственных возможностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балашов В.П., Креков В.Г., Микушевич Ф. Э., Тимофеев В.Д. Совершенствование конструкций кранов мостового типа. - Обзор. ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, М., 1983, № 6—83—34.
2. Ганновер Х. О. Тенденции развития кранового и грузоподъемного оборудования. Пер. с нем. ВЦП., № И— 14621, М., 1984.
3. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. М., «Металлургия», 1970.
4. Микушевич Ф. Э., Новиков А. М., Сорокин Ю. Р. Исследование работы крана типа КК-20 в автоматизированной системе управления крупным контейнерным пунктом. Труды ВНИИПТМАШ, М., 1984.
5. Микушевич Ф.Э. Некоторые особенности расчета и проектирования козловых контейнерных кранов. Труды ВНИИПТМАШ, М., 1982.

6. Разработка типов и параметров перспективного ряда козловых контейнерных кранов и технических требований к приводам механизмов кранов и схеме подвески грузов, обеспечивающих повышение их производительности. Отчет ВНИИПТМАШ № ГР 79019148, М., 1980.

7. Ключев А. С., Колесников А. А. Оптимизация автоматических систем управления по быстродействию. М. «Энергия», 1982.

8. Смехов А.А., Ерофеев Н. И. Оптимальное управление подъемно-транспортными машинами. М., «Машиностроение», 1975.

9. Фритч В. Применение микропроцессоров в системах управления. Пер. с нем. М., «Мир», 1984.