

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОПЕРАЦИОННОГО СВЕТИЛЬНИКА

Гусев В.В., Молчанов А.Д., Крупнов Д.С., Супрунов И.Д.

(ДонНТУ, г.Донецк, Украина)

Тел.: +38 (062) 3010731; E-mail: mc@mech.dgtu.donetsk.ua

Abstract: For the automation of operating light it is obtained the limit on rotation speed and duration of acceleration – brake time of actuator by the conditions of smoothness and precision positioning of the lamp unit. The simulation model of unit of operating light with a stepper motor control system is developed in environment Matlab (Simulink). It pick up the control parameters on the motor phase currents, which provided reduction of duration of transients and smooth as it rotates.

Качество операции в медицине во многом определяется удобством работы хирурга, качеством освещения операционной зоны. Для работы в операционных разработаны операционные светильники. Они должны обеспечить требуемое освещение операционного поля и иметь возможность быстро и комфортно менять зону освещения при необходимости. Они должны обеспечить комфорт операционной бригады при обслуживании и работе, возможность оперативного встраивания видеосистемы в светильники, обеспечить сокращение капитальных и эксплуатационных затрат. Шарнирные соединения, используемые в конструкции светильников, позволяют им легко вращаться и фокусироваться таким образом, что пересечение световых потоков происходит на операционном поле непосредственно, вне зависимости от расстояния от светильников до стола. В настоящее время, как правило, перемещения светильника осуществляется вручную. В связи с этим возникает задача автоматизации перемещения светильника при обеспечении точности и быстродействия его перемещения, позволять изменять фокусировку при необходимости в течение операции.

В качестве прототипа выбран операционного светильника общий вид, и кинематическая схема которого, представлена на рисунке 1. В ангулярной сферической системе координат перемещение объекта в пространстве происходит только за счет относительных угловых поворотов звеньев. При этом хотя бы одно звено должно иметь возможность поворота на углы в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Так, за основные перемещения в пределах рабочей зоны хирурга отвечает вращение в шарнирах №1 и №2. Шарнир №3 выполняет функцию изменения высоты светильника над рабочей зоной. Фокусировка светового пятна на рабочей поверхности, в представленном механизме, осуществляется при помощи вращения шарниров №4 и №5 обслуживание наибольшего объема рабочей зоны и обладает максимальной антропоморфностью. Недостатком является то, что жесткость конструкции в ней понижена, из-за чего возникают трудности обеспечения необходимой точности позиционирования.

Целью настоящей работы является разработка требований к механизму поворота операционного светильника для обеспечения его плавного поворота на требуемый угол за минимальное время.

Основное содержание

Несмотря на достаточно большое разнообразие приводов поворота звеньев манипуляторов в робототехнике наиболее удобным для автоматизации является электромеханический привод, вследствие его высокого быстродействия, плавности работы и достаточно большого диапазона регулирования частоты вращения.

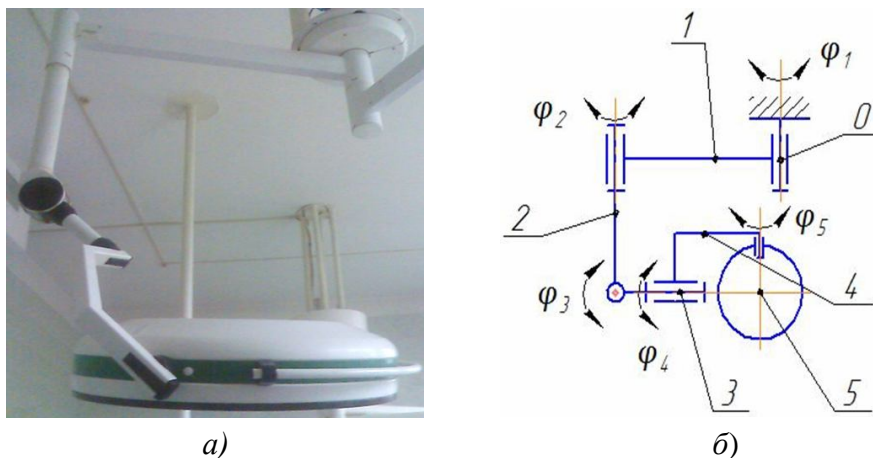


Рис. 1. Потолочный операционный светильник
 а - общий вид, б – кинематическая схема

Для обеспечения возможности освещения любой точки операционной зоны, как показал анализ, предельными углами поворота звеньев операционного осветителя являются (см. рис.1): $\varphi_1 = 360^\circ$; $\varphi_2 = 30^\circ$; $\varphi_3 = 15^\circ$; $\varphi_4 = 30^\circ$; $\varphi_5 = 40^\circ$.

Если принять, что погрешность углового поворота звена не должна превышать половины углового градуса, согласно эмпирическим зависимостям, приведенным в [1], угловая скорость поворота звена не должна превышать $\omega_{\text{ср}} = 10 \text{ рад/с}$.

В качестве закона изменения ускорения за цикл перемещения (поворота) звена операционного светильника принимаем синусоидальный закон изменения ускорения. При переходных процессах возникают колебания в механизмах привода, которые ограничивают номинальные ускорения. Так как импульсные возмущения, образующиеся при разгоне и торможении, характеризуются силовым спектром, то в приводе появляются главным образом колебания с собственными частотами системы. Для ограничения этих колебаний время торможения должно быть таким, чтобы низшая собственная частота колебаний была выше полосы частот, в которой сосредоточена основная часть энергии импульсов [2]. Необходимо чтобы было выполнено условие $\tau/T \leq 2$, где τ – время разгона (торможения), T – период собственных колебаний системы.

Собственную частоту колебаний светильника определили методом спектральной функции С. А. Бернштейна [3]. Среднее значение собственной частоты светильника составляет **15,23 Гц**. в этом случае для обеспечения устойчивости ситемы достаточно чтобы время разгона τ (торможения) не превышало 0,1 с. При принятом допустимой угловой скорости величина углового ускорения не должна превышать **100 рад/с²**.

Структурную схему операционного светильника (см. рис. 1 б) можно записать в виде **(B||B⊥B⊥B⊥B)**, которая показывает последовательность расположения осей соседних кинематических пар. За обобщенные координаты примем переменные параметры $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5$. Зная обобщенные скорости и ускорения светильника, можно вычислить скорость и ускорение любой точки любого звена \dot{i} операционного светильника. Соответствующие матрицы перехода были найдены нами при решении прямой задачи кинематики.

Кинетостатический анализ светильника, основанный на принципе Даламбера [4], позволил определить необходимые усилия в приводах вращательного движения, необходимые для реализации заданного движения объекта, и сил инерции в кинематических парах, возникающих при выполнении некоторого заданного движения

операционного светильника. Рассчитанные усилия приводов позволяют обоснованно выбрать мощность приводов, а силы и моменты сил инерции звеньев необходимы для последующих расчетов механической системы на прочность и жесткость.

В дальнейшем рассмотрим выбор двигателя и системы управления им на примере механизма поворота звена 5. Расчет показал, что необходимый крутящий момент при повороте звена составляет 12,4 Н·м. В качестве источника движения используем шаговый электродвигатель (ШД) с редуктором серии FL86STH-JB, который имеет выходной момент **24,5 Н·м**. Чтобы ШД можно было управлять необходимо, подключить драйвер G213V с параллельным способом подключения.

Для обеспечения плавности поворота звена светильника была разработана математическая модель, которая описывает процессы при повороте:

$$\left\{ \begin{array}{l} J \frac{d^2 \theta}{dt^2} = M_{ЭМ} + M_{ПМ} - M_c - K_{ВТ} \frac{d\theta}{dt} \\ M_{ЭМ} = K_1 (I_{A+} \cos(\theta_{ЭМ}) - I_{A-} \cos(\theta_{ЭМ}) + I_{B+} \sin(\theta_{ЭМ}) - I_{B-} \sin(\theta_{ЭМ})) \\ M_{ПМ} = -K_{ПМ} \sin(4\theta_{ЭМ}) \\ \theta_{ЭМ} = \frac{N_{ШД}}{4} \theta \\ J = J_0 + J_1 + J_2 \end{array} \right.$$

где J – суммарный момент инерции; $M_{ЭМ}$ – электромагнитный момент; $M_{ПМ}$ – момент, создаваемый постоянными магнитами; M_c – момент сопротивления; $K_{ВТ} = 10$ – коэффициент вязкого трения (определен экспериментальным путем [5]); $K_{ПМ} = 1$ – конструктивная постоянная, равная амплитуде момента, обусловленного постоянными магнитами (определена экспериментальным путем); $I_{A+}, I_{A-}, I_{B+}, I_{B-} = 2,8$ А – токи в фазах ШД.

Данная математическая модель позволила разработать в среде Matlab (Simulink) схему (рис. 2), которая позволяет изучить переходные процессы при повороте звена светильника.

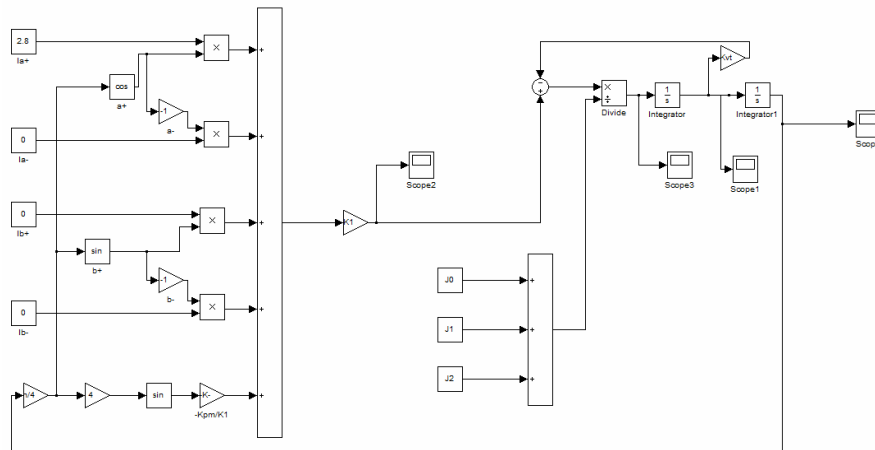
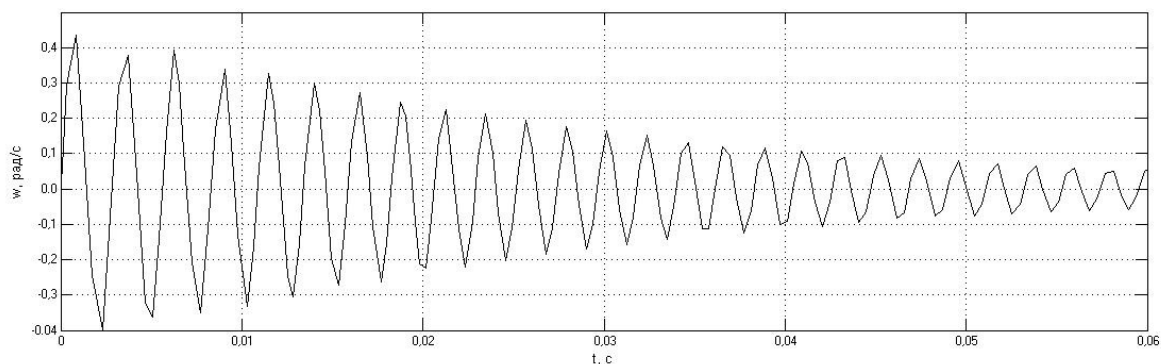


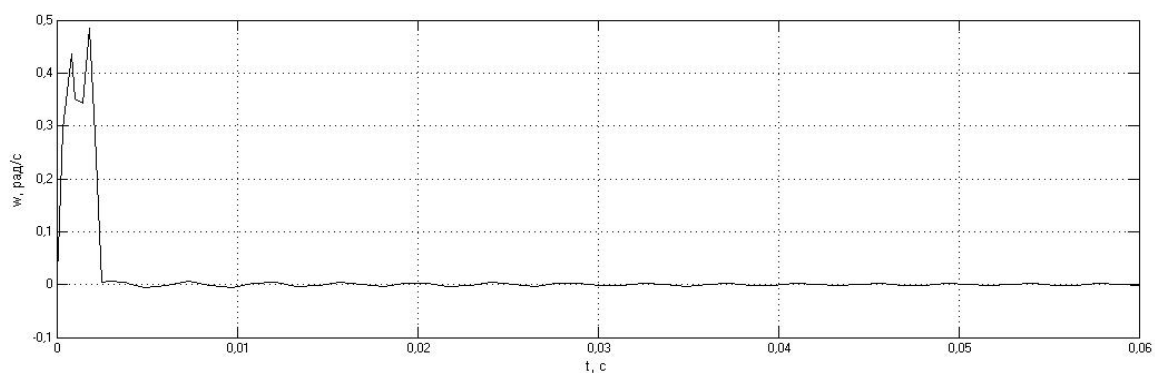
Рис. 2 Модель работы поворота светильника в среде Matlab (Simulink)

При моделировании было установлено, что в обычном режиме управления при повороте светильника возникают переходные колебательные процессы (рис. 3 а).

Для сокращения длительности переходных процессов и устранения колебаний при повороте светильника нами была использована система управления ШД импульсами различной длительности [5]. В результате удалось сократить длительность переходных процессов с 0,07 с до 0,0025с (см. рис.3 б).



а)



б)

Рис 3. Переходные процессы по скорости поворота звена 5 светильника
а- при обычном управлении ШД, б- импульсном управлении ШД

Выводы

1. Для автоматизации работы операционного светильника получены ограничения по скорости поворота и длительности режима разгона – торможения привода из условия плавности и точности позиционирования звена светильника.
2. Разработанная имитационная модель в среде Matlab (Simulink) звена операционного светильника с шаговым двигателем с системой управления, позволила подобрать параметры управления токов на фазы двигателя, что обеспечило сокращение длительности переходных процессов и плавность при его повороте.
3. В дальнейшем планируется разработка алгоритма управления двигателями звеньев операционного светильника из условия минимизации длительности поворота светильника в требуемую точку операционного поля.

Список литературы: 1. Кузнецов М.М., Усов Б.А., Стародубов В.С. Проектирование автоматизированного производственного оборудования. – М.: Машиностроение, 1987. – 288с. 2. Кузнецов Ю. Н. Станки с ЧПУ.: Учеб. Пособие. – К.: Выща шк., 1991. – 278 с.: ил. 3. Механика промышленных роботов: Учеб. Пособие для вузов: В 3 кн./ Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. – М.: Высш. шк. 1988,1989. 4. Орликов М. Л. Динамика станков.– 2-е изд.– К.: Выща шк, 1989. – 272 с. 5. Осадчий В.В, Назарова Е.С., Тоболкин С.Ю., Лабораторный стенд для исследования алгоритмов микропроцессорных систем управления шаговыми двигателями. – УДК 000.31:621.3.049.77.