УДК 519.2

В.Т. Белан, В.И. Корсун

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ОПЕРАТОРА МОСТОВОГО КРАНА С ПОМОЩЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ

На базе использования концепций обобщенного входа и возмущения волновой структуры построена динамическая модель оператора мостового крана в пространстве состояний и выполнено ее исследование.

Ключевые слова: модели, оператор, мостовой кран, переменные состояния, возмущения.

Введение

Проблема подготовки операторов, упраляющих сложными техническими системами, создания и эффективного использования соответствующих тренажеров всегда находилась и находится в поле зрения ведущих ученых и специалистов [1,2]. Особенно это касается разработки тренажеров для подготовки операторов-машинистов мостовых кранов.

Последнее обусловлено тем, что перед допуском к самостоятельной работе оператор-машинист должен пройти стажировку на кране, на котором будет в дальнейшем работать [3]. Продолжительность стажировки устанавливается в зависимости от конструкции крана и индивидуальных способностей оператора. Она, как правило, составляет не менее 10 дней для операторов, работающих на кранах общего и специального назначения, и не менее 1 месяца – для операторов, работающих на кранах, эксплуатируемых в металлургическом производстве, и на кранах-перегружателях.

Постановка задачи исследования

В современных условиях проблема создания эффективных тренажеров операторов различных мостовых кранов стоит особо остро: из-за низкой квалификации кандидатов на эту должность следовало бы увеличить время их стажировки на работающем кране. Однако для экономии времени и энергетических ресурсов более эффективным является путь, который предусматривает использование различного рода тренажеров с изменяющимися параметрами и характеристиками. Для создания и настройки подобных тренажеров необходимо иметь динамические модели человека-оператора, осуществляющего управление соответствующей технической системой или соответствующим технологическим процессом. Разработанные математические модели человека-оператора опираются на использование всевозможных передаточных функций (с элементами запаздывания или без них) и нелинейных описаний преобразователей информации [1,2].

Эти модели в недостаточной степени отражают изменяющиеся в процессе обучения свойства человека-оператора и нуждаются в совершенствовании. Поэтому целью данной работы является разработка и апробация новой модели оператора мостового крана, которая опирается на симбиоз концепций обобщенного входа [4] и возмущения волновой структуры [5].

Основные исследования

Обобщенным объектом, которым на тренажере будет управлять обучающийся, являются два двигателя постоянного тока независимого возбуждения, обеспечивающие возможность крюку крана перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Каждый из этих двигателей, работающих на инерционную нагрузку с вязким трением, описывается математической моделью в переменных состояния

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= Ax(t) + Bu(t), \\ y(t) &= Cx(t), \end{aligned} \qquad (1)$$

где $A = \begin{bmatrix} -\frac{R_я}{L_я} & -\frac{k_{эм}}{L_я} & 0 \\ \frac{k_{эм}}{J} & -\frac{f}{J} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_я} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$, $C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$,

 ISSN 1562-9945

$u(t)-$ напряжение на якоре двигателя; $y(t)-$угол поворота вала двигателя; $R_я$ и $L_я$ - соответственно активное сопротивление и индуктивность якорной цепи; $J-$ момент инерции нагрузки, приведенный к валу двигателя; $k_{эм}$- единый электромагнитный коэффициент; $f-$коэффициент вязкого трения.

Поскольку не существует двух электродвигателей с абсолютно одинаковыми параметрами и характеристиками, то с целью выравнивания в их моделях матриц A , B , C, воспользуемся принципом обобщенного входа.

Суть принципа обобщенного входа заключается в том, что в системе, которая описывается моделью $x(t)=W(p,t)f(t)$ с оператором $W(p,t)$ и в системе, описываемой моделью $y(t)=F(p,t)\varphi(t)$ с оператором $F(p,t)$ (здесь $p=d/dt$), могут быть одинаковые динамики: $y(t)=x(t)$. При этом во вторую систему с помощью входного воздействия $\varphi(t)$ (обобщенного входа) как бы вносятся недостающие элементы структуры.

Математические модели управляемых обучающимся на тренажере оператором мостового крана двигателей постоянного тока с целью однотипности их описания представим в виде:

$$\begin{aligned} &\frac{dx(t)}{dt}=A_0x(t)+B_0u(t)+Fw(t), \\ &y(t)=C_0x(t), \end{aligned} \qquad (2)$$

где $w(t)$ – вектор внешних возмущений, полученный при преобразовании модели (1) в результате применения к ней принципа обобщенного входа.

Командные сигналы $y_{ki}(t)$ $(i=1,2)$ в зависимости от сложности задачи, решаемой обучающимся оператором, имеют различное описание. Например, если ему требуется отслеживать эллиптическую траекторию, то $y_{k1}(t)=a\cos(\omega t)$, а $y_{k2}(t)=b\sin(\omega t)$. Для более сложных режимов эти функции имеют другой вид.

В самом общем виде любой командный сигнал $y_k(t)$ может быть представлен выходом некоторой фиктивной динамическойсистемы [4,5]:

$$\frac{dr(t)}{dt} = Rr(t),$$
$$y_k(t) = Gr(t) \tag{3}$$

с известными матрицами R и G. Сигнал $y_k(t)$ непосредственно измерим или наблюдаем.

В свою очередь, возмущение волновой структуры $w(t)$ также представимо в виде выхода фиктивной динамической системы

$$\frac{dz(t)}{dt} = Dz(t),$$
$$w(t) = Hz(t), \tag{4}$$

где $w(t)$ недоступно для непосредственного измерения, матрицы D и H заданы, а вектор $z(t)$ является «состоянием процесса помехи», начальные условия в (4) неизвестны и могут скачкообразно изменяться в произвольные моменты времени [5].

Обучающийся на тренажере оператор мостового крана должен выбирать такие управляющие воздействия $u(t)$ в обоих каналах, описывающихся моделями вида (1), чтобы их выходы $y(t)$ точно и по возможности безынерционно отслеживали командные сигналами $y_{ki}(t)$ *(i=1,2)* в условиях действия помех $w(t)$, генерируемых системой (4).

Это управление условно представить в виде двух слагаемых: $u_n(t)$ и $u_k(t)$.

Первое из этих составляющих обеспечивает компенсацию помехи $w(t)$, а второе – слежение за командным сигналом $y_k(t)$.

Согласно [5] точная компенсация помехи реализуется с помощью управляющего воздействия $u_n(t) = \Lambda z(t)$, где матрица Λ определяется из выражения

$$\Lambda = -\left(W^T B\right)^+ W^T FH + \left[E - \left(W^T B\right)^+ W^T B\right] Q_\Lambda, \tag{5}$$

где символом $(\cdot)^+$ обозначена псевдообратная матрица,

$W = \left[C^T \vdots A^T C^T \vdots \left(A^2\right)^T C^T \vdots \cdots \vdots \left(A^{n-1}\right)^T C^T\right]$, Q_Λ – произвольная параметрическая матрица, E - единичная матрица.

 ISSN 1562-9945

В свою очередь, управление, обеспечивающее идеальное слежение за командным сигналом $y_k(t)$, имеет вид $u_k(t)=K_1x(t)+K_2r(t)$, где матрица K_1 выбирается так, чтобы матрица $A+BK_1$ была устойчивой. Что же касается матрицы K_2, то она находится из условия $BK_2=V+\Theta R-A\Theta-DK_1\Theta$ для некоторой матрицы V, являющейся решением уравнения $Ce^{A(t-\tau)}V=0$. Матрица Θ , в свою очередь, находится из выражения $G=C\Theta$.

Таким образом, после выбора матриц K_1 и K_2 идеальное управляющее воздействие человека-оператора на мостовой кран имеет следующий вид:

$$u(t)=\Lambda z(t)+K_1x(t)+K_2r(t). \tag{6}$$

Реализация алгоритма идеального управления (2)-(6) возможна различными способами. Однако наиболее эффективно применение здесь всевозможных идентификаторов состояния, которые могут иметь и такой вид:

$$\begin{bmatrix} \dfrac{d\hat{x}(t)}{dt} \\ \cdots \\ \dfrac{d\hat{z}(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A+L_1C & \vdots & FH \\ \cdots & . & \cdots \\ L_2C & \vdots & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}(t) \\ \cdots \\ \hat{z}(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} L_1 \\ \cdots \\ L_2 \end{bmatrix} y(t) + \begin{bmatrix} B \\ \cdots \\ 0 \end{bmatrix} u(t), \tag{7}$$

где матрицы L_1 и L_2 выбираются таким образом, чтобы рассогласование между состоянием $\begin{bmatrix} x(t) & , & z(t) \end{bmatrix}$ и его оценкой $\begin{bmatrix} \hat{x}(t) & , & \hat{z}(t) \end{bmatrix}$ асимптотически стремилось к $\begin{bmatrix} 0 & , & 0 \end{bmatrix}$ при $t\to\infty$.

В свою очередь, оценка «состояния командного сигнала» может быть выполнена идентификатором, динамика которого описывается следующим образом [5]:

$$\frac{d\hat{r}(t)}{dt}=\left[R+NG\right]\hat{r}(t)-Ny_k(t), \tag{8}$$

где матрица N обеспечивает желаемый темп стремления $\hat{r}(t)$ к $r(t)$ при $t\to\infty$.

С учетом оценок $\hat{x}(t),\hat{z}(t)$ и $\hat{r}(t)$ физически реализуемое обучающимся оператором управление приводным двигателем мостового крана имеет вид:

$$u(t) = \Lambda \hat{z}(t) + K_1 \hat{x}(t) + K_2 \hat{r}(t). \quad (9)$$

Выводы

Полученная выше математическая модель, представляющая собой динамическое управляющее уствойство с алгоритмом функционирования (7), (8), (9) была апробирована на предмет ее адекватности действиям обучающегося оператора мостового крана.

Результатов вычислительного эксперимента с этой моделью подтвердили факт возможности такой настройки полученной выше математической модели, которая отображала бы разные уровни квалификации оператора мостового крана, имеющие место на разных стадиях обучения. При этом траектории могут иметь различную степень сложности в условиях одновременного управления оператором не только двух, но и трех приводных двигателей тренажера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современная теория систем управления / наук. Ред. К. С. Леондес. – М.: Наука, 1970. – 512 с.

2. Информационно-управляющие человеко-машинные системы:Исследование, проектирование, испытания: справочник / [авт.-сост. А.И. Губинский и др.].- Москва: Машиностроение, 1993.- 527 с.

3. Типова інструкція з безпечного ведення робіт для працівників (машиністів кранів мостового типу (мостових, козлових, напівкозлових): НПАОП00.0-5.18-96.-[Чинна від 26.03.95].- К.: Держстандарт України, 1996.- 20 с.

4. Голубенцев А.Н. Обобщенный вход в динамике / А.Н. Голубенцев.- К.: Техника, 1971. – 136 с.

5. Андреев Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами / Ю.Н. Андреев. – М.: Наука, 1976. – 424 с.

ISSN 1562-9945