

УДК 614.8

*А.Е. Басманов, канд. техн. наук, вед. научн. сотр. УГЗУ,
В.К. Мунтян, канд. техн. наук., зав. каф. физико-математических
дисциплин*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧЕЛОВЕКА КАК ЗВЕНА ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Предложено рассмотрение человека как звена динамической системы «человек – средства пожаротушения – пожар». На основании эксперимента выбрана переходная функция такого звена и построены оценки ее параметров.

Постановка проблемы. Человек, участвующий в локализации и ликвидации пожара становится звеном замкнутого контура системы управления «человек – средства пожаротушения – пожар». Влияние человека сказывается на всех этапах – принятии решения и выборе плана локализации и ликвидации пожара, развертывании сил и средств, подачи огнетушащих средств. Количественное описание влияния человека на указанные процессы требует построения математической модели его взаимодействия с другими звеньями системы.

Анализ публикаций. Исследование вопроса влияния человеческого фактора, как динамического звена в сложных системах управления, было начато еще в 60-х годах прошлого столетия [2]. Однако эти исследования ограничивались либо исследованиями психофизиологических возможностей человека или реакцией человека, как звена системы управления, на различные раздражители – такие как угловые ускорения, линейные перегрузки, вибрация и т.п. [1, 3, 4].

В сфере пожарной безопасности, в частности, при локализации и ликвидации пожара, действия пожарного как звена динамической системы управления до настоящего времени остаются не исследованными.

Постановка задачи и ее решение. Построим передаточную функцию человека-оператора, являющегося звеном системы «человек – средства пожаротушения – пожар».

Влияние человеческого фактора в рассматриваемом случае сводится к следующим основным составляющим:

- случайные ошибки при выборе боевых позиций для сил и средств;

- случайные ошибки при подаче огнетушащих средств в очаг пожара;
- задержка ответной реакции на воспринятый органами чувств сигнал.

Для выяснения особенностей последних двух составляющих был проведен эксперимент, в ходе которого группе испытуемых (15 человек) предлагалось по команде открыть задвижку на ручном стволе Б, попасть струей в цель и удерживать струю на ней. Эксперимент проводился в зимних условиях при боковом ветре менее 0,5 м/с. В ходе дешифрирования видеосъемок, проводимого кадрами с интервалом в 1/24 с, измерялось время запаздывания ответной реакции на воспринятый сигнал τ_1 (время от получения команды до начала действий), время полета струи до цели τ_2 , ошибка попадания струи в цель – отклонение y по вертикали от приемлемого диапазона. Величины τ_1 , τ_2 , y являются случайными. Обработка результатов эксперимента показала, что время ответной реакции колеблется в пределах от 0,17 до 0,33 секунд, со средним значением $\bar{\tau}_1 = 0,22$ с. Среднее время полета струи до цели составило $\bar{\tau}_2 = 0,32$ с.

Видя отклонение струи от цели, оператор вносит коррективы в направление ствола. Возникающая при этом задержка τ складывается из времени полета струи до цели и времени ответной реакции:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2.$$

В условиях эксперимента $\bar{\tau} = 0,54$ с. На рисунке 1 приведено изменение среднего отклонения струи от цели с течением времени.

В технике динамическое звено принято описывать передаточной функцией $W(p)$, соответствующей дифференциальному уравнению, связывающему входной и выходной сигнал. В рассматриваемом случае на вход поступает сигнал от органов чувств, а выходным сигналом является рассогласование y . Будем рассматривать человека как колебательное звено второго порядка [3]:

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2dTp + 1}, \quad d < 1, \quad (1)$$

где T – постоянная времени, с.; d – декремент затухания. Основания для выбора именно такой передаточной функции следующие.

Инерционному звену первого порядка $W(p) = \frac{k}{Tp + 1}$ и инерционному

апериодическому звену второго порядка $W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2dTp + 1}$, $d \geq 1$, соответствует переходная характеристика, экспоненциально приближающаяся к установившемуся режиму, но не пересекающая его [3]. Результаты же эксперимента показали пересечение установившегося режима (рис. 1).

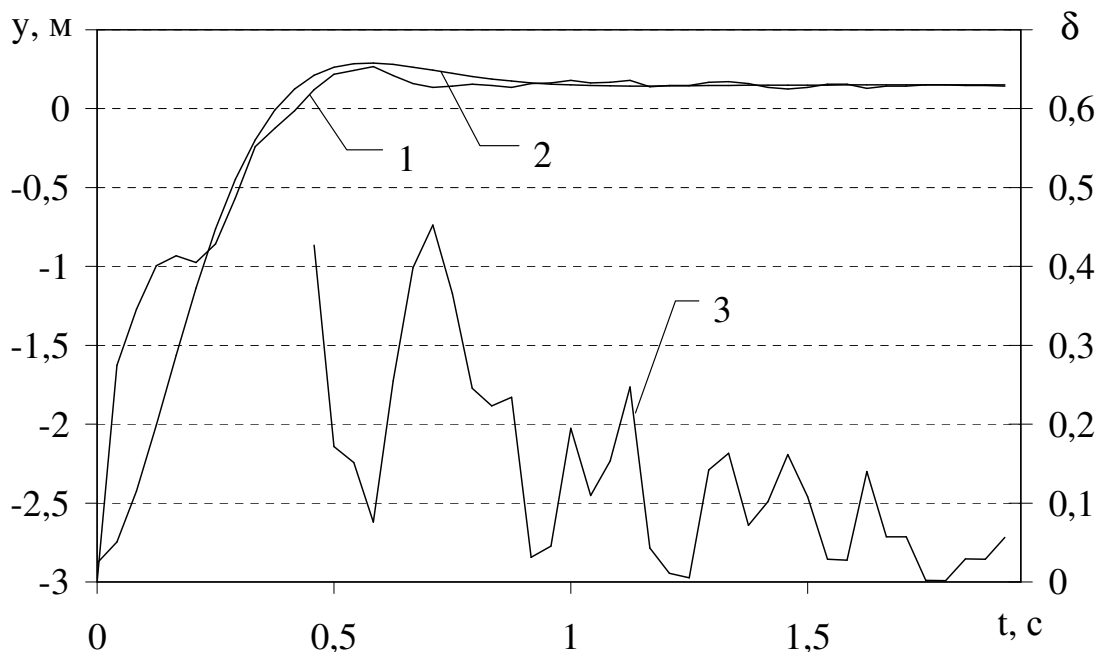


Рисунок 1 – Изменение отклонения y струи от цели с течением времени: 1 – выборочное среднее по результатам экспериментов; 2 – аппроксимация в виде (3); 3 – относительное отклонение между ними δ (по правой оси)

Решение дифференциального уравнения, соответствующего передаточной функции (1) имеет вид:

$$y = k \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1-d^2}} e^{-\frac{t}{T_0}} \sin(\omega t + \alpha) \right], \quad (2)$$

где $T_0 = \frac{T}{d}$, $\omega = \frac{\sqrt{1-d^2}}{T}$, $\alpha = \arctg \frac{\sqrt{1-d^2}}{d}$. Коэффициент усиления k равен расстоянию между начальной точкой и установившимся режимом ($k \approx 3$ м). Для оценки параметров T и d был применен метод наименьших квадратов, что дало значения $d = 0,7$ и $T = 0,13$ с. Подставляя их в (2), получим кривую 2 (рис. 1):

$$y = 0,15 - 4,24e^{\left(-\frac{t}{0,186}\right)} \cdot \sin(5,49t + 0,8), \quad (3)$$

где учтено, что начало отсчета перенесено в $y_0 = -k = -3$, а установившийся режим – в $y_\infty = 0,15$.

Из рисунка видно, что зависимость (3) достаточно хорошо описывает выборочное среднее: относительная погрешность после первоначально заброса достигает 45%, затем снижается и не превосходит 20%.

Выводы. Построена математическая модель действий человека как звена системы управления «человек – средства пожаротушения – пожар» в виде колебательного инерционного звена второго порядка. Учет динамических свойств такого звена необходим, если время выполнения боевой задачи сравнимо со временем задержки ответной реакции τ и временем выхода на установившийся режим $3T$. В противном случае влиянием этого звена можно пренебречь.

Эксперимент выявил статическую ошибку операторов пожарного ствола – почти все направляли струю выше цели. Перспективы дальнейших исследований связаны с исследованием факторов, влияющих на величину этой ошибки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.С. Модели динамических свойств летчика в аварийной ситуации // Технические и научно-методические материалы по безопасности полета. – Москва: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1973. – С. 3-21.
2. Ломов Б.Ф. Военная инженерная психология. – Москва: Воениздат, 1970 с. – 237 с.
3. Маркианов Л.И. Основы автоматики систем летательных аппаратов. – Харьков: ХВВАИУ, 1979. – 363 с.
4. Системы управления летательных аппаратов / Архипов М.С., Жулев В.И., Иванов В.С. и др. – Москва: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1978. – 354 с.