

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зайцев Г.Ф., Костюк В.И., Чинаев П.И. Основы автоматического управления и регулирования. -К.: Техника, 1977. -472с.
2. Вагапов В.Б. Автоматика радиоэлектронных систем. -К.: Выща школа, 1988. -351с.
3. Ю.Ту. Современная теория управления. -М.: Машиностроение, 1971.-472с.
4. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования: Учебное пособие для вузов. - М.: Машиностроение, 1985. - 536с.
5. Кирилова Ф.М., Полетаева И.А., Чуракова С.В., Габасов Р. Управляемость и синтез оптимальных динамических систем / Оптимальные и адаптивные системы: Труды 4-го Всесоюзного совещания по автоматическому управлению. - М.: Наука, 1972. -312с.

*Поступила в редколлегию 30 сентября 1999 г.*

УДК 681.514:623.4.054.001.57

### МОДЕЛЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ОПЕРАТОРА СИСТЕМИ СТЕЖЕННЯ НА РУХОМІЙ ПЛАТФОРМІ

*Б.П. Матушко, ад'юнкт*

*(Військовий інститут артилерії при СумДУ)*

Прагнення створити модель, яка б правильно і точно відтворювала діяльність людини (оператора) у структурі автоматизованої системи, продиктоване, в першу чергу, практичними міркуваннями. Така модель дозволила б оперувати з людиною таким же чином, як зі звичайною динамічною ланкою системи.

Найбільшого поширення для апріорної оцінки якості діяльності операторів систем стеження набули математичні моделі, що ґрунтуються на методах теорії автоматичного регулювання (ТАР).

Використання вказаних методів дозволяє:

- подати оператор комбінацією простих динамічних ланок (передавальною функцією) з достатньою для інженерних розрахунків точністю;
- наглядно показати фізичну сутність різних властивостей оператора як активного елемента системи керування;
- проводити оцінку якості функціонування автоматизованих систем безпосередньо в динаміці процесу керування.

Моделювання здійснюється в такій послідовності.

1 Проводиться попередня оцінка передавальної функції об'єкта керування. При цьому доцільно, застосовуючи правила структурних перетворень, апроксимувати передавальну функцію об'єкта виразом допустимо простого вигляду при урахуванні його основних динамічних властивостей.

2 Формалізується діяльність оператора шляхом вибору його передавальної функції за відомим видом передавальної функції об'єкта керування.

3 На ЕОМ здійснюється моделювання діяльності оператора з метою одержання характеристик для оцінки її якості (параметрів закону розподілу помилок стеження, амплітудно-частотних характеристик і т.д.).

Для сучасних систем компенсуючого стеження зі стабілізацією поля зору, встановлених на рухомих платформах, передавальна функція об'єкта керування з гіроскопічним датчиком у першому наближенні відповідає найпростішій інтегруючій ланці:

$$W_O(p) = \frac{K_O}{p}, \quad (1)$$

де  $K_O$  - коефіцієнт підсилення об'єкта керування;

$p = j\omega$  - комплексна змінна.

Вид моделі оператора залежить від типу діяльності, умов роботи, виду задавальних дій, динаміки керованого процесу і т.д. Крім того, необхідно враховувати, що поведінка оператора визначається:

- наявністю запізнювання реакції оператора;
- фільтрацією низьких частот;
- спроможністю оператора відчувати зміну параметрів керованого об'єкта і навколишнього середовища і відповідно змінювати свої параметри;
- здатністю оператора до екстраполяції при стеженні;
- відносною стабільністю характеристик оператора при достатньому часі його навчання і роботи та при вирішенні порівняно простих завдань.

Спроби пошуку глобальної передавальної функції людини-оператора виявилися невдалими. Для лінійної неперервної моделі системи стеження (рис. 1) використовуються передавальні функції оператора виду

$$W_{OP}(p) = \frac{K_{OP}M(p)}{N(p)}e^{-\tau p}, \quad (2)$$

де  $K_{OP}$  - коефіцієнт підсилення оператора;

$\tau$  - час чистого латентного запізнювання оператора;

$M(p)$  - поліном, який має порядок від нульового до другого і відображає здатність оператора до врахування першої та другої похідних вхідного сигналу;

$N(p)$  - поліном, який має порядок від нульового до четвертого і відображає характеристики нервово-м'язової системи людини та її здатність до фільтрації високочастотних складових.

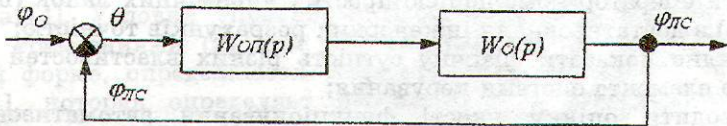


Рисунок 1 - Система з лінійною моделлю людини-оператора

Незважаючи на те, що такий приблизний опис динаміки людини-оператора в останній час підлягає критиці, запропонована модель корисна при дослідженні систем «людина-техніка» для визначення меж керованості та описування найбільш важливих властивостей системи.

Складність математичної моделі залежить від бажаної точності відтворення характеристик оператора. Для багатьох практично важливих випадків керування оператором динамічним об'єктом у вигляді інтегруючої ланки його модель при квазіоптимальних умовах роботи апроксимується передавальною функцією Хендерсона [1]:

$$W_{OP}(p) = \frac{K_{OP}(T_1 p + 1)}{(T_2^2 p^2 + 2\xi T_2 p + 1)p} e^{-\tau p}, \quad (3)$$

$T_1$  - стала часу, що відображає реакцію оператора на поточну відносну швидкість руху об'єкта спостереження;

$T_2$  - стала часу коливальної ланки, що подає виконувальний механізм людини;

$\xi$  - коефіцієнт відносного затухання цієї ланки.

Передавальна функція замкненого контуру стеження має вигляд

$$W_C(p) = \frac{K_{OP}K_O(T_1p + 1)e^{-\tau p}}{T_2^2 p^4 + 2\xi T_2 p^3 + p^2 + K_{OP}K_O(T_1p + 1)e^{-\tau p}}. \quad (4)$$

Дослідження [2,3] показують, що параметри передавальної функції (3) оператора суттєво змінюються залежно від його індивідуальних особливостей. Параметри мають деякий розкид для одного і того ж оператора навіть після тривалої адаптації його до системи керування.

У зв'язку з цим виникає необхідність дослідження динаміки замкненого контуру системи з урахуванням впливу оператора. Випадковий характер збурюючих дій і керуючих сигналів, обумовлених рухом платформи та її переміщенням відносно об'єкта спостереження, викликає необхідність застосування методів статистичної динаміки.

Для вирішення завдання дослідження були прийняті такі параметри передавальної функції:  $K_{OP} = 0,29 \text{ с}^{-1}$ ;  $K_O = 2,8 \text{ с}^{-1}$ ;  $T_1 = 1,0 \text{ с}^{-1}$ ;  $T_2 = 0,2 \text{ с}^{-1}$ ;  $\tau = 0,2 \text{ с}$ ;  $\xi = 0,4$ . Закон руху об'єкта спостереження поданий сумою двох синусоїд з амплітудами 10 і 15 мм та частотами 0,8 і 1,2  $\text{с}^{-1}$  відповідно. З використанням моделі була отримана залежність помилки стеження  $\sigma$  (рис.2) від параметрів оператора стеження.

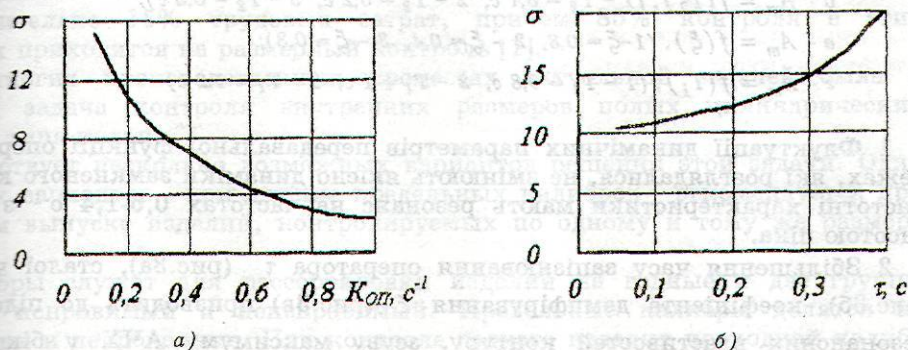


Рисунок 2 - Залежність помилки стеження від коефіцієнта підсилення оператора (а) та часу його латентного запізнювання (б)

Встановлено, що збільшення коефіцієнта підсилення оператора призводить до зменшення помилки стеження. Так, при  $K_{OP} = 0,17 \text{ с}^{-1}$  помилка  $\sigma$  складає 12 мм, а при збільшенні  $K_{OP}$  у 2 рази вона зменшується до 8 мм або на 33%.

Зміна часу латентного запізнювання  $\tau$  від 0,1 до 0,3 с, що є характерним для операторської діяльності, внаслідок недостатніх навичок або втоми, обумовлює відповідне збільшення помилки стеження  $\sigma$  від 11 до 14,4 мм або на 27%.

Аналіз амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) (рис. 3) дозволяє зробити наступні зауваження:

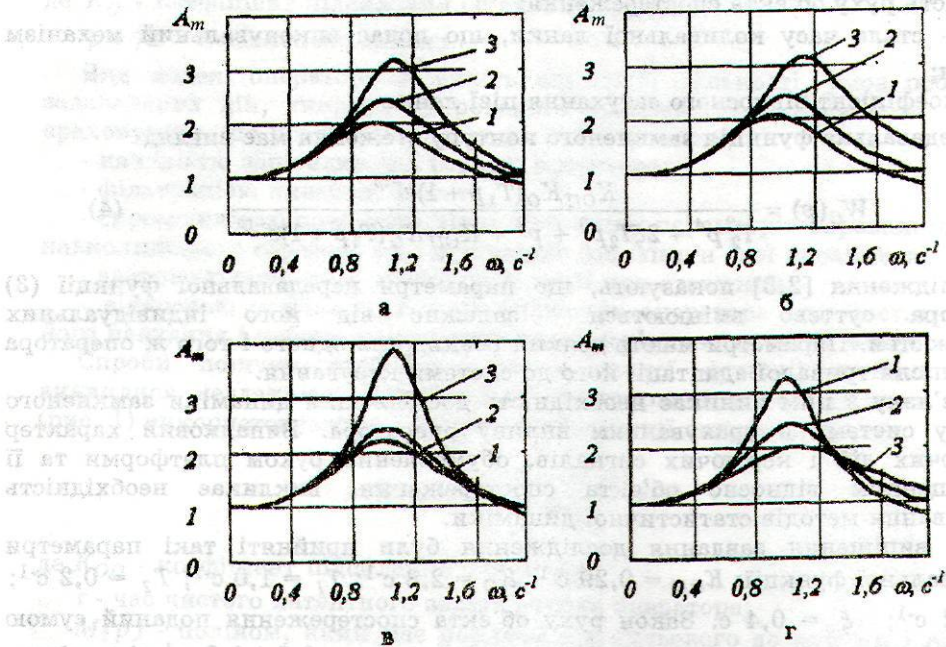


Рисунок 3 - Вплив флуктуацій параметрів оператора на амплітудні значення помилок:

а -  $A_m = f(\tau)$ , ( $1 - \tau = 0,1$  с,  $2 - \tau = 0,2$  с,  $3 - \tau = 0,3$  с);

б -  $A_m = f(T_2)$ , ( $1 - T_2 = 0,1$  с,  $2 - T_2 = 0,2$  с,  $3 - T_2 = 0,3$  с);

в -  $A_m = f(\xi)$ , ( $1 - \xi = 0,8$ ,  $2 - \xi = 0,4$ ,  $3 - \xi = 0,3$ );

г -  $A_m = f(T_1)$ , ( $1 - T_1 = 0,8$  с,  $2 - T_1 = 1$  с,  $3 - T_1 = 1,2$  с)

1 Флуктуації динамічних параметрів передавальної функції оператора в межах, які розглядалися, не змінюють якісно динаміки замкненого контуру. Частотні характеристики мають резонанс на частотах  $0,6-1,4$   $\text{с}^{-1}$  з різною висотою піка.

2 Збільшення часу запізнювання оператора  $\tau$  (рис.3а), сталої часу  $T_2$  (рис.3б), коефіцієнта демпфірування  $\xi$  (рис.3в) призводить до підсилення резонансних властивостей контуру, зсуву максимуму АЧХ у бік вищих частот та збільшення помилок відпрацювання у діапазоні частот  $0,6-1,4$   $\text{с}^{-1}$ .

3 Збільшення сталої часу  $T_1$  (рис. 3г), яка визначає форсування вхідного сигналу, також викликає зсув максимуму АЧХ у бік вищих частот, але на відміну від попереднього випадку зумовлює деяке зменшення його значення і як наслідок - підвищення точності стеження в діапазоні низьких частот.

4 Коливання значень параметрів, які аналізуються, не призводить до суттєвої зміни частотних характеристик в області частот  $\omega > 1,8$   $\text{с}^{-1}$  і, отже, не впливає на помилки в цій області.

5 Помилки стеження, що спричиняються високочастотною частиною спектра збурень ( $\omega > 1,8$   $\text{с}^{-1}$ ), оператор фізично компенсувати не може.

## ВИСНОВОК

Запропонована модель може бути використана для дослідження впливу оператора на характеристики конкретних систем стеження з метою їх удосконалення.

## SUMMARY

The article deals with the problems connected with the investigation of the Human Operator activity in the automated system of follow-up controls. The suggested mathematical model of the Operator is received by the methods of the automatic regulation theory. The use of the given model allowed to estimate the influence of the fluctuation of the dynamic parameters of the Human Operator on the system characteristics.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Цибулевский И.Е. Человек как звено следящей системы. - М.: Наука, 1981. - 288 с.
2. Присняков В.Ф., Приснякова Л.М. Математическое моделирование переработки информации оператором человек-машинных систем. - М.: Машиностроение, 1990. - 248 с.
3. Шеридан Т.Б., Феррел У.Р. Системы человек-машина: Модели обработки информации, управления и принятия решений человеком-оператором / Пер. с англ. / Под ред. К.В. Фролова. - М.: Машиностроение, 1980. - 400 с.

Надійшла до редколегії 26 січня 2000 р.

УДК 681.2

## ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННИХ РАЗМЕРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

А.А.Борисенко, проф.; В.В.Войцицкий, инж.

В машино- и приборостроении на операции контроля приходится приблизительно 15% трудовых затрат, причем 85% контроля в этих отраслях приходится на размерный контроль [1].

Во многих производственных процессах актуальной задачей была и остается задача контроля внутренних размеров полых цилиндрических изделий типа кольца.

Существует несколько возможных вариантов решения этой задачи. Один из таких вариантов - применение предельных калибров - рекомендуется при массовом выпуске изделий, контролируемых по одному и тому же размеру [2].

Калибры служат для рассортировки изделий на годные и две группы брака - исправимый и неисправимый. Предельные калибры делятся на проходные и непроходные. При контроле годного изделия проходной калибр должен проходить через него, а непроходной проходить не должен, таким образом, первый отделяет годные изделия от брака исправимого, а второй - от брака неисправимого. К калибрам предъявляется ряд метрологических, конструктивных, технологических и эксплуатационных требований, зачастую противоречивых. Метрологические требования сводятся как к допускам на их изготовление, так и к соблюдению принципа Тейлора, согласно которому проходной калибр должен обладать возможностью полного контакта по диаметру с контролируемым изделием, а непроходной, наоборот, должен иметь точечный контакт с тем же изделием. Эти