

Если  $K_i$  является сечением отказов одного события, то соответствующая вероятность определяется как

$$Pr(K_i = 1) = 1 - \exp(-\lambda t).$$

Если  $K_i$  является сечением отказов двух событий, то вероятность  $Pr(K_i = 1)$  определяется численным решением системы дифференциальных уравнений (9), которая строится на основе графа переходов, изображенного на рис.6. Для приближенной оценки верхней границы вероятности отказа можно воспользоваться выражением

$$Q_s(t)_{max} = \text{первое приближение} = \sum_{i=1}^n Pr(K_i = 1),$$

для чего необходимо использовать выражение для сечений с одним событием и выражение (15) для сечений с двумя событиями. Отказы, определяемые сечениями, которые содержат три или больше событий, наступают довольно редко, так что взнос их в вероятность отказа системы является несущественным по сравнению со взносом сечений для одного или двух событий.

**Выводы.** Проведен анализ техногенного риска с использованием Марковской модели для резервирования. Анализ результатов численного решения системы уравнений показал, что при нагруженном резервировании вероятность отказа выше, чем при частично нагруженном, а при частично нагруженном – выше, чем при ненагруженном резервировании. Введение в систему дополнительных элементов приведет к уменьшению вероятности возникновения аварийной ситуации и, следовательно, повышению безопасности объекта (снижению аварийности).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Э.Дж.Хенли. Надежность технических систем и оценка риска / Э.Дж.Хенли, Х.Кумамото. – М.: Машиностроение, 1984. – 528с.
2. Дранишников Л.В. Оценка риска возникновения аварии / Дранишников Л.В., Найверт Л.И. // Науковий вісник УкрНДІПБ: наук. журнал. – К.:УкрНДІПБ МНС України, 2004. – №2(10). – С.31-41.
3. Теоретические основы техногенной и экологической безопасности. Часть 2. Методы анализа и оценки риска аварий / Дранишников Л.В., Матвеев Ю.Н., Палюх Б.В., Богатиков В.Н. – Тверь: ТвГТУ, 2013. – 165с.

Поступила в редколлегию 25.06.2013.

УДК 65.015.11

ЛЕВЧУК К.О., к.е.н., доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕЯКИХ ЕРГОНОМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОПЕРАТОРІВ

**Вступ.** Протягом тривалого часу функції людини стосовно техніки залишались в основному енергетичними, тобто для керування технікою людина користувалась своєю м'язовою силою. Ця праця характеризується складними руховими процесами, які вимагають значних затрат фізичної сили, високої координації рухів, спритності. Узгодження людини з технікою зводилось лише до врахування анатомічних та фізіологічних особливостей.

Операторська діяльність значно змінила працю людини. Перед оператором постає завдання керувати все більшою кількістю об'єктів та параметрів і тому збільшується

напруга у праці. Людина має справу не з прямим спостереженням, а з інформаційним відображенням. Зростають вимоги до точності, швидкості та надійності дій людини, до швидкості психологічних процесів. Трудова діяльність супроводжується значними витратами нервово-емоційної та розумової енергій.

Комп'ютеризація та роботизація, з одного боку, розширили можливості людини, а з іншого – значним чином змінили вимоги до її діяльності. Відпадає необхідність у деяких видах діяльності з використанням примітивної праці по виконанню монотонних фізичних операцій, з шаблонною розумовою діяльністю. Ускладнилась проблема узгодження умов праці, конструкції машин з психологічними та фізіологічними можливостями людини. Людина стала невід'ємною і найважливішою складовою частиною системи «людина-машина-середовище» (ЛМС).

Для того, щоб керувати технологічним процесом, спостерігати та контролювати роботу, оператору необхідні дані, котрі характеризують як хід процесу, так і відповідні органи керування. При керуванні процесом оператору доводиться переробляти великий обсяг інформації. При цьому він зазнає нервового перенапруження. Для розв'язання проблем психологічного характеру конструктори намагаються пристосувати машину до людини так, щоб забезпечити найсприятливіший режим роботи.

Всі зміни керованого об'єкта фіксуються за допомогою датчиків. Сигнали від датчиків перетворюються і подаються до приладів, за якими спостерігає людина. Вона сприймає показання приладів, розшифровує їх, приймає рішення, виконує відповідні дії. Сигнал, що виникає внаслідок дій людини, перетворюється і надходить до керованого об'єкта, змінюючи його стан.

Для технологічних процесів у багатьох галузях загальний операційний час є критичним для успішного виконання задач. Окрім того, дані досліджень часу реакції операторів на виробничі чинники (подразники) можуть бути використані з метою професійного відбору, оскільки вони дозволяють виявити людей з уповільненою реакцією, яких не можна допускати до виконання операцій, коли швидкість реакції оператора може бути вирішальною.

**Постановка задачі.** Дослідити вплив інтенсивності звукового та світлового сигналів на час реакції оператора та побудувати його математичну модель.

**Результати роботи.** Під терміном «час реакції оператора» необхідно розуміти проміжок часу між початком дії, викликаного сигналом, що позбуждає до дії, та моментом закінчення дії.

Спрощена структурна схема такої системи наведена на рис. 1.

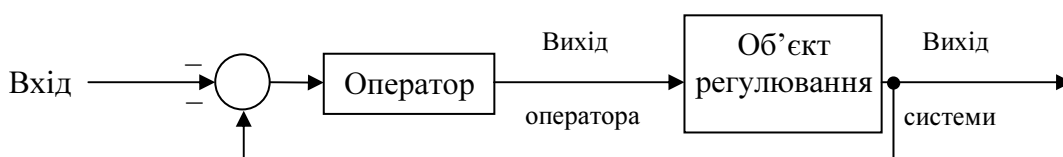


Рисунок 1 – Структурна схема «оператор-машина»

Для такої схеми виявилось можливим характеризувати діяльність оператора квазілінійною ланкою з передатною функцією:

$$W_0 = \frac{k_0 I^{-p\tau_0} (T_{01} + 1)}{(T_{01}p + 1)(T_{03} + 1)}, \quad (1)$$

де  $k_0$  – коефіцієнт підсилення оператора;

$l^{-P\tau_0}$  – передатна функція ланки, що характеризує запізнювання реакції оператора від моменту появи сигналу до моменту його інтерпретації центральним аналізатором;

$(T_{01}p+1)$  – передатна функція ланки, що характеризує спроможність оператора випереджати сигнал для компенсації своєї інертності;

$(T_{02}p+1)$  – передатна функція ланки, що характеризує інертність нервового тракту оператора і проходження імпульсу порушення по нервовому тракту;

$(T_{03}p+1)$  – передатна функція ланки, що характеризує інертність м'язового тракту оператора.

Аналізованій функції відповідає структурна схема моделі оператора, наведена на рис.2.

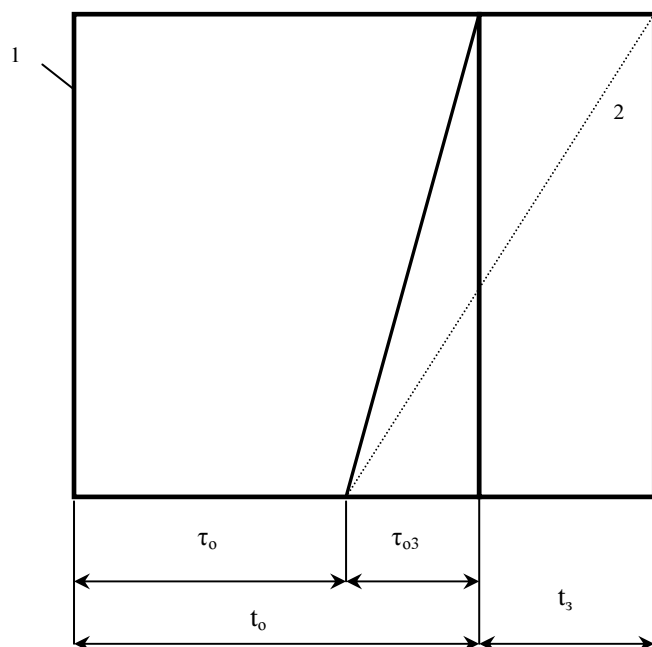


Рисунок 2 – Структурна схема моделі оператора

Звичайно  $T_{02} \ll T_{03}$ , і для простішого випадку (відключення тумблера) складову можна не враховувати. Тоді передатна функція оператора буде мати вигляд:

$$W_0 = \frac{k_0 l^{-P\tau_0}}{T_{03}p+1} \quad (2)$$

На підставі виразу (2) можна зобразити якісну картину формування реакції так, як це показано на рис.3.



1 – вхідний сигнал; 2 – вихідний сигнал;

$t_0$  – момент подачі сигналу;

$t_3$  – час реакції оператора

Рисунок 3 – Реакція оператора

З рис.3 випливає, що час реакції оператора може бути записаний з точністю до 5%:

$$t_3 = \tau_0 + 3T_{03} \quad (3)$$

В свою чергу час  $\tau_0$  можна представити у вигляді суми

$$\tau_0 = t_b + t_p \quad (4)$$

де  $t_b$  – час, необхідний оператору, щоб сприйняти сигнал (час на сприйняття), с;

$t_p$  – час на прийняття рішення, с.

Позначивши другий доданок формули (3) через  $t_g = 3T_{03}$ , отримаємо:

$$t_3 = t_b + t_p + t_g \quad (5)$$

де  $t_g$  – час, необхідний для виконання дії, с.

Розглянемо кожну із складових часу  $t_3$ .

Час на сприйняття сигнала

лу  $t_b$  залежить від визначеного органу почуттів, на який впливає сигнал, а також від інтенсивності сигналу. Так, для простої реакції (вмикання, відключення тумблера) при достатній інтенсивності сигналу усереднений час складає для відчуття 0,15 с, дотику – 0,16 с і зору – 0,2 с.

Якісна картина впливу інтенсивності звукового сигналу на час реакції наведена в табл.1 і на рис.4; вплив інтенсивності світлового сигналу на час реакції оператора – відповідно в табл.2 та на рис.5. Отже, з рис.5 випливає, що чим більша інтенсивність сигналу, тим коротший (до визначених меж) час реакції.

Таблиця 1 – Вплив інтенсивності звукового сигналу на час реакції оператора

Інтенсивність сигналу, $I_3$ , дБА	9,5	12,3	21,8	35,3	65	80
Час реакції оператора, $t_3$ , с	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05

Час на прийняття рішення  $t_p$  значно змінюється в залежності від складності майбутнього рішення. Час на прийняття рішення пропорційний логарифму числа оцінюваних можливостей рішення  $B_p$ , тобто

$$t_p = \lg B_p. \tag{6}$$

На рис.4 наведено дані по вимірюванню часу реакції оператора на звуковий сигнал та результати їх математичної обробки. Методом найменших квадратів отримано наступні коефіцієнти рівняння залежності часу реакції оператора від інтенсивності звукового сигналу:

$$t_r = 0,04 + 0,5 \exp(-0,04(I_3 - 6)). \tag{7}$$

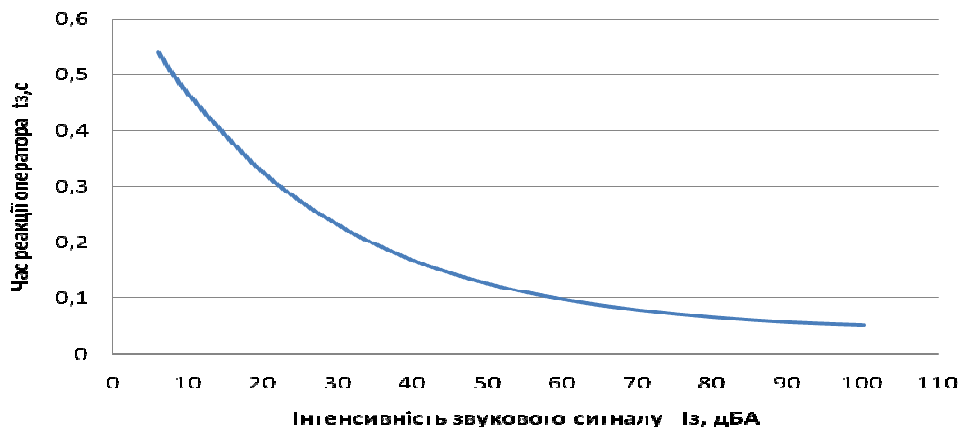


Рисунок 4 – Якісна картина впливу інтенсивності звукового сигналу на час реакції оператора

Час, необхідний для виконання дії  $t_g$ , залежить від складності дії, наприклад, від зусилля, дистанції, переміщення, необхідної точності, а також від тієї частини тіла, що бере участь у цій дії. Для дуже простих дій (наприклад, переключення тумблера) потрібен час близько 0,1 с.

Таблиця 2 – Вплив інтенсивності світлового сигналу на час реакції оператора

Інтенсивність світлового сигналу, $I_c$ , лк	39	65	82	99	120	157	217
Час реакції оператора, $t_c$ , с	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,03	0,01

На рис.5 наведено результати вимірювань та їх математичної обробки по вивченню часу реакції оператора на світлові сигнали різної інтенсивності. Коефіцієнти рівняння залежності часу реакції оператора від інтенсивності світлового сигналу мають вигляд:

$$t_r = 0,01 + 0,35 \exp(-0,02(I_c - 30)). \quad (8)$$

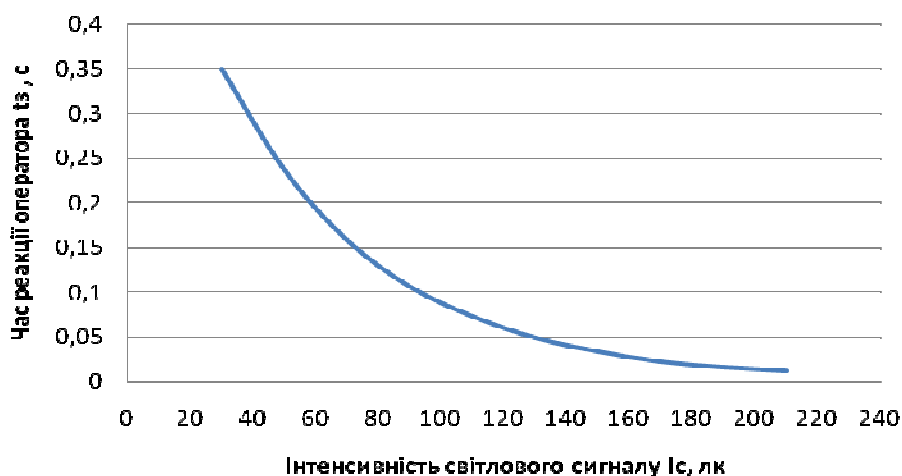


Рисунок 5 – Якісна картина впливу інтенсивності світлового сигналу на час реакції оператора

**Висновки.** Аналізатори людини функціонують в умовах складної взаємодії. На кожен аналізатор людини діють одночасно декілька подразників, які впливають взагалі на всю систему аналізаторів. Тому необхідно враховувати не лише можливості аналізатора, але і умови, в котрих перебуває людина. Відомо, що надмірний шум змінює чутливість зору. Чутливість зорового апарата знижується під дією деяких запахів, температури, вібрації. Визначаючи оптимальні умови функціонування, слід враховувати всю систему подразників, що діють на аналізатори людини, комплексно враховувати чинники навколишнього середовища (запиленість, загазованість, надлишкові теплові випромінювання, шум, вібрація та ін.)

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Основи охорони праці: підручник / [Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. та ін.]. – 2-ге вид., допов. і перероб. – К.: Основа, 2006. – 444с.
2. Безопасность производственных процессов: справочник / [С.В.Белов, В.Н.Бринза, Б.С.Векшин и др.]; под общ. ред. С.В.Белова. – М.: Машиностроение, 1985. – 448с.
3. Борьба с шумом на производстве: справочник / [Е.Я.Юдин, Л.А.Борисов, И.В.Горенштейн и др.]; под общ. ред. Е.Я.Юдина. – М.: Машиностроение, 1985. – 400с.

Надійшла до редколегії 26.06.2013.