

4. Ломотько Д.В., Кузнецов М.М. До питання оптимізації розподілу рухомого складу під навантаження на залізничному полігоні // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.- № 4, 2005. - с. 96-101.

**УДК 656.2.08**

*Мойсеєнко В.И., к.т.н., професор (УкрГАЗТ)*

### **ОЦЕНКА ВОССТАНАВЛИВАЕМОСТИ ОПЕРАТОРОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

**Постановка проблемы.** Системы управления технологическими процессами в промышленности и на транспорте до настоящего времени в ближайшем обозримом будущем предполагают наличие человека-оператора в контуре управления. В транспортных системах, реализующих ответственные технологические функции, роль человека существенно возрастает. Это объясняется тем, что кроме обычных задач управления оператор обеспечивает безопасность при возникновении нештатных ситуаций. Надежные свойства человека-оператора в настоящее время изучены недостаточно. В первую очередь это объясняется сложностью и неоднозначностью процессов, свойственных интеллектуальным организмам, что требует создания сложных моделей [1].

**Анализ исследований и публикаций.** Известны работы специалистов, рассматривающих надежность систем управления с оператором [2,3]. В общем виде вероятность безотказной работы такой системы в течении времени  $(t_1, t_1 + \Delta t)$  определяется работой техники и способности человека безошибочно выполнять обязанности:

$$P(t_1, \Delta t) = P(t_1, \Delta t)p_o(\Delta t), \quad (1)$$

где  $P(t_1, \Delta t)$  – вероятность безотказной работы техники в интервале времени  $(t_1, \Delta t)$  ;

$p_o(\Delta t)$ - вероятность безошибочной работы оператора в течении времени  $\Delta t$  при условии, что технические средства работают в штатном режиме.

На железнодорожном транспорте сбой системы управления компенсируется за счет вмешательства человека-оператора. Вероятность безопасного поведения такой системы в соответствии с [3] для интервала времени  $(t_1, t_1 + \Delta t)$ :

$$P(t_1, \Delta t) = p_o(\Delta t)[P_{от}(t_1, \Delta t, \delta) + P_{т}(t_1, \Delta t)], \quad (2)$$

где  $P_{от}(t_1, \Delta t, \delta)$ -условная вероятность безопасной работы в течении времени  $(t_1, t_1 + \Delta t)$  система „человек-техника” с компенсацией последствий опасных отказов техники (опасный отказ произошел в момент времени  $t_i$  ( $t_1 < t_i < t_1 + \Delta t$ ) и он был компенсирован действиями оператора).

В реальной ситуации для обеспечения безопасности работы транспортного комплекса должны компенсироваться не только отказы техники, но и ошибки человека:

$$P(t_1, \Delta t) = \{p_o(\Delta t) + [1 - p_o(\Delta t)]\rho\} [P_{т}(t_1, \Delta t) + P_{от}(t_1, \Delta t, t_i)]. \quad (3)$$

Такой метод не позволяет исследовать свойства человека и его возможности реализовать заданный алгоритм работы. В этом смысле определенный интерес представляет подход, при котором ресурс работоспособности оператора формулируется и представляется в виде двух противоположно направленных на результат деятельности человека составляющих. Одна составляющая рассматривается как расходуемый, другая- как восполняемый ресурс работоспособности [3,4].

Рассуждения строятся из предпосылки о том, что в процессе работы восполнение работоспособности может быть обеспечено за счет обучения. Такой подход позволяет использовать известные методы теории надежности [2]. В процессе работы человек адаптируется к выполняемой работе, накапливая производственный опыт, тем самым увеличивая собственный ресурс. Однако необходимо указать, что накопление опыта не всегда приводит к улучшению работы оператора. В случае накопления негативного опыта происходит вытеснение приобретенного ранее

позитивного и только в этом смысле можно говорить о расходовании данного ресурса.

Многолетние наблюдения за работой операторов показывают, что значительная часть совершаемых ими ошибок происходит вследствие физиологической или психологической усталости.

**Постановка задачи.** Целью данной статьи является разработка математической модели, позволяющей оценить влияние отдыха на восстанавливаемость операторов транспортных систем управления.

Ввиду отсутствия статистических данных об указанном влиянии и сложностью их получения на основе реальной деятельности, группа операторов, в которую вошли представители всех возрастных категорий с различным стажем работы, подвергалась интенсивным тренировкам на макетах реальных пультов управления. Тренировки чередовались с отдыхом, причем продолжительность первых и вторых изменялась от минимального до максимально возможного значения.

Полагаем, что промежуток времени отдыха  $\tau$  в условиях  $\mu$  предшествовал периоду работы  $t$ , причем как при работе, так и в процессе отдыха работоспособность может утрачиваться.

Обозначим через  $P(f(t), \beta)$  безусловную вероятность успешной (в смысле безопасной) работы оператора в условиях  $\beta$ . Переменная  $f(t)$  представляет собой время безошибочной работы оператора в условиях  $\beta$ , эквивалентное восстановлению ресурса работоспособности за время  $\tau$  в условиях  $\mu$ . Эквивалентность определяется известной моделью пересчета величины ресурса [3, 4].

Условная вероятность успешной работы оператора за время  $t$  при условии отдыха в течении времени  $\tau$  может быть определена:

$$P(t, \tau) = P(t + f(\tau), \beta) / P(f(\tau), \beta) . \quad (4)$$

При  $t=0$  оператор полностью работоспособен после отдыха, в этом случае кривая интенсивности его опасных ошибок будет сдвинута на оси времени относительно первоначальной кривой вправо на величину  $\tau$  (отдохнувший оператор). Если  $f(\tau)=\tau$ , при  $t=0$  оператор будет работоспособен и интенсивность его опасных ошибок в момент  $t=0$  будет соответствовать интенсивности ошибок в момент  $\tau$  (уставший оператор). В этом случае сдвига кривой интенсивности опасных ошибок вправо на оси времени не происходит. При частичном восстановлении (утрате)

работоспособности кривая интенсивности ошибок сдвигается вправо по оси времени на  $f(t)$ , при этом  $0 < f(t) < \tau$ .

С учетом [1] выражение для интенсивности опасной ошибки оператора запишется в виде:

$$\lambda_0(t, \tau) = \lambda(t + f(\tau), \beta). \quad (5)$$

Сдвиг кривой интенсивности опасных ошибок оператора на величину  $f(\tau)$  отражает процесс утраты и последующего восстановления работоспособности, т.е. отдыха.

Если не учитывать возможные влияния субъективных факторов (психофизическое состояние, наличие опыта, условия работы и т. п.), то приближенно интенсивность опасной ошибки оператора определяется выражением:

$$\Lambda_0(t, \beta) \approx P(\tau, \mu) \lambda(t + f(\tau), \beta). \quad (6)$$

Случайный процесс типа восстановления соответствующей функции (6), можно отнести к классу нестационарных квазипуансоновских индекса  $\tau$  процессов [1]. Ограничимся наиболее простым случаем, когда оператор после отдыха полностью обновлен. Рассмотрим поведение  $N$  однородных в статистическом смысле операторов, работающих в системе с парированием ошибок. Предположим, что за время  $\tau$  были зафиксированы ошибки у  $n(\tau)$  операторов. Вероятность успешного (в смысле безопасного) функционирования оператора:

$$P_\delta(\tau) = 1 - \frac{n(\tau)}{N_0}. \quad (7)$$

Среднестатистическая интенсивность ошибки определяется в виде отношения:

$$\lambda_0^*(t) = \frac{n(t, \Delta t)}{N(t) \Delta t}, \quad (8)$$

где  $n(t, \Delta t)$  - число операторов, допустивших ошибки в интервале времени  $(t, t + \Delta t)$ ;

$N(t)$  – число операторов, функционирующих безопасно в момент времени  $t$ .

С учетом восстановления работоспособности при отдыхе, последнее выражение может быть представлено как

$$\lambda_0^*(t) = \frac{P(\tau, \mu)n(t, \Delta t)}{[N - n(t)P(\tau, \mu)]\Delta t}, \quad (9)$$

где  $n(t)$  – число операторов, допустивших ошибки за время  $t$ , при условии работы без отдыха.

Устремив  $\Delta t \rightarrow 0$ , имеем

$$\lambda_0(t) = \frac{P(\tau, \mu)n'(t)}{N - n(t)P(\tau, \mu)}. \quad (10)$$

Решив дифференциальное уравнение (10) для условия  $n(0)=0$ , получим:

$$n(t) = \frac{N[1 - e^{-\int_0^t \lambda(z) dz}]}{P(\tau, \mu)}. \quad (11)$$

Подобным образом найдем  $n(t)$  для ситуации работы без отдыха:

$$n(t) = N(1 - e^{-\int_0^t \lambda(z) dz}). \quad (12)$$

Найдем  $\lambda_0(t)$ , приравнявая (11) и (12):

$$\lambda_0(t) = \frac{P(\tau, \mu)\lambda(t)}{1 - P(\tau, \mu)(1 - e^{-\int_0^t \lambda(z) dz})}. \quad (13)$$

Принимая во внимание, что на практике опасные ошибки – очень редкое явление, упростим полученное значение для  $\lambda_0(t)$ , преобразовав его к виду:

$$\lambda_0(t) \approx P(\tau, \mu)\lambda(t), \quad (14)$$

что подтверждает значение (6) для  $\lambda_0(t)$ .

Интенсивность наступления ошибки оператора в процессе испытаний:

$$v(\tau) = -\frac{P'\delta(\tau)}{P\delta(\tau)}. \quad (15)$$

Решив дифференциальное уравнение для начальных условий  $P(0)=1$ :

$$P\delta(\tau, \mu) = e^{-\int_0^{\tau} v(z, \mu) dz}, \quad (16)$$

Здесь интенсивность ошибки определяется как отношение числа выявленных за время испытаний ошибившихся операторов к числу участников испытаний не допустивших ошибки.

Если требуется обеспечить безопасное функционирование операторов в интервале времени  $0, t+\tau$  не ниже установленного значения  $P_d$ :

$$P\delta(t) \geq P_d. \quad (17)$$

Раскрывая (17) относительно переменной  $\tau$ , имеем оценку длительности отдыха:

$$\tau \geq -\frac{1}{v} \ln \frac{\lambda}{-\ln P_d}. \quad (18)$$

Для проверки полученной зависимости была выбрана группа однородных в статистическом смысле операторов, численностью 25 человек. Длительность работы чередовалась с отдыхом разной протяженности, при этом в процессе испытаний фиксировались допускаемые ошибки. Результаты опыта представлены в виде таблицы 1 и графика на рисунке 1, отражающих зависимость продолжительности отдыха и интенсивность допускаемых ошибок.

В качестве нормативного значения  $P_d$  использовалась величина  $110^{-6}$ , отражающая среднестатистический уровень вероятности опасных ошибок человека-оператора [3]. Анализ полученных результатов показал, что игнорирование психофизиологических свойств человека хотя и позволяет синтезировать достаточно простые расчетные выражения, однако они

работают в узком интервале исходных параметров и требуют предварительного эвристического анализа.

Таблица 1 - Численные значения интенсивности ошибок и продолжительности отдыха операторов

Значение $\nu$	Величина $\tau$ , как функция $\lambda$					
	$\Lambda = 0,1$	$\lambda = 0,01$	$\lambda = 0,001$	$\lambda = 0,0001$	$\lambda = 0,00001$	$\lambda = 0,000001$
0,31	15,9	23,3	30,7	38,2	45,6	53
0,42	11,7	17,2	22,7	28,2	33,7	39,2
0,88	5,6	8,2	10,8	13,5	16,1	18,7

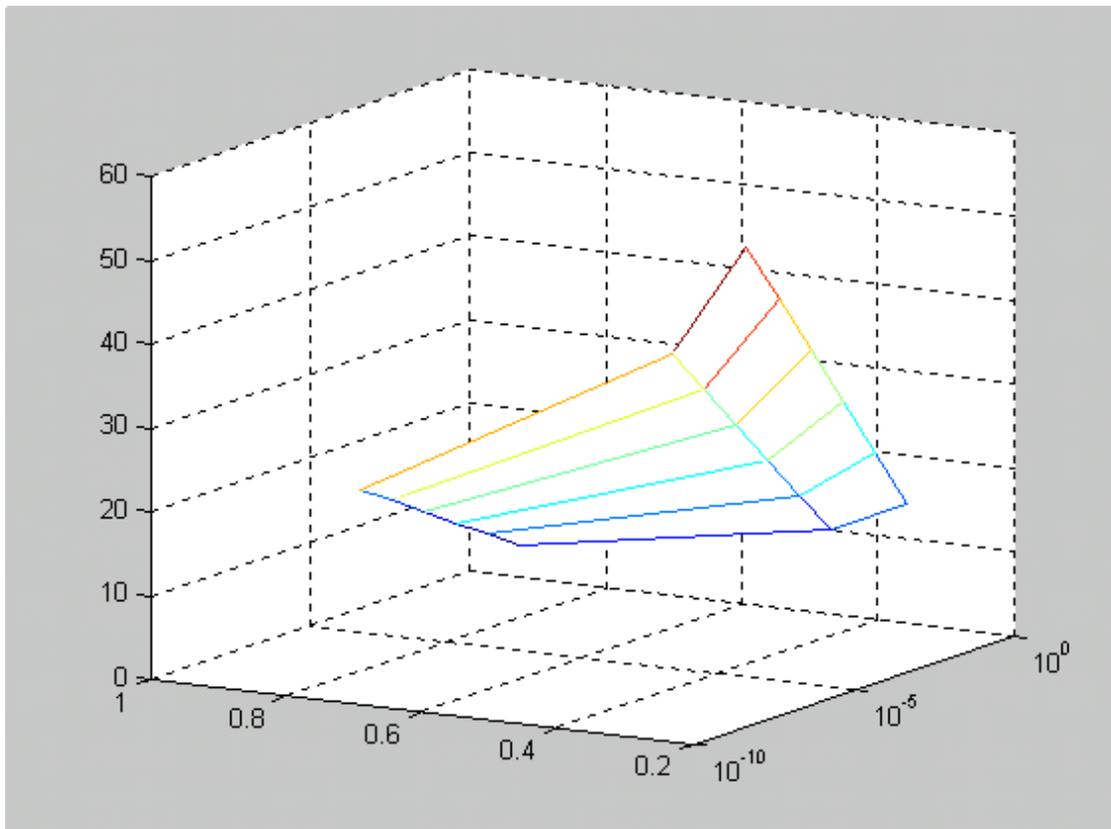


Рисунок 1 - Зависимость продолжительности отдыха операторов и интенсивности допускаемых ошибок

**Выводы и перспективы дальнейшей работы.** Автором впервые использовано понятие ресурса работоспособности применительно режиму работы персонала систем управления движением поездов на железнодорожном транспорте.

Предложена простая модель количественной оценки работоспособности человека-оператора учитывающая соотношение времени работы (расходование ресурса) и отдыха (восполнение ресурса).

На основе данного подхода возможно оптимизировать нагрузки оператора путем перераспределения величин чередующихся моментов напряжения и расслаблению.

Установлены ограничения, накладываемые полученным математическим аппаратом на получаемые результаты при формировании рекомендации по режиму работы операторов.

### ***Список литературы***

1. Судаков К. В. Основы физиологии функциональных систем. – М.: Медицина, 1984. –224с.
2. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных систем. Изд. 3-е, перераб. и доп. И.: Энергия. 1977.- 536 с.
3. Самсонкин В. Н. Прогнозирование работоспособности человека-оператора в автоматизированных системах // Информация и новые технологии.- 1997.-№1.-с.17-19.
4. Информационно-управляющие человеко-машино системы: исследование, проектирование, испытание./А. Н. Адаменко, А. Т. Амеров, И. Л. Бердников и др./ Под общ. Ред. А. И. Губинского и В. Г. Еврафова.- М.: Машиностроение, 1993,-328 с.
5. Келесни Дж., Томсон Дж..Введение в конечную математику. Пер. с англ. /Под ред. И.М. Яглома.-М. : Мир, 1965.-486с. /