

УДК 17.519:62.50:681.306

М. В. Сержантова, канд. техн. наук, доц., 12noch@mail.ru,
А. В. Ушаков, д-р техн. наук, проф., Ushakov_AVG@yandex.ru,
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики

Рекреативный интервал в проблеме управления производительностью деятельности антропокомпонента-оператора в квазистатической функциональной среде

Рассматривается проблема моделирования функциональной деятельности антропокомпонента-оператора (АКО) в классе аддитивных системных представлений, основными показателями которой являются производительность деятельности АКО за время рабочей смены и выработка готовой продукции к ее концу. При моделировании выделяются ключевые моменты деятельности АКО, определяющие его реальную производительность с учетом процессов вработывания, уставания, восстановления его функциональных возможностей в рекреативный интервал. Полученная модель позволяет установить аналитические связи производительности АКО с продолжительностью рекреативного интервала как системного гаранта компенсации усталости. Это позволяет управлять ходом и результатами функциональной деятельности АКО путем использования дополнительного ресурса потенциала форсирования функциональной деятельности АКО.

Ключевые слова: рекреативный интервал, производительность деятельности, антропокомпонент-оператор, квазистатическая функциональная среда, экспоненциальная аппроксимация

Введение

Рассматриваются проблемы модельного представления деятельности антропокомпонента-оператора (АКО) в функциональной квазистатической среде при обслуживании зафиксированных в пространстве производственных мощностей. При решении поставленной задачи учитывался накопленный опыт [1–8] специалистов по управлению системами с АКО в их составе. Отметим, что при любой степени строгости подбора АКО их индивидуальные свойства всегда характеризуются заметным разбросом, к тому же свойства конкретного АКО в зависимости от его текущего состояния также будут различаться. В связи с этим представление функциональной деятельности АКО должно строиться с использованием математических моделей с интервальными параметрами функциональной деятельности в течение рабочей смены, с учетом влияния таких системных факторов, как организация рабочих мест, мотивация к достижению максимальной производительности, процесс уставания, рекреативные мероприятия и т. д. Фактический статистический материал, основанный на хронометраже деятельности и эргономических исследованиях АКО этого типа, достаточно обширный. Однако формализация деятельности АКО на уровне ее описания с помощью передаточных функций, моделей аппарата пространства состояния [9, 10] и временных представлений находится на довольно низком уровне развития.

Мотивационным началом для написания статьи послужило для авторов желание заполнить обнаруженный системный пробел, так как, по их мнению,

наличие математических моделей с интервальными параметрами представления функциональной деятельности АКО в функциональной квазистатической среде даст специалистам по научной организации труда, планированию производства и эргономике мобильный инструмент для решения большого круга практических задач при формировании трудовых коллективов и организации их деятельности с априори заданным разбросом индивидуальных свойств АКО.

Поставленная задача решается в два этапа: на первом этапе строится медианная модель деятельности АКО с использованием экспоненциальной аппроксимации кривой реального изменения производительности этой деятельности, на втором этапе параметры уже аппроксимированной модели интервалируются в соответствии с правилами интервальной математики.

Особое внимание авторы сосредоточили на изучении рекреативного интервала как системного фактора управления производительностью деятельности АКО, неправильная организация которого, возможно, потребует использования дополнительных ресурсов в виде потенциала форсирования деятельности АКО.

Известно, что рекреативный интервал вводится для снятия усталости, возникающей в первой половине рабочей смены. Процесс снятия усталости является динамическим в пределах рекреативного интервала, причем в общем случае полное снятие усталости не достигается. Очевидно, включение модели динамики процесса снятия усталости в общую модель деятельности АКО заметно увеличивает ее размерность, снижая тем самым ее пользовательскую эффективность. В связи с этим предлагается

оценивать влияние на работу во второй полусмене рабочего дня АКО фактора неполного снятия усталости параметрическим способом на основе кривой, связывающей степень снятия усталости и восстановления производительности деятельности АКО с длительностью рекреативного интервала.

Аналитическое решение поставленной задачи ищется в классе временных модельных представлений.

Аддитивная медианная модель деятельности АКО в квазистатической функциональной среде: экспоненциальная аппроксимация

Для построения аддитивной медианной модели деятельности АКО в квазистатической функциональной среде обратимся к экспериментальной кривой $h_{РПА}(t)$ реальной производительности АКО (РПА) за полусмену, типовой вид [4] которой приведен на рис. 1.

На кривой (рис. 1) можно выделить следующие характерные точки и интервалы изменения производительности деятельности АКО: "0" — старт рабочей смены, "РНТД1" — точка реального начала функциональной деятельности, характеризующаяся переводом в рабочее состояние производственных мощностей квазистатической функциональной среды, "ВР" — точка достижения АКО медианной номинальной производительности его деятельности, "ОЭ" — точка начала процесса уставания, характеризующаяся окончанием интервала деятельности с оптимальной эффективностью (ОЭ), "ТКУ" — точка критической усталости, совпадающая с окончанием первой полусмены и началом рекреативного интервала; "0 — РНТД1" — интервал, занятый подготовительными операциями, "РНТД1 — ВР" — интервал вработывания в медианную номинальную производительность k , "ОЭ — ТКУ" — интервал прогрессирующего уставания, характеризующийся падением производительности деятельности, зафиксированным в точке "ТКУ" на уровне 0,7 (70 %) от его медианного значения. Выделенные интервалы кривой (рис. 1), по данным работы [4], в зависимости от индивидуальных свойств АКО могут быть охарактеризованы следующими медианными оценками их продолжительности: "0 — РНТД1" — 12 мин (0,2 ч); "РНТД1 — ВР" — 21 мин (0,35 ч); "ВР — ОЭ" — 147 мин (2,45 ч). Эти значения в дальнейшем используются как базовые при построении медианного модельного представления деятельности АКО.

Для построения кривой производительности труда, аналогичной приведенной на рис. 1, для второй рабочей полусмены необходимо рассмотреть процесс восстановления работоспособности АКО в рекреативный интервал. Для этого воспользуемся информацией, приведенной в работе [4], в соответствии с которой процесс $h_B(t)$ восстановления работоспособности в медианном представлении может быть охарактеризован экспоненциальной кривой, приведенной на рис. 2.

Кривая (рис. 2) позволяет оценить ситуации, характеризующиеся парой чисел "степень восста-

новления $(1 - \Delta)k$ — длительность рекреативного интервала (Δt_p)" (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что при реальных длительностях рекреативного интервала полного восстановления производительности труда не происходит, таким образом, при формировании кривой производительности для второй полусмены значение медианной номинальной производительности должно составлять величину $(1 - \Delta)$ от медианной производительности k первой полусмены. Таким образом, типовая кривая реальной производительности труда АКО в течение рабочей смены принимает вид, представленный на рис. 3.

На основе данных кривых (рис. 3) можно предложить аналитическое медианное представление производительности труда АКО, основанное на экспоненциальной аппроксимации и концепции аддитивности процессов вработывания и уставания. Тогда для аппроксимированного процесса вработывания

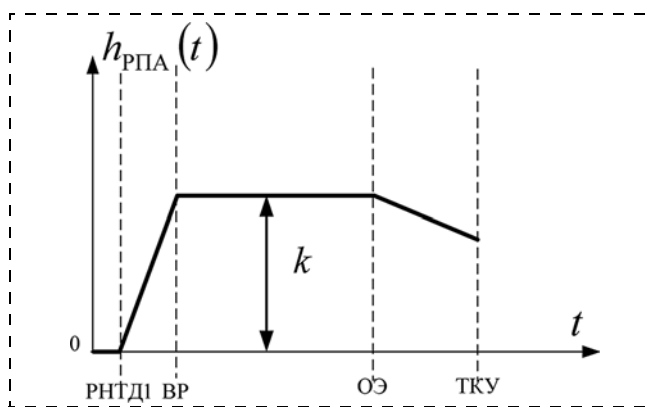


Рис. 1. Типовая кривая производительности деятельности АКО в течение первой рабочей полусмены

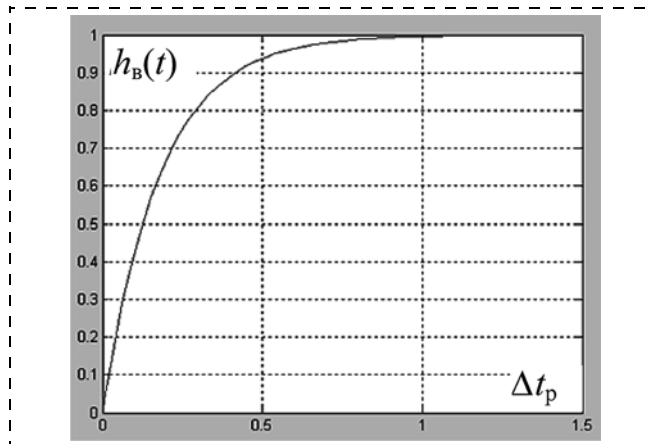


Рис. 2. Кривая восстановления производительности деятельности АКО за рекреативный интервал

Таблица 1

Характеристики	Ситуации				
	0,25	0,5	0,75	1,0	∞
Длительность рекреативного интервала Δt_p , ч	0,75k	0,9355k	0,9844k	0,9961k	1
Степень восстановления $(1 - \Delta)k$					

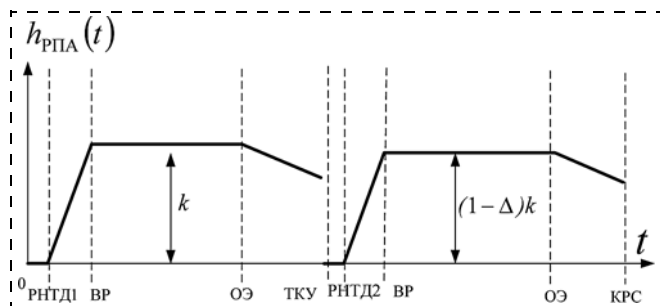


Рис. 3. Типовая кривая изменения производительности деятельности АКО в течение рабочей смены реальным восстановлением ее в рекреативный интервал

тивания $h_{АВР1}(t)$ в первой полусмене в классе временных представлений можно записать:

$$h_{АВР1}(t) = k \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) \right) (1(t) - 1(t-4)). \quad (1)$$

Здесь и далее $1(t - t_c)$ — сдвинутая на t_c единичная функция.

Аналогично для второй полусмены аппроксимированный процесс вработывания $h_{АВР2}(t)$ имеет вид

$$h_{АВР2}(t) = k(1 - \Delta) \left(1 - \exp\left(-\frac{t-4}{T_1}\right) \right) (1(t-4) - 1(t-8)) \quad (2)$$

с медианными значениями параметров

$$k = 0,1673 \text{ ч}^{-1}, T_1 = 0,375 \text{ ч}. \quad (3)$$

Медианные значения (3) параметров моделей (1), (2) определены из условия нулевой интегральной погрешности экспоненциальной аппроксимации кривых (рис. 3) моделями (1) и (2) из условия

$$T_1 = \arg \left\{ \Delta y(t) \Big|_{t=4} = \int_0^4 \{h_{РПА}(t) - h_{АПА}(t)\} dt = 0 \right\},$$

где $h_{РПА}(t)$ — реальная производительность АКО; $h_{АПА}(t)$ — аддитивная производительность АКО.

Модель процесса уставания АКО строится на гипотезе о том, что процесс уставания возникает с момента начала трудовой деятельности и заметно проявляется на третьем часу полусмены (длительность которой $t = 4$ ч) с выраженным эффектом при ее окончании, который в медианном представлении характеризуется снижением производительности труда в среднем на 30 %. Это позволяет процесс уставания $h_y(t)$ описать с использованием медианной экспоненциальной аппроксимации в обеих полусменах $h_{АУ1}(t)$, $h_{АУ2}(t)$ следующим образом:

$$h_{АУ1}(t) = -k \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right) \right) (1(t) - 1(t-4)); \quad (4)$$

$$h_{АУ2}(t) = -k(1 - \Delta) \left(1 - \exp\left(-\frac{t-4}{T_2}\right) \right) (1(t-4) - 1(t-8)) \quad (5)$$

с медианными значениями параметров

$$k = 0,1673 \text{ ч}^{-1}, T_2 = 11,2147 \text{ ч}.$$

С учетом аддитивного характера процессов вработывания $h_{АВР}(t)$ и уставания $h_{АУ}(t)$ на основании представлений (1), (2) и (4) можно предложить экспоненциальную модель, аппроксимирующую полный процесс $h_{РПА}(t)$ изменения реальной производительности труда:

- за первую полусмену в форме

$$h_{АПА1}(t) = h_{АВР1}(t) + h_{АУ1}(t) = \left(k \left(-\exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) + \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right) \right) \right) (1(t) - 1(t-4)), \quad (6)$$

- за вторую полусмену в форме

$$h_{АПА2}(t) = h_{АВР2}(t) + h_{АУ2}(t) = \left(k(1 - \Delta) \left(-\exp\left(-\frac{t-4}{T_1}\right) + \exp\left(-\frac{t-4}{T_2}\right) \right) \right) \times (1(t-4) - 1(t-8)). \quad (7)$$

Тогда полная экспоненциальная модель, аппроксимирующая кривую реальной производительности $h_{РПА}(t)$ труда за восьмичасовую рабочую смену, принимает вид

$$h_{АПА}(t) = h_{АПА1}(t) + h_{АПА2}(t) = \left(k \left(-\exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) + \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right) \right) \right) (1(t) - 1(t-4)) + \left(k(1 - \Delta) \left(-\exp\left(-\frac{t-4}{T_1}\right) + \exp\left(-\frac{t-4}{T_2}\right) \right) \right) \times (1(t-4) - 1(t-8)). \quad (8)$$

Использование форсирующих свойств АКО в контексте изучаемой проблемы влияния длительности Δt_p рекреативного интервала на восстановление производительности деятельности АКО может быть реализовано в двух формах:

- 1) форсирование используется как в первой, так и во второй полусменах рабочего дня;
- 2) форсирование используется только во второй полусмене рабочего дня.

Получение сигнала форсирования осуществляется с помощью дополнительного экспоненциального аддитивного члена, начальное значение которого составляет $\frac{T_3}{T_1}$. Авторы в дальнейших исследованиях

ограничились первой формой использования форсирования как обладающей наибольшей полнотой. Таким образом, модифицированное введение форсирующего члена представление (8) принимает вид

$$h(t)_{АПАФ} = h(t)_{АПАФ1} + h(t)_{АПАФ2} = \left(k \left(-\exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) + \frac{T_3}{T_1} \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) + \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right) \right) \right) (1(t) - 1(t-4)) + \left(k(1 - \Delta) \left(-\exp\left(-\frac{t-4}{T_1}\right) + \frac{T_3}{T_1} \exp\left(-\frac{t-4}{T_1}\right) + \exp\left(-\frac{t-4}{T_2}\right) \right) \right) (1(t-4) - 1(t-8)). \quad (9)$$

Очевидно, в силу квазистатической природы технологического оборудования оно выполняет функцию интегрирующего звена, в результате чего выходная продукция $y(t)$ определится интегралом по времени от производительности деятельности АКО, имеющей аналитическое представление (8) или (9). При этом, если организаторов производства интересует выработка на некоторый момент времени $t = t^*$, то при модельном представлении (8) производительности деятельности получим:

- при $0 < t^* \leq 4$

$$y(t)|_{t=t^*} = \int_0^{t^*} h_{\text{АПА1}}(t) dt = k\{-T_1(1 - \exp(-t^*/T_1)) + T_2(1 - \exp(-t^*/T_2))\}; \quad (10)$$

- при $4 < t^* \leq 8$

$$y(t) = \int_0^4 h_{\text{АПА1}}(t) dt + \int_4^{t^*} h_{\text{АПА2}}(t) dt = k\{-T_1(1 - \exp(-4/T_1)) + T_2(1 - \exp(-4/T_2))\} + k(1 - \Delta)\{-T_1(1 - \exp((4 - t^*)/T_1)) + T_2(1 - \exp((4 - t^*)/T_2))\}. \quad (11)$$

С учетом возможного использования форсирующих свойств АКО его выработка на момент времени $t = t^*$ при модельном представлении (9) производительности его деятельности составит:

- при $0 < t^* \leq 4$

$$y(t)|_{t=t^*} = \int_0^{t^*} h_{\text{АПАФ1}}(t) dt = k\{-T_1(1 - \exp(-t^*/T_1)) + T_3(1 - \exp(-t^*/T_1)) + T_2(1 - \exp(-t^*/T_2))\}; \quad (12)$$

- при $4 < t^* \leq 8$

$$y(t) = \int_0^4 h_{\text{АПАФ1}}(t) dt + \int_4^{t^*} h_{\text{АПАФ2}}(t) dt = k\{-T_1(1 - \exp(-4/T_1)) + T_3(1 - \exp(-4/T_1)) + T_2(1 - \exp(-4/T_2))\} + k(1 - \Delta) \times \{-T_1(1 - \exp((4 - t^*)/T_1)) + T_3(1 - \exp((4 - t^*)/T_1)) + T_2(1 - \exp((4 - t^*)/T_2))\}. \quad (13)$$

При этом медианное значение $k = 0,1673 \text{ ч}^{-1}$ получено из условия

$$k = \arg(y(t, k, T_1, T_2, T_3 = 0, \Delta = 0)|_{t=8} = 1).$$

Интервализация аддитивной медианной модели функциональной деятельности АКО

Прежде чем решать задачу интервализации аддитивной медианной модели функциональной деятельности АКО, построенной в предыдущем разделе, дадим некоторую информацию об интервальных представлениях числовых параметров. В соответствии с нынешними представлениями интервальное число (ИЧ) $[\alpha]$ — это пара чисел $(\underline{\alpha}, \bar{\alpha})$, задающих соответственно его левую и правую граничные (угловые) реализации так, что интервальное число получает представление

$$[\alpha] = [\underline{\alpha}, \bar{\alpha}]. \quad (14)$$

Следует сказать, что интервальное число $[\alpha]$ может быть также записано в виде тройки чисел

$$[\alpha] = \alpha_0 + [\Delta\alpha] = \alpha_0 + [\underline{\Delta\alpha}, \bar{\Delta\alpha}], \quad (15)$$

где α_0 , $[\Delta\alpha]$ — соответственно медианная и интервальная составляющие интервального числа с равными по модулю левой $\underline{\Delta\alpha}$ со знаком "минус" и правой $\bar{\Delta\alpha}$ со знаком "плюс" угловыми реализациями. Представление (15) интервальных чисел позволяет записать систему равенств

$$\alpha_0 = 0,5(\underline{\alpha} + \bar{\alpha}); \quad \underline{\Delta\alpha} = \underline{\alpha} - \alpha_0; \quad \bar{\Delta\alpha} = \bar{\alpha} - \alpha_0. \quad (16)$$

Соотношения (15) и (16) позволяют ввести такую характеристику интервального числа, как оценка $\delta_I(\alpha)$ относительной интервальности интервального числа $[\alpha]$, которая задается соотношением

$$\delta_I(\alpha) = \bar{\Delta\alpha} / \alpha_0 = -\underline{\Delta\alpha} / \alpha_0. \quad (17)$$

Соотношение (17) позволяет записать интервальное число $[\alpha]$ в формах

$$[\alpha] = \alpha_0 + [-\alpha_0\delta_I(\alpha), \alpha_0\delta_I(\alpha)] = \alpha_0\{1 + (\mp\delta_I(\alpha))\}. \quad (18)$$

Обратимся к проблеме формирования интервальных представлений описания функциональной деятельности АКО в условиях двух полусмен, разделенных рекреативным интервалом, в виде соотношений (8)–(13) с использованием записи интервального числа в форме (18). В результате получим интервальные представления:

- для соотношения (8):

$$[h_{\text{АПА}}(t)] = \left(k(1 \mp (\delta_I(k))) \left(-\exp\left(-\frac{t}{T_1(1 \mp (\delta_I(k)))} \right) \right) + \left(\exp\left(-\frac{t}{T_2(1 \mp (\delta_I(k)))} \right) \right) (1(t) - 1(t-4)) + \left(k(1 \mp (\delta_I(k)))(1 - \Delta(1 \mp (\delta_I(k)))) \times \left(-\exp\left(-\frac{t-4}{T_1(1 \mp (\delta_I(k)))} \right) \right) + \left(\exp\left(-\frac{t-4}{T_2(1 \mp (\delta_I(k)))} \right) \right) (1(t-4) - 1(t-8)) \right); \quad (19)$$

- для соотношения (9):

$$[h_{\text{АПАФ}}(t)] = \left(k(1 \mp (\delta_I(k))) \left(-\exp\left(\frac{t}{T_1(1 \mp (\delta_I(k)))} \right) \right) + \frac{T_3(1 \mp (\delta_I(k)))}{T_1(1 \mp (\delta_I(k)))} \exp\left(-\frac{t}{T_1(1 \mp (\delta_I(k)))} \right) + \left(\exp\left(-\frac{t}{T_2(1 \mp (\delta_I(k)))} \right) \right) (1(t) - 1(t-4)) + \left(k(1 \mp (\delta_I(k)))(1 - \Delta(1 \mp (\delta_I(k)))) \times \left(-\exp\left(-\frac{(t-4)}{T_1(1 \mp (\delta_I(k)))} \right) \right) + \frac{T_3(1 \mp (\delta_I(k)))}{T_1(1 \mp (\delta_I(k)))} \times \exp\left(-\frac{(t-4)}{T_1(1 \mp (\delta_I(k)))} \right) + \left(\exp\left(-\frac{(t-4)}{T_1(1 \mp (\delta_I(k)))} \right) \right) \times (1(t-4) - 1(t-8)); \right); \quad (20)$$

№	$\Delta t_p, \text{ч}$	Δ	$T_1, \text{ч}$	$T_2, \text{ч}$	$T_3, \text{ч}$	$k(1 - \Delta)$	$y(t = 8)$
1	∞	0	0,375	11,2147	0	0,1673	1,0
2	1,0	0,0039	0,375	11,2147	0	0,1666	0,9960
3	0,75	0,0156	0,375	11,2147	0	0,1646	0,9841
4	0,5	0,0645	0,375	11,2147	0	0,1565	0,9357
5	0,25	0,25	0,375	11,2147	0	0,1254	0,7497

Таблица 3

№	$\Delta t_p, \text{ч}$	Δ	$T_1, \text{ч}$	$T_2, \text{ч}$	$T_3, \text{ч}$	$k(1 - \Delta)$	$y(t = 8)$
1	∞	0	0,4125	10,0912	0	0,1506	0,8704
2	1,0	0,0039	0,4125	10,0912	0	0,1500	0,8669
3	0,75	0,0156	0,4125	10,0912	0	0,1483	0,8570
4	0,5	0,0645	0,4125	10,0912	0	0,1409	0,8143
5	0,25	0,25	0,4125	10,0912	0	0,1130	0,6534

Таблица 4

№	$\Delta t_p, \text{ч}$	Δ	$T_1, \text{ч}$	$T_2, \text{ч}$	$T_3, \text{ч}$	$k(1 - \Delta)$	$y(t = 8)$
1	∞	0	0,4125	10,0912	0,4300	0,1506	1,0
2	1,0	0,0039	0,4125	10,0912	0,4435	0,1500	1,0
3	0,75	0,0156	0,4125	10,0912	0,4820	0,1483	1,0
4	0,5	0,0645	0,4125	10,0912	0,6500	0,1409	1,0
5	0,25	0,25	0,4125	10,0912	1,5300	0,1130	1,0

• для соотношения (10):
при $0 < t^* \leq 4$
$$[y(t)]_{t=t^*} = k(1 \mp (\delta_I(k)))\{-T_1(1 \mp (\delta_I(k))) \times (1 - \exp(-t^*/T_1(1 \mp (\delta_I(k)))) + T_2(1 \mp (\delta_I(k))) \times (1 - \exp(-t^*/T_2(1 \mp (\delta_I(k))))\}; \quad (21)$$

• для соотношения (11):
при $4 < t^* \leq 8$
$$[y(t)] = k(1 \mp (\delta_I(k)))\{-T_1(1 \mp (\delta_I(k))) \times (1 - \exp(-4/T_1(1 \mp (\delta_I(k)))) + T_2(1 \mp (\delta_I(k))) \times (1 - \exp(-4/T_2(1 \mp (\delta_I(k))))\} + k(1 \mp (\delta_I(k))) \times (1 - \Delta(1 \mp (\delta_I(k))))\{-T_1(1 \mp (\delta_I(k))) \times (1 - \exp((4 - t^*)/T_1(1 \mp (\delta_I(k)))) + T_2(1 \mp (\delta_I(k)))(1 - \exp((4 - t^*)/T_2(1 \mp (\delta_I(k))))\}; \quad (22)$$

• для соотношения (12):
при $0 < t^* \leq 4$
$$y(t)|_{t=t^*} = k(1 \mp (\delta_I(k)))\{-T_1(1 \mp (\delta_I(k))) \times (1 - \exp(-t^*/T_1(1 \mp (\delta_I(k)))) + T_3(1 \mp (\delta_I(k))) \times (1 - \exp(-t^*/T_1(1 \mp (\delta_I(k)))) + T_2(1 \mp (\delta_I(k))) \times (1 - \exp(-t^*/T_2(1 \mp (\delta_I(k))))\}; \quad (23)$$

• для соотношения (13):
при $4 < t^* \leq 8$
$$y(t) = k(1 \mp (\delta_I(k)))\{-T_1(1 \mp (\delta_I(k))) \times (1 - \exp(-4/T_1(1 \mp (\delta_I(k)))) + T_3(1 \mp (\delta_I(k))) \times (1 - \exp(-4/T_1(1 \mp (\delta_I(k)))) + T_2(1 \mp (\delta_I(k))) \times (1 - \exp(-4/T_2(1 \mp (\delta_I(k))))\} + k(1 \mp (\delta_I(k))) \times (1 - \Delta(1 \mp (\delta_I(k))))\{-T_1(1 \mp (\delta_I(k))) \times (1 - \exp((4 - t^*)/T_1(1 \mp (\delta_I(k)))) + T_3(1 \mp (\delta_I(k)))(1 - \exp((4 - t^*)/T_1(1 \mp (\delta_I(k)))) + T_2(1 \mp (\delta_I(k)))(1 - \exp((4 - t^*)/T_2(1 \mp (\delta_I(k))))\}. \quad (24)$$

Прикладные примеры использования аддитивной интервальной модели деятельности АКО

В этом разделе рассматриваются четыре ситуации, в которых может оказаться АКО при различных сочетаниях интервальных параметров его модельных представлений. Во всех модельных ситуациях, характеризующихся погружением модели АКО в интервальную параметрическую среду, предполагается, что модуль оценки относительной интервальности для всех параметров модели АКО составляет значение $|\delta_I(\alpha)| = 0,1$ (10 %).

Ситуация 1: модель АКО с медианными значениями параметров:

$$k = \arg\{y\{t, k, T_1, T_2, T_3 = 0, \Delta = 0,\}_{t=8} = 1\} = 0,1673 \text{ ч}^{-1}, T_1 = 0,375 \text{ ч}, T_2 = 11,2147 \text{ ч}, T_3 = 0.$$

Пример предложенной ситуации предполагает исследование влияния длительности рекреативного интервала на сменную выработку $y(t = 8)$ при медианных значениях параметров модели АКО и без использования его форсирующих свойств. Результаты исследования данной ситуации приведены в табл. 2.

Ситуация 2: модель АКО с неблагоприятными угловыми значениями параметров, характеризующими уменьшение производительности его деятель-

ности, удлинение времени вработывания и ускорение устаивания:

$$k(1 + (-\delta_I(k) = -0,1)) = 0,1506 \text{ ч}^{-1};$$

$$T_1(1 + (\delta_I(T_1) = -0,1)) = 0,4125 \text{ ч};$$

$$T_2(1 + (-\delta_I(T_2) = -0,1)) = 10,0912 \text{ ч}; T_3 = 0.$$

Ситуация усугубляется влиянием неполного восстановления жизненных сил АКО за рекреативный интервал. *Ситуация 2*, как и выше, характеризуется неиспользованием форсирующих свойств АКО. Результаты исследования данной ситуации приведены в табл. 3.

Ситуация 3: модель АКО с неблагоприятными угловыми значениями параметров, как в предыдущем случае, но в отличие от него ставится задача оценки степени использования форсирующих свойств АКО, обеспечивающих выполнение условия

$$T_3 = \arg\{y(t = 8, k, \Delta, T_1, T_2, T_3) = 1\}.$$

Результаты исследования данной ситуации приведены в табл. 4.

Максимальное значение T_3/T_1 интенсивности реализации форсирующих свойств АКО составляет 3,6. Это значение достигается на грани человеческих возможностей АКО.

Заключение

На основе типовой кривой реальной производительности деятельности АКО в течение рабочей смены с помощью аппарата экспоненциальной аппроксимации, дополненной интервальными параметрическими представлениями, построено аналитическое описание этой кривой, позволяющее оценить влияние организации рекреативного интервала на выпуск готовой продукции за рабочую смену и степень интенсивности использования форсирующих свойств АКО для поддержания стопроцентного выпуска готовой продукции в условиях реальных интервальных колебаний его функциональных возможностей.

Статья поддержана Правительством Российской Федерации (Грант 074-U01), Министерством образования и науки Российской Федерации (Проект 14.Z50.31.0031).

Список литературы

1. Ефремов А. В., Оглоблин А. В., Кошеленко А. В. Закономерности характеристик действий человека-оператора в задачах непрерывного управления // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2006. № 7. С. 2—10.
2. Шеридан Т. Б., Феррел У. Р. Системы человек — машины. М.: Машиностроение, 1980. 399 с.
3. Зайцев В. С. Системный анализ операторской деятельности. М.: Радио и связь, 1990. 119 с.
4. Шпилов А. И., Шпилова О. А. Высокая работоспособность персонала — забота кадровика // Кадры предприятия. 2003. № 3. С. 7—15.
5. Цибулевский И. Е. Человек как звено следящей системы. М.: Наука, 1981.
6. Себряков Г. Г. Характеристики деятельности человека-оператора в динамических системах слежения и наведения летательных аппаратов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2007. № 11. С. 2.

7. Пупков К. А., Устюжанин А. Д. Оптимизация взаимосвязи человека и техники при управлении космическими объектами // Матер. 17-й Санкт-Петербургской междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. 2010. С. 238—240.
8. Себряков Г. Г. Моделирование деятельности человека-оператора в полуавтоматических системах управления динамическими объектами // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 4. С. 17—29.
9. Сержантова М., Ушаков А. Антропокомпоненты в составе сложных динамических систем. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 174 с.
10. Ушаков А., Дударенко Н., Слита О. Современная теория многомерного управления: аппарат пространства состояний. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 418 с.
11. Калмыков С. А., Шокин Ю. И., Юлдашев З. Х. Методы интервального анализа. Новосибирск: Наука, 1986. 222 с.
12. Андреев Ю. Н. Управление конечномерными линейными объектами. М.: Наука, 1976. 424 с.
13. Дударенко Н. А., Сержантова (Полякова) М. В., Ушаков А. В. Представление производственной деятельности антропокомпонента — оператора непрерывной динамической моделью с интервальными параметрами // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 5. С. 36—43.

Interval for Rest in the Problem of Management of Productivity of a Human Operator in a Static Functional Environment

M. V. Serzhantova, 12noch@mail.ru, A. V. Ushakov, Ushakov_AVG@yandex.ru,
St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics,
St. Petersburg, 197101, Russian Federation

Received on September 03, 2014

The article is dedicated to the problem of simulation of the functional activities of a human operator in the class of the additive system of representations, the main indexes of which are operational productivity during a shift and framing of the finished goods to the end. For the simulation the key moments were selected of the activity of a human operator, which determine the real operational productivity taking into account the processes of beginning of operation, getting tired, and restoration of his (her) functional abilities during an interval for rest. The obtained model allows us to establish an analytical relation between the productivity of a human operator and duration of the interval as a system guarantor for compensation for the fatigue. It allows us to control the course and results of the functional activities of a human operator due to the use of an additional potential of the functional activities of a human operator. Representation of the functional activity of a human operator must be considered with the use of the mathematical models with the interval parameters of the functional activity during the work shift, the influence on him (her) of such systemic factors as workplace organization, motivation to achieve the maximum performance, tiring process and recreational activities. The actual statistical data is based on timing of the activities and ergonomic studies.

Keywords: interval for rest, operational productivity, human operator, static functional environment, exponential approximation

Acknowledgements: The work was supported by the Government of the Russian Federation (Grant 074-U01), and by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Project 14.Z50.31.0031).

For citation:

Serzhantova M. V., Ushakov A. V. Interval for Rest in the Problem of Management of Productivity of a Human Operator in a Static Functional Environment, *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*, 2015, vol. 16, no. 4, pp. 262—267.

DOI: 10.17587/mau.16.262-267

References

1. Efremov A. V., Ogloblin A. V., Koshelenko A. V. *Zakonomenosti kharakteristik deistvii cheloveka-operatora v zadachakh nepreryvnogo upravleniya* (The patterns of performance of the actions of the human operator in the task of continuous control management), *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologii*, 2006, no. 7, pp. 2—10. (in Russian).
2. Sheridan T. B., Ferrel U. R. *Sistemy chelovek — mashiny* (System man — machine), Moscow, Mashinostroenie, 1980, 399 p. (in Russian).
3. Zajcev V. S. *Sistemnyi analiz operatorskoi deyatel'nosti* (System analysis of operator activity), Moscow, Radio i svyaz', 1990. 119 p. (in Russian).
4. Shipilov A. I., Shipilova O. A. *Vysokaya rabotosposobnost' personala — zabota kadrovika* (High performance staff care personnel officer), *Kadry predpriyatiya*, 2003, no. 3, pp. 7—15 (in Russian).
5. Cibulevskij I. E. *Chelovek kak zveno sledyashchei sistemy* (Science Man as a link tracking system), Moscow, Nauka, 1981 (in Russian).
6. Sebrjakov G. G. *Kharakteris tiki deyatel'nosti cheloveka-operatora v dinamicheskikh sistemakh slezheniya i navedeniya letatel'nykh apparatov* (Characteristics of activity of the human operator in dynamic systems tracking and homing aircraft), *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologii*, 2007, no. 11, p. 2 (in Russian).

7. Pupkov K. A., Ustyuzhanin A. D. *Optimizatsiya vzaimosvyazi cheloveka i tekhniki pri upravlenii kosmicheskimi ob'ektami* (Optimization of the interaction between man and technology in the management of space objects), *Proc. of the 17th St. Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems*, 2010, pp. 238—240 (in Russian).
8. Sebrjakov G. G. *Modelirovanie deyatel'nosti cheloveka-operatora v poluavtomaticheskikh sistemakh upravleniya dinamicheskimi ob'ektami* (Modeling of the activity of the human operator in a semi-automatic control systems of dynamic objects), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2010, no. 4, pp. 17—29 (in Russian).
9. Serzhantova M., Ushakov A. *Antropokomponenty v sostave slozhnykh dinamicheskikh sistem* (Antropocomponents in complex dynamical systems), *LAP LAMBERT Academic Publishing*. 2012. 174 p. (in Russian).
10. Ushakov A., Dudarenko N., Slita O. *Sovremennaya teoriya mnogomernogo upravleniya: apparat prostranstva sostoyanii* (The modern theory of multivariable control: The unit space condition), Saarbrücken, *LAP LAMBERT Academic Publishing*, 2011, 418 p. (in Russian).
11. Kalmykov S. A., Shokin Y. I., Yuldashev Z. K. *Metody interval'nogo analiza* (Methods of interval analysis), Novosibirsk, Nauka, 1986, 222 p. (in Russian).
12. Andreev Y. N. *Upravlenie konechnomernymi lineinymi ob'ektami* (Managing finite linear objects), Moscow, Nauka, 1976, 42 p. (in Russian).
13. Dudarenko N. A., Serzhantova (Polyakova) M. V., Ushakov A. V. *Predstavlenie proizvodstvennoi deyatel'nosti antropokomponenta — operatora nepreryvnoi dinamicheskoi model'yu s interval'nymi parametrami* (Presentation of production activities human-operator continuous dynamic model with interval parameters), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2012, no. 5, pp. 36—43 (in Russian).

Corresponding author:

Serzhantova Mayya V., PhD, Associate Professor, St. Petersburg National Research University Information Technologies, Mechanics And Optics, 197101, Sankt-Peterburg, Russian Federation, e-mail: 12noch@mail.ru