УДК 681.2.08

Вл. А. Смагин, докт. техн. наук

Международная академия информатизации, Санкт-Петербург

Вл. П. Бубнов, докт. техн. наук

*Кафедра «Информационных и вычислительных систем»,
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I*

НЕСКОЛЬКО ЗАМЕЧАНИЙ О САМОМ ВАЖНОМ ЭЛЕМЕНТЕ МЕТРОЛОГИИ – ЧЕЛОВЕКЕ

В статье рассматривается человек как элемент метрологии. Функциональные обязанности и конкретные действия его не принимаются во внимание. Метролог представляется как двухфазная система, включающая два этапа жизненного цикла, первый цикл которой есть фаза концентрации – работа для получения эффекта, второй цикл – фаза хаоса, заключающаяся в восстановлении потраченных сил с целью продолжения первой фазы. Приводится формальная модель человека-метролога. Определяется оптимальная по коэффициенту готовности продолжительность межповоротного периода и среднее число ремонтов объекта за один год. При помощи реальной модели определяется средний возраст человека-оператора с точки зрения максимального коэффициента готовности, с учетом профилактических периодов и без них. В формальной и реальной моделях человека-оператора распределение времени жизни человека задается экстремальным в статистике законом распределения Вейбулла. С формальной точки зрения среда хаоса характеризуется вероятностной функцией распределения, противоположной функции распределения среды концентрации по П. Леви. Определяется количественная связь между этапами и предлагается формальный путь реализации этой связи. Приведен простейший пример расчета восстановления исходного ресурса фазы концентрации.

Метролог, метрология, двухфазная система, среда концентрации, среда хаоса, средняя частота отказов, функция концентрации, обеспечение концентрации

DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-4-617-630

Введение

Метрология ведет свою историю с античных времен, однако только в XX веке она вошла в число основных фундаментальных наук. Метрология состоит из трех основных разделов. Теоретическая, или фундаментальная, рассматривает общие теоретические проблемы (разработка теории и проблем измерений физических величин, их единиц, методов измерений). Прикладная изучает вопросы практического применения разработок теоретической метрологии. В ее ведении находятся все вопросы метрологического обеспечения. Законодательная устанавливает обязательные технические и юридические требования по применению единиц физической величины, методов и средств измерений.

Уместно поставить вопрос об основном элементе науки метрологии — метрологе. В зарубежной и отечественной литературе много работ посвящено человеку-оператору [1–10]. В основном в них рассматриваются аспекты взаи-

модействия человека и коллектива с аппаратно-программными комплексами. Однако, на наш взгляд, изучая элементы метрологии (такие как эталоны, измерительные средства) и их практическую значимость, мы вправе рассматривать современного метролога с технической точки зрения как метрологический элемент, а в более широком смысле — как живую метрологическую систему. Целью статьи является изучение человека-метролога как метрологического элемента.

1. Формальная модель человека-метролога

Сначала рассмотрим прототип модели — техническую модель — на примере «Средняя частота отказов и коэффициент готовности измерительного устройства с учетом его метрологических поверок» [11]. Для оценки надежности восстанавливаемых объектов применяется показатель надежности — средняя частота отказов [12].

В настоящей статье средняя частота отказов восстанавливаемых объектов рассматривается при условии, что на объектах проводится периодическая профилактика. Предполагается, что при восстановлении и профилактике объект восстанавливается полностью до первоначального состояния.

В статье ставилась задача определения средней частоты отказов объекта, на котором периодически могут проводиться поверки состояния. При них объект мог быть в работоспособном, но требующем обновления состоянии, например путем регулирования его параметров. При обнаружении отказа объект заменялся новым. Было выведено интегральное уравнение для соответствующей средней частоты отказов объекта, исследовались его свойства. Целью статьи являлось установление первой связи показателей надежности аппаратных и программных объектов с метрологическими показателями, составляющими необходимую часть обеспечения качества объектов.

Были приняты следующие обозначения: $\omega(t)$ — средняя частота отказов; $a(t)$ — плотность вероятности времени до отказа; $Q(t)$, $P(t)$ — вероятность отказа и вероятность безотказной работы; $U(t)$ — функция распределения времени начала поверки; $\nu(t)$ — плотность вероятности длительности поверки и регулировки параметров объекта; $g(t)$ — плотность распределения времени восстановления объекта после отказа; τ — момент назначения первой поверки; θ — момент до возникновения первого отказа.

Средняя частота отказов определялась суммой трех составляющих, соответствующих следующим несовместным событиям:

- произошел ровно один отказ объекта за время t при условии, что поверка за это время не была назначена;
- произошло несколько отказов объекта за время t при условии, что первый отказ наступил до момента назначения первой поверки;
- произошло несколько отказов объекта за время t при условии, что первая поверка была назначена до момента возникновения первого отказа.

Тогда выражение для средней частоты отказов принимало вид:

$$\begin{aligned}\omega(t) = & a(t) \cdot [1 - U(t)] + \int_0^t [1 - U(t)] \cdot a(\tau) \cdot \omega(t - \tau) d\tau + \\ & + \int_0^t [1 - Q(\tau)] \cdot \int_0^{t-\tau} v(\theta) \cdot \omega(t - \tau - \theta) d\theta dU(\tau).\end{aligned}\quad (1)$$

Выражение (1) получено при условии, что после отказа и поверки объект заменяется исправным (новым) мгновенно. Контроль за состоянием элементов объекта идеальный. Для (1) определено преобразование Лапласа средней частоты:

$$\omega^*(s) = \frac{a^*(s)}{1 - a^*(s) - b^*(s)v^*(s)}, \quad (2)$$

где

$$a^*(s) = \int_0^\infty a(z)[1 - U(z)]e^{-sz} dz; \quad b^*(s) = \int_0^\infty [1 - Q(z)]e^{-sz} dU(z). \quad (3)$$

Изображение плотности вероятности длительности поверки и регулировки параметров объекта было представлено суммой двух случайных составляющих, поэтому изображение Лапласа равно:

$$v^*(s) = u^*(s) \cdot r^*(s), \quad (4)$$

где $u^*(s)$, $r^*(s)$ — изображения плотностей времени поверки и регулировки.

На практике поверки на объектах проводятся регулярно, поэтому имеет смысл рассматривать в качестве $U(t)$ вырожденное распределение, т. е.

$$U(t) = \begin{cases} 0, & t < T, \\ 1, & t \geq T, \end{cases} \quad (5)$$

где T — период между соседними поверками.

Из выражения (2) с учетом формул (3–5) при условии длительной эксплуатации объекта получено установившееся значение средней частоты отказов:

$$\omega(\infty, T) = \frac{Q(T)}{\int_0^T P(z) dz + t_{ur} P(T)}, \quad (6)$$

где t_{ur} — средняя продолжительность одной поверки с регулировкой параметров.

Рассуждая аналогично, получили $\omega(t)$, $\omega^*(s)$, $\omega(\infty, T)$ для ситуации, когда восстановление объекта производилось не мгновенно, а через случайное время:

$$\begin{aligned} \omega(t) = & a(t)[1 - U(t)] + \int_0^t [1 - U(\tau)] \int_0^{t-\tau} g(\theta) \omega(t - \tau - \theta) d\theta a(\tau) d\tau + \\ & + \int_0^t [1 - Q(\tau)] \int_0^{t-\tau} v(\theta) \omega(t - \tau - \theta) d\theta dU(\tau); \end{aligned} \quad (7)$$

$$\omega^*(s) = \frac{a^*(s)}{1 - a^*(s)g^*(s) - b^*(s)v^*(s)}; \quad \omega(\infty, T) = \frac{Q(T)}{\int_0^T P(z)dz + t_{\text{б}}Q(T) + t_{\text{ур}}P(T)},$$

где $t_{\text{б}}$ — среднее время восстановления объекта.

Из выражений (6) и (7) при условии, что проверки не производятся ($T \rightarrow \infty$), следуют известные частные случаи стационарных значений средней частоты: $\omega(\infty, \infty) = 1 / (T_{\text{ср}})$, $\omega(\infty, \infty) = 1 / (t_{\text{ср}} + t_{\text{б}})$, где $t_{\text{ср}}$ — среднее время безотказной работы объекта.

2. Пример использования $\omega(\infty, T)$

Требуется определить оптимальную по коэффициенту готовности продолжительность межповерочного периода T_0 и среднее число ремонтов n_p объекта за один год, если законом распределения времени работы объекта до отказа является закон Вейбулла со значениями параметров: $\lambda_0 = 1 \cdot 10^{-5} 1/\text{ч}^k$, $k = 2,5$. Среднее время ремонта объекта после отказа $t_{\text{б}} = 10$ ч, а средняя продолжительность проверки и регулировки параметров объекта $t_{\text{ур}} = 2$ ч.

Нетрудно убедиться, что стационарное значение коэффициента готовности объекта равно:

$$K_{\Gamma} = K_{\Gamma}(\infty, T) = \frac{\int_0^T P(z)dz}{\int_0^T P(z)dz + t_{\text{б}}Q(T) + t_{\text{ур}}P(T)}, \quad (8)$$

где $P(t) = e^{-\lambda_0 t^k}$, $Q(t) = 1 - P(t)$.

Величина T_0 , приводящая к максимуму (7), удовлетворяет уравнению:

$$\frac{t_{\text{б}}}{t_{\text{б}} - t_{\text{ур}}} = \lambda(T_0) \int_0^{T_0} P(z)dz + P(T_0), \quad (9)$$

в котором $\lambda(t)$ — интенсивность отказа объекта.

Следует отметить, что выражения (8) и (9) совпадают с выражениями, полученными в работе [13] другим способом.

Результаты расчетов по формулам (7) и (8) приведены на рисунке 1. Максимальная величина $K_r = 0,95$ достигается при $T_0 \approx 50$ ч. Межповерочному периоду $T_0 \approx 50$ ч. соответствует средняя частота отказов $\omega(\infty, T_0) \approx 0,00351/\text{ч}$. Среднее время безотказной работы объекта без проведения проверок $T_{\text{ср}} \approx 89$ ч., а с их проведением $T_{\text{ср}} \approx 285$ ч. Среднее ожидаемое число ремонтов объекта в течение года без проведения проверок $n_p \approx 100$, а с их проведением $n_p \approx 31$. Суммарная наработка объекта в течение года увеличивается в среднем на полмесяца.

Рассмотрим достаточно малую обратную задачу метрологии: как при заданном коэффициенте готовности определить требование к величине средней длительности проверки и регулирования объекта? Для этого из выражения (8) найдем величину $t_{\text{ур}}$. Она будет представлена выражением:

$$t_{\text{ур}} = \frac{\int_0^T P(z) dz}{P(T)} \cdot \frac{1 - K_r}{K_r} - t_B \frac{Q(T)}{P(T)}. \quad (10)$$

Можно также представить решение уравнения (8) относительно $t_{\text{ур}}$ в виде:

$$t_{\text{ур}} = t_B \left(1 - \frac{1}{\lambda(T_0) \int_0^{T_0} P(z) dz + P(T_0)} \right). \quad (11)$$

Графическое представление (10) показано на рисунке 2. Из него следует, что оптимальному решению соответствует координата точки перегиба $t_{\text{ур}}(50) = 2,055$ ч.

Мы рассмотрели пример типичной эксплуатации сложной технической системы. Следует заметить, что этот пример не характерен для человека — измери-

Рис. 1. Зависимости средней частоты отказов ω и коэффициента готовности объекта K_r от длительности периода T между проверками

Рис. 2. Зависимость продолжительности одной поверки с регулировкой параметров от длительности периода T между поверками

тельного устройства. Среднее квадратическое отклонение (СКО) не характерно для жизни человека, находящегося как в обычных, так и в стрессовых ситуациях. Вычисление показывает, что при среднем времени жизни прибора 89 часов, а не лет, СКО составляет 38,028 часов. Замена единицы «час» на единицу «год» поясняет сделанное замечание. Поэтому на основе распределения Вейбулла подберем пример реальный для человека — измерительного прибора.

3. Реальная модель человека-метролога

Итак, распределение времени жизни человека-метролога определим экстремальным в статистике законом распределения Вейбулла $F(x) = e^{-\lambda_0 \cdot x^k}$. Подберем значения следующих параметров: $\lambda_0 = 1 \cdot 10^{-5}$ лет, $k = 2,8$. Тогда средний возраст метролога равен $v_1 = 54,4$ лет, второй начальный момент — $v_2 = 3307,4$ лет, а СКО возраста — $\sigma = 21,0$ лет. Это означает, что период его служебной деятельности находится в пределах от 33,4 до 75,4 лет. Также примем величину средней продолжительности восстановления человека-метролога после болезни $t_b = 3$ мес, а величину средней продолжительности его профилактического обслуживания в период работы $t_n = 1$ мес.

Применив выкладки предшествующего материала статьи, получим следующие графические результаты.

На рисунке 3 приведен график функции готовности, на рисунке 4 — график средней частоты отказов (болезней) человека-метролога. На рисунке 5 — вероятность непрерывной работы метролога в течение его жизни. По осям абсцисс всех графиков указаны годы. На основании графика на рисунке 3 можно утверждать, что максимальный коэффициент готовности $K_r(\infty, 25) = 0,993$ достигается при величине оптимального периодического профилактического обслуживания $T_0 = 25$ лет. При этом средняя частота отказов (болезней) составляет (см. рис. 4) $\omega(\infty, 25) = 3,212 \cdot 10^{-3}$ 1/лет. На рисунке 5 представлен график веро-

Рис. 3. Функция готовности

Рис. 4. Зависимость средней частоты отказов (болезней) метролога от длительности периода T между поверками

Рис. 5. Вероятность непрерывной безотказной работы метролога в зависимости от времени жизни

ятности непрерывной безотказной работы метролога в зависимости от количества лет. Результаты расчетов по формулам (7) и (8) применительно к исходным данным модели человека-оператора, представленные на рисунках 3 и 4, приводят к следующим дополнительным количественным данным: если средний возраст человека-метролога без учета профилактического обслуживания составляет $v_1 = 54,4$ лет, то с учетом профилактического обслуживания он составит $1/\omega(\infty, 25) \text{ лет}^{-1} = 311,333$ лет. Среднее число необходимых восстановлений за один год составит $1/54,777 = 0,018$ раз. С учетом профилактического обслуживания с оптимальной периодичностью $T_0 = 25$ лет в течение одного года оно составит $1/311,333 = 3,212 \cdot 10^{-3}$ раз. Временные затраты за год на лечение в среднем будут равны $0,018 \cdot 0,25 = 4,5 \cdot 10^{-3}$ лет, а с учетом профилактического обслуживания за год они составят $3,212 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{12} = 2,677 \cdot 10^{-4}$ лет. Таким образом, выигрыш времени на восстановление здоровья за год составит в среднем $\frac{4,5 \cdot 10^{-3}}{2,677 \cdot 10^{-4}} = 16,81$ раз благодаря периодическому профилактическому обслу-

живанию человека-метролога. Эти выводы относятся только к тем установочным данным примера, которые были нами приведены.

4. О взаимосвязи функций распределения концентрации и хаоса

В отличие от технических и программных систем и их элементов — измерительных устройств, которые могут функционировать при работе по назначению или восстанавливаться, измерительная система «человек-метролог» может находиться также в двух названных состояниях, но эти парные состояния различны. Если первые системы восстанавливаются в присущей им технической среде, то вторые по их состояниям можно отнести к системам сезонного вида. После выхода их из состояния работы в технической среде они попадают в другую среду, отличающуюся от первой. Если системы первого вида связаны явлением концентрации производимого продукта с получением значимого эффекта, то системы второго вида связаны с освобождением от процесса концентрации продукта, отстраняются от этой потребности производства, переходят в состояние отдыха, расслабленности, организованного безразличия, можно сказать, управляемого хаоса.

Здесь под хаосом понимается приобретение таких свойств, без которых невозможно вернуться к системам, обладающим свойствами первых систем. Именно, если системы периодически меняют указанные свойства названных двух систем, но в целом переходят из одного вида в другой вид и обратно, то такие системы мы называем сезонными. Сезонность систем — основа жизненного цикла, их диалектическое единство. Благодаря ей возможны экономический рост государства, прогресс в науке, благосостоянии нации, ее обороноспособности.

5. Абстрактный пример

Субъект, функционируя в режиме концентрации с параметром t_k и продолжительностью x_k , выработал ресурс Н. М. Седякина r_k [14]. После этого субъект перешел в режим хаоса с параметром t_x для восстановления израсходованного ресурса. Какую величину продолжительности x_x он должен находиться в режиме хаоса, чтобы восстановить потраченный ресурс в режиме концентрации?

Формально режимы представляются, как следует из изложенного материала [15–16]:

$$Q_F(x_k) = \max_{t_k} (F(t_k) - F(t_k + x_k + 0)), \quad (12)$$

$$W_F(x_x) = \max_{t_x} (F(t_x) - F(t_x + x_x + 0)). \quad (13)$$

где Q_F — функция распределения концентрации, W_F — функция распределения хаоса, F — функция ресурса концентрации.

Напомним, что ресурсы определяются как

$$\begin{cases} rQ_F(x_k) = -\ln(1 - Q_F(x_k)) \\ rW_F(x_x) = -\ln(1 - W_F(x_x)). \end{cases} \quad (14)$$

Множества $[t_k]$, $[t_x]$ формируются отдельно для решения задачи субъекта. На этих множествах могут быть реализованы различные варианты восстановления величины утраченного ресурса работоспособности метролога.

С учетом экономических затрат возможно рассмотрение оптимальных стратегий сезонного вида. Попробуйте решить подобную задачу. Вопрос не только в том, как определить величину восстановленного ресурса, а каким образом восполнить утрату части ресурса концентрации. Или она возобновит себя сама после отдыха метролога на профилактике? Но даже в этом случае представляет интерес, как изменится функция концентрации. В самом простом случае, пользуясь формулами (14), можно решить следующую задачу. Зная величину потраченного ресурса в режиме концентрации $rQ_F(x_k)$, следует подставить ее вместо $rW_F(x_x)$ в формулу хаоса и решить полученное уравнение относительно определения времени x_x в режиме хаоса. А затем выполнить обратный пересчет этого времени, пользуясь равенствами величин ресурсов в этих двух режимах и найти новое значение времени x_k и соответствующую ему величину ресурса в режиме концентрации. Эту величину ресурса сложить с величиной ранее остаточного ресурса в режиме концентрации. Сделать выводы о дальнейшем изменении режима.

Пример. Используем третий подраздел статьи. Все числовые данные выразим в часах, перейдя от измерения в годах к часам ($1 \text{ год} = 8,76 \cdot 10^3 \text{ часов}$).

Предположим, что метролог выполнил работу в среде концентрации, описываемую функцией концентрации П. Леви $Q_F(x_k) = \max_h (F(h + x_k + 0) - F(h))$, в течение времени $x_k = 60$ ч. при установленном параметре $h = 30$ ч. и перешел в среду хаоса, описываемую функцией хаоса $W_F(x_k) = \max_{h_1} (F(h_1) - F(h_1 + x_k + 0))$, для восстановления своей утраченной работоспособности. Вопрос: за какое время он восстановит утраченный ресурс работоспособности и вернется для продолжения работы в режиме концентрации? (При этом величину восстановленной работоспособности он добавит к величине остаточной, сохраненной работоспособности в режиме концентрации.) Ресурс работоспособности будем представлять в качестве ресурса Н. М. Седякина. Ресурс работоспособности в режиме концентрации обозначим как $rq(x) = -\ln(1 - Q(x))$. Полный потенциальный ресурс будет равен $rq(\infty) = 2,053$. Выработанный ресурс равен $rq(60) = 1,719$. Остаточный ресурс в режиме концентрации $rqo = rq(\infty) - rq(60) = 0,334$. Время восстановления ресурса в режиме хаоса определим в результате решения

уравнения $rw(x_0) = \ln(1 + W(x_0)) + rq(60) = 0$. Для этого найдем решение оператора:

$$\begin{aligned}x_0 &= 60 \\ \textit{Given} \\ \ln(1 + W(x_0)) + 1,719 &= 0 \\ \textit{Find}(x_0) &= 64,514.\end{aligned}\tag{15}$$

Таким образом, израсходованный ресурс равен: $rw(64,514) = -1,719$.

Изменяя знак полученного числа на противоположный и суммируя его с остаточным ресурсом, получаем $1,719 + 0,334 = 2,053$. Это исходный потенциальный ресурс.

Заключение

В статье предложено рассмотреть человека-метролога в качестве восстанавливаемого элемента метрологической системы. Исследуются два этапа его жизненного цикла как сезонной системы. Первый этап заключается в непосредственном выполнении функций метрологии. Второй этап цикла связан с восстановлением работоспособности метролога, его здоровья, без которого нельзя обеспечить дальнейшую работоспособность метрологической системы и получение целевого эффекта. Если первый этап сопряжен с реализацией функции концентрации в соответствующей среде (назовем ее средой концентрации), то второй — с противостоящей средой (назовем ее средой хаоса), связанной с обеспечением первой среды. Формально среда хаоса характеризуется вероятностной функцией распределения, противоположной функции концентрации П. Леви [15, 16].

Более сложные процессы хаоса в статье не затрагиваются. Устанавливается количественная связь между этапами и предлагается формальный путь реализации этой связи. Приводится простой пример взаимодействия среды концентрации со средой хаоса.

Библиографический список

1. Антоновский А. В. Профессиональное здоровье инженеров-метрологов: Теоретические и прикладные аспекты: Сборник «Здоровье специалиста: проблемы и пути решения. материалы IV заочной международной научно-практической интернет-конференции» / А. В. Антоновский, А. С. Бысюк. — 2013. — С. 12–25.
2. Алексеев Г. А. Подготовка инженеров в области стандартизации / Г. А. Алексеев // Современное образование: содержание, технологии, качество. — 2012. — Т. 1. — С. 87–89.
3. Смагин В. А. Математическая модель надежности функционирования коллектива операторов и сложных программных комплексов / В. А. Смагин // Информация и космос. — 2007. — № 1. — С. 75–80.

4. *Ахмеджанов Ф. М.* Алгоритм оценки надежности человека-оператора на основе модифицированной методики HEART / Ф. М. Ахмеджанов, В. Г. Крымский // *Электротехнические и информационные комплексы и системы.* – 2019. – Т. 15. – № 1. – С. 60–69.
5. *Ivanov O.* Metod for reliability of an external pilot of a remote piloted aerial system / O. Ivanov, V. Ivanov // *Proceedings of National Aviation University.* – 2019. – Т. 4. – № 81. – С. 29–33.
6. *Яковлев А. В.* Обобщенный алгоритм оценки функционального состояния организма человека-оператора: Сборник «Научная сессия ГУАП. Сборник докладов научной сессии, посвященной Всемирному дню авиации и космонавтики». В 3 ч. – 2019. – С. 288–290.
7. *Яковлев А. В.* Анализ применимости существующих методов обработки данных для оценки функционального состояния организма человека-оператора и прогнозирования его работоспособности: Сборник «Научная сессия ГУАП. Сборник докладов научной сессии, посвященной Всемирному дню авиации и космонавтики». В 3 ч. / А. В. Яковлев, В. О. Матыцин. – 2019. – С. 291–294.
8. *Гучук В. В.* Структурно-когнитивная методика оценки работоспособности человека-оператора по информации его пульсограммы: Сборник «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2011)» / В. В. Гучук, А. А. Десова, А. А. Дорофеюк, Ю. А. Дорофеюк // *Международная научно-практическая мультиконференция «Управление большими системами–2011»: Труды IX Международной конференции.* – Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. – 2011. – С. 202–205.
9. *Баранова Т. И.* Новые способы оценки надежности человека-оператора / Т. И. Баранова, Д. Н. Берлов, Ю. А. Чилигина, И. Н. Январева, М. А. Болотова, В. П. Нестеров // *Авиакосмическая и экологическая медицина.* – 2004. – Т. 38. – № 6. – С. 31–36.
10. *Смагин В. А.* Математические модели для расчета количественных характеристик оптимального квантования информации / В. А. Смагин, В. П. Бубнов, Ш. Х. Султонов // *Транспортные системы и технологии.* – 2021. – Т. 7. – № 1. – С. 46–58.
11. *Смагин В. А.* Средняя частота отказов аппаратуры при ненадежных элементах замены / В. А. Смагин // *Изв. АН СССР. Техническая кибернетика.* – 1975. – № 3. – С. 118–120.
12. *Гнеденко Б. В.* О надежности дублированной системы с восстановлением и профилактическим обслуживанием / Б. В. Гнеденко, М. Динич, Ю. Наср // *Изв. АН СССР. Техническая кибернетика.* – 1979. – № 1. – С. 60–71.
13. *Барзилович Е. Ю.* Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем / Е. Ю. Барзилович, В. А. Каштанов. – М.: «Сов. Радио», 1971. – 271 с.
14. *Смагин В. А.* Теоретическое обобщение физического принципа надежности профессора Н. М. Седякина / В. А. Смагин // *Надежность.* – 2005. – № 1 (24). – С. 3–13.
15. *Smagin V. A.* Application of the concentration function in fuzzy sets theory / V. A. Smagin, E. M. Shurygin // *Intellectual Technologies on Transport.* – 2020. – № 1. – С. 16–23.
16. *Смагин В. А.* Функция концентрации П. Леви и ее применение в теории нечетких множеств Л. Заде / В. А. Смагин, А. Н. Новиков, В. В. Хатунцев. – Пенза: Изд-во ПГУ. Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – ISSN: 2227-84-86. – 2020. – № 3(35). – С. 102–117.

VI. A. Smagin

*Honored Worker of Science of Russian Federation,
member of International Informatization Academy Saint Petersburg, Russia*

VI. P. Bubnov

*Department of Information Technology Systems,
Emperor Alexander I Petersburg State Transport University*

**SOME REMARKS ON THE MOST IMPORTANT ELEMENT
OF METROLOGY – THE PERSON**

The article deals with the description of a person as an element of metrology. Its functional responsibilities and specific actions are not taken into account. The metrologist is simply presented as a two-phase system, including two phases of the life cycle, the first cycle of which is a phase of concentration – work for effect, and the second cycle – a phase of chaos, consisting in restoration of spent energy in order to continue the first phase again. A formal model of a human metrologist is given. The optimal duration of inter-verification period and average number of object's repairs for one year are determined. With the help of real model, the average age of human-operator, in terms of maximum availability coefficient, with and without prophylactic periods is determined. In the formal and real models of man-operator the distribution of human life time is determined by the extreme in statistics Weibull distribution law. From the formal point of view "chaos environment" is characterized by a probability distribution function, opposite to the distribution function of "concentration environment" by P. Levy. A quantitative relationship between the stages is defined and a formal way of realizing this relationship is proposed. A simple example of calculation of initial concentration phase resource recovery is given.

Metrologist, metrology, biphasic system, concentration environment, chaos environment, mean failure rate, concentration function, concentration assurance

DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-4-617-630

References

1. *Antonovsky A. V., Bysyuk A. S. (2013) Professional'noye zdorov'ye inzhenerov-metrologov: Teoreticheskiye i prikladnyye aspekty [Professional health of metrology engineers: Theoretical and applied aspects]. V sbornike: Zdorov'ye spetsialista: problemy i puti resheniya. materialy IV zaochnoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii [In the collection: Specialist's health: problems and solutions. materials of IV extramural international scientific-practical inter-conference], pp. 12–25. (In Russian)*
2. *Alekseev G. A. (2012) Podgotovka inzhenerov v oblasti standartizatsii [Engineering training in the field of standardization]. Sovremennoye obrazovaniye: sodержaniye, tekhnologii, kachestvo [Modern Education: content, technology, quality], no. 1, pp. 87–89. (In Russian)*
3. *Smagin V. A. (2007) Matematicheskaya model' nadezhnosti funktsionirovaniya kollektiva operatorov i slozhnykh programmnykh kompleksov [Mathematical model of reliability of collective operative and complex program complexes functioning]. Informatsiya i kosmos [Information and space], no. 1, pp. 75–80. (In Russian)*
4. *Akhmedjanov F. M., Krymsky V. G. (2019) Algoritm otsenki nadezhnosti cheloveka-operatora na osnove modifitsirovannoy metodiki HEART [Algorithm of estimation of reliability of the person-operator based on the modified technique HEART]. Elektrotekhnicheskiye i informat-*

- sionnyye komplekсы i sistemy [Electrotechnical and information complexes and systems], vol. 15, no. 1, pp. 60–69. (In Russian)
5. *Ivanov O., Ivanov V.* (2019) Metod for reliability of an external pilot of a remote piloted aerial system. Proceedings of National Aviation University, vol. 4, no. 81, pp. 29–33.
 6. *Yakovlev A. V.* (2019) Obobshchennyy algoritm otsenki funktsional'nogo sostoyaniya organizma cheloveka – operatora [Generalized algorithm for assessing the functional state of the human body-operator]. V sbornike: NAUCHNAYA SESSIYA GUAP. Sbornik dokladov nauchnoy sessii, posvyashchennoy Vsemirnomu dnyu aviatsii i kosmonavtiki. [In the collection: SCIENCE SESSION of GUAP. Collection of reports of scientific session dedicated to the World Day of Aviation and Cosmonautics. In three parts], pp. 288–290. (In Russian)
 7. *Yakovlev A. V., Matytsin V. O.* (2019) Analiz primenimosti sushchestvuyushchikh metodov obrabotkidannykh dlya otsenki funktsional'nogo sostoyaniya organizma cheloveka-operatora i prognozirovaniya yego rabotosposobnosti [Analysis of applicability of existing methods of data processing to assess the functional state of human operator organism and predicting its performance]. V sbornike: NAUCHNAYA SESSIYA GUAP. Sbornik dokladov nauchnoy sessii, posvyashchennoy Vsemirnomu dnyu aviatsii i kosmonavtiki [In the collection: SCIENCE SESSION of GUAP. Collection of reports of scientific session, dedicated to the World day of aviation and cosmonautics. In three parts], pp. 291–294. (In Russian)
 8. *Guchuk V. V., Desova A. A., Dorofeyuk A. A., Dorofeyuk Y. A.* (2011) Strukturno-kognitivnaya metodika otsenki rabotosposobnosti cheloveka-operatora po informatsii yego pul'sogrammy [Structural and cognitive method of performance assessment of human operator on information of his pulse rate]. V sbornike: Kognitivnyy analiz i upravleniye razvitiyem situatsiy (CASC'2011). Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya Mul'tikonferentsiya "Upravleniye bol'shimi sistemami – 2011": Trudy IX Mezhdunarodnoy konferentsii. Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN [In the collection: Cognitive Analysis and Case Control (CASC'2011). International Scientific and Practical Conference "Large Systems Control" – 2011": Proceedings of the IX International Conference. Trapeznikov Institute of Control Problems. Trapeznikov V.A. RAS, pp. 202–205. (In Russian)
 9. *Baranova T. I., Berlov D. N., Chiligina Y. A., Yanvareva I. N., Bolotova M. A., Nesterov V. P.* (2021) Novyye sposoby otsenki nadezhnosti cheloveka-operatora [New ways of assessment of reliability of human-operator]. Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina [Aerospace and Environmental Medicine], vol. 38, no. 6, pp. 31–36. (In Russian)
 10. *Smagin V. A., Bubnov V. P., Sultonov Sh. Kh.* (2021) Matematicheskiye modeli dlya rascheta kolichestvennykh kharakteristik optimal'nogo kvan-tovaniya informatsii [Mathematical models for calculation of quantitative characteristics of optimum information quantization]. Transportnyye sistemy i tekhnologii [Transport systems and technologies], vol. 7, no. 1, pp. 46–58. (In Russian)
 11. *Smagin V. A.* (1975) Srednyaya chastota otkazov apparatury pri nenadozhnykh elementakh zameny [Average Hardware Failure Rate with Unreliable Replacement Elements]. Izv. AN SSSR. Tekhnicheskaya kibernetika [Izv. of the USSR Academy of Sciences. Technical Cybernetics], no. 3, pp. 118–120. (In Russian)
 12. *Gnedenko B. V., Dinich M., Nasr Y.* (1979) O nadozhnosti dublirovannoy sistemy s vosstanovleniyem i profilakticheskim obsluzhivaniyem [About reliability of duplicated system with restoration and preventive maintenance]. Izv. AN SSSR. Tekhnicheskaya kibernetika [Izv. Technical Cybernetics], no. 1, pp. 60–71. (In Russian)
 13. *Barzilovich E. Y., Kashtanov V. A.* (1971) Nekotoryye matematicheskiye voprosy teorii obsluzhivaniya slozhnykh system [Some mathematical issues of the theory of service of complex systems]. M: Sov. Radio [Moscow: Sov. Radio], p. 271.

14. *Smagin V.A.* (2005) Teoreticheskoye obobshcheniye fizicheskogo printsipa nadezhnosti profesora N.M. Sedyakina [Theoretical generalisation of physical principle of reliability by Professor N.M. Sediakin]. *Nadezhnost* [Reliability], vol. 1, no. 24, pp. 3–13. (In Russian)
15. *Smagin V.A., Shurygin E. M.* (2020) Application of the concentration function in fuzzy sets theory. *Intellectual Technologies on Transport*, no. 1, pp. 16–23.
16. *Smagin V.A., Novikov A. N.* (2020) Funktsiya kontsentratsii P. Levi i yeyo primeneniye v teorii nechotkikh mnozhestv L. Zade [Concentration function of P. Levy and its application in fuzzy sets theory of L. Zadeh]. Penza, izd. PGU Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve [Penza, Penza State University Press Models, Systems and Networks in Economics, Technology, Nature and Society], vol. 3, no. 35, pp. 102–117. (In Russian) ISSN: 2227-84-86.

*Статья представлена к публикации профессором А.Д. Хомоненко
Поступила в редакцию 01.08.2021, принята к публикации 23.08.2021*

СМАГИН Владимир Александрович — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, действительный член Международной академии информатизации (Санкт-Петербург)
va_smagin@mail.ru

БУБНОВ Владимир Петрович — доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные и вычислительные системы» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I
bubnov1950@yandex.ru

© Смагин Вл. А., Бубнов Вл. П., 2021