

УДК: 614.8

DOI: 10.53816/23061456_2022_7–8_3

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБОЧНЫХ ДЕЙСТВИЙ ПЕРСОНАЛА
СТРУКТУРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХ ЯДЕРНО И РАДИАЦИОННО ОПАСНЫЕ ОБЪЕКТЫ**

**METHODOLOGICAL APPROACH FOR ASSESSING THE RISKS
OF ERRONEOUS ACTIONS OF PERSONNEL STRUCTURAL DIVISIONS
OF THE MINISTRY OF DEFENSE OF THE RUSSIAN FEDERATION,
OPERATING NUCLEAR AND RADIATION HAZARDOUS FACILITIES**

*Канд. техн. наук А.Ю. Кондратьев¹, канд. мат. наук О.В. Коваленко²,
А.В. Усов¹, И.В. Ерошкина²*

Ph.D. A.Yu. Kondratyev, Ph.D. O.V. Kovalenko, A.V. Usov, I.V. Eroshkina

¹НИЦ БТС «12 ЦНИИ» МО РФ, ²«РФЯЦ ВНИИЭФ»

В статье изложены методологические принципы формирования и функционирования системы комплексной безопасности структурных подразделений Министерства обороны Российской Федерации, эксплуатирующих ядерно и радиационно опасные объекты. Подробно рассмотрен один из показателей готовности ядерно и радиационно опасных объектов, а именно определение риска ошибочных действий персонала, представляющий собой произведение вероятности ошибочных действий на время восстановления работоспособного состояния ядерно и радиационно опасных объектов. Также приведены методика расчета вероятности совершения ошибочных действий персоналом структурных подразделений Министерства обороны Российской Федерации, эксплуатирующих ядерно и радиационно опасные объекты, и факторы, влияющие на совершение ошибочных действий персоналом. **Ключевые слова:** оператор, человек-оператор, специалист, персонал, структурные подразделения, Министерство обороны Российской Федерации, ядерно и радиационно опасные объекты, надежность специалиста, подготовка персонала, сложные технологические системы, факторы деятельности, система «человек-техника», специфическая напряженность, факторы деятельности, вероятность, ущерб.

The article describes the methodological principles of the formation and functioning of the integrated security system of the structural units of the Ministry of Defense of the Russian Federation, operating nuclear and radiation hazardous facilities. One of the indicators of the readiness of nuclear and radiation hazardous facilities is considered in detail, namely, the determination of the risk of erroneous actions of personnel, which is the product of the probability of erroneous actions by the time of restoration of the operational state of nuclear and radiation hazardous facilities. The methodology for calculating the likelihood of erroneous actions by personnel of structural units of the Ministry of Defense of the Russian Federation operating nuclear and radiation hazardous facilities and factors influencing the commission of erroneous actions by personnel are also presented.

Keywords: operator, human operator, specialist, personnel, structural subdivisions, the Ministry of Defense of the Russian Federation, nuclear and radiation hazardous facilities, specialist reliability, personnel training, complex technological systems, activity factors, the «human-technology» system, specific tension, activity factors, probability, damage.

В настоящее время развитие системы обеспечения национальной безопасности Российской Федерации (далее — СОНБ РФ) в целом и системы безопасности Вооруженных Сил Российской Федерации (далее — ВС РФ), в частности, идет по пути создания системы распределенных ситуационных центров (пунктов управления), позволяющих руководителям всех уровней анализировать потоки информации о состоянии дел в подчиненных подразделениях (структурах), адекватно воспринимать и классифицировать получаемую информацию, оперативно оценивать складывающуюся обстановку и принимать управленческие решения, основанные на всесторонней прогнозной оценке возможных последствий реализации принимаемых решений.

С учетом особого статуса структурных подразделений Министерства обороны Российской Федерации (далее — СП МО РФ), эксплуатирующих ядерно и радиационно опасные объекты (далее — ЯРОО) трансграничного масштаба, высокой степени тяжести и катастрофического характера последствий реализации угроз по отношению к данным объектам, становится очевидным, что создание подобных центров (пунктов) управления в системе эксплуатации ЯРОО является актуальной и первостепенной задачей.

На наш взгляд существует единственно возможный путь по решению указанной задачи, заключающийся в создании системы комплексной безопасности (далее — СКБ) СП МО РФ, эксплуатирующих ЯРОО, обеспечивающей:

- оценку достигнутого, мониторинг текущего и прогнозированию возможного уровня комплексной безопасности на всех уровнях организационно-штатной структуры СП МО РФ, эксплуатирующих ЯРОО;

- оперативное реагирование на все возможные угрозы видам деятельности, объектам, образцам ВВСТ и категориям личного состава СП МО РФ, эксплуатирующих ЯРОО;

- поддержку принятия управленческих решений, направленных на обеспечение комплексной безопасности СП МО РФ, эксплуатирующих ЯРОО.

При этом под комплексной безопасностью СП МО РФ, эксплуатирующих ЯРОО будем понимать состояние всесторонней защищенности данных подразделений от внешних и внутренних угроз, позволяющее им выполнять задачи по

предназначению в любых условиях обстановки. Предполагается, что данное определение эквивалентно определению готовности как свойства объекта, заключающееся в его способности находиться в состоянии, в котором он может выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения. Из этого следует, что уровень комплексной безопасности СП МО РФ, эксплуатирующих ЯРОО, будет определяться в основном готовностью их элементов к выполнению задач по предназначению.

В свою очередь готовность самих ЯРОО будет определяться в том числе безошибочностью действий обслуживающего персонала.

Учитывая вероятностную природу угроз СП МО РФ, эксплуатирующих ЯРОО в качестве основного показателя готовности ЯРОО целесообразно рассматривать риск ошибочных действий персонала, представляющий собой произведение вероятности ошибочных действий на время восстановления работоспособного состояния ЯРОО.

Таким образом, противоречие между необходимостью гарантированного выполнения СП МО РФ, эксплуатирующих ЯРОО задач по предназначению, с одной стороны, и отсутствием знаний о причинах ошибочных действий в организационно-технической системе «ЯРОО – Средства эксплуатации – Обслуживающий персонал», с другой стороны, порождает проблемную ситуацию, на решение которой направлена представленная в данной статье методика (в части касающейся оценки вероятности ошибочных действий персонала СП МО РФ, эксплуатирующих ЯРОО).

Факторами, влияющими на совершение ошибочных действий персоналом, являются: надежность персонала, техническая сложность ЯРОО, индивидуальная безошибочность работы и готовность к работе специалиста, зависящие от его индивидуальных характеристик и факторов деятельности; безошибочность работы группы совместно работающих специалистов, зависящая от организации совместной деятельности и спаянности коллектива.

В используемой для написания статьи литературе приведены термины — оператор, человек-оператор, специалист, означающие согласно [1] следующее: лицо (или лица), которое(ые) занимается(ются) установкой и пуском в эксплуа-

тацию, наладкой, техническим обслуживанием, очисткой, ремонтом или транспортированием оборудования (специальной техники).

Используемые в статье опорные значения и зависимости представлены в литературе, рассматривающей вопросы количественной и качественной оценки надежности человека-оператора, действующего в составе сложных технологических систем [2–7]. Под надежностью человека-оператора понимается свойство работника сохранять во времени требуемые функции деятельности в заданных режимах и условиях.

В статье термины оператор, человек-оператор, специалист будут приведены под одним термином — персонал.

Вероятность совершения ошибочных действий персоналом является обратной величиной вероятности безошибочных действий персонала.

Рассмотрим факторы, влияющие на совершение ошибочного действия персоналом.

Факторы, влияющие на эффективность деятельности персонала можно, разделить на зависящие от персонала (его состояние, индивидуальные особенности, уровень подготовленности и т.д.) и не зависящие от него (факторы рабочей среды, организация деятельности и т.д.). Правильный учет этих факторов позволяет предусмотреть систему мероприятий по оптимизации деятельности персонала. В целом при оценке надежности учитываются:

– долговременная выносливость — сохранение человеком работоспособности на заданном уровне в течение определенного времени; с нарастанием утомления надежность снижается (наблюдается увеличение неточностей, ошибок, снижение внимания);

– устойчивость к воздействию факторов среды (температуры, влажности, давления, шума, ускорения), связанная с состоянием нервной системы персонала;

– работоспособность в экстремальных условиях, то есть способность принимать правильные решения при дефиците времени в аварийных ситуациях;

– помехоустойчивость — работоспособность персонала в условиях шумов, посторонней речи, движения посторонних предметов в поле зрения; помехоустойчивость персонала повышается за счет приобретения опыта, тренировок, улучшения условий труда;

– спонтанная отвлекаемость — отвлечение внимания в результате спонтанных колебаний внимания, в первую очередь при длительном пассивном наблюдении;

– переключаемость — время «вхождения» в новую деятельность (при этом стереотипные решения предшествующих задач могут переноситься на вновь решаемые); определяется индивидуальными особенностями человека.

Согласно литературным данным [2], все факторы деятельности (ФД) делятся на внешние (ситуационные), внутренние (индивидуальные) и факторы стресса.

Деятельность персонала классифицируют в зависимости от основной выполняемой им функции и удельного веса образного, понятийного, сенсомоторного компонентов, включенных в его деятельность:

– персонал-технолог, непосредственно включен в технологический процесс, работает в основном в режиме немедленного обслуживания, совершает преимущественно исполнительные действия, руководствуясь четко регламентирующими действия инструкциями, содержащими, как правило, полный набор ситуаций и решений;

– персонал-манипулятор, в деятельности которого основную роль играют механизмы сенсомоторной регуляции и в меньшей степени — понятийного и образного мышления;

– персонал-наблюдатель, контролер, для деятельности которого характерен большой вес информационных и концептуальных моделей. Он может влиять как в режиме немедленного, так и отсроченного обслуживания;

– персонал-исследователь, использующий аппарат понятийного мышления и опыт, заложенный в образно-концептуальных моделях. Органы управления играют для него меньшую роль, а вес информационных моделей, напротив, существенно увеличивается;

– персонал-руководитель, управляющий не техническими компонентами системы, а другими людьми. Управление может осуществляться как непосредственно, так и опосредовано — через технические средства и каналы связи. Основной режим деятельности руководителя — оперативное мышление.

Этапы деятельности персонала с описанием выполняемых действий и влияющих факторов представлены в таблице.

Этапы деятельности человека-оператора

| Этапы | Содержание этапа | Выполняемые действия | Влияющие факторы |
|---------------------------------|---|---|--|
| Прием информации | Формирование перцептивного (чувственного) образа | Обнаружение, различение, опознание | Сложность сигнала, организация информационного поля, характеристики поступающей информации |
| Оценка и переработка информации | Формирование оперативного образа | Сопоставление заданных и текущих параметров | Способы кодирования, степень сложности информационной модели |
| Принятие решения | Формирование последовательности целесообразных действий для достижения цели на основе преобразования информации | Поиск, выделение, классификация информации. Построение образов, сопоставление с эталонами, коррекция. Принятие программы действий | Тип задачи, сложность проверяемых логических условий, число возможных вариантов решения |
| Реализация принятого решения | Использование «выходных» каналов человека: моторного или речевого | Перекодирование принятого решения в машинный код, поиск органа управления, манипуляция | Число и тип органов управления, их характеристики, компоновка рабочего места, среды |

Далее рассмотрим все функциональные индикаторы, отражающие надежность работы персонала (Q_j):

– безошибочная работа, оцениваемая вероятностью безошибочного выполнения алгоритма деятельности, состоящей из набора последовательных операций, выполняемых друг за другом (с перерывами или без них) в течение рабочего дня (P_j);

– готовность к работе, рассчитываемая как коэффициент готовности персонала к выполнению определенной деятельности (набора операций) в конкретный рабочий день (R_i);

– восстанавливаемость, рассчитываемая как значение коэффициента самоконтроля;

– точность, рассчитываемая как величина возможного отклонения вероятности безошибочной работы (P_j^k — скорректированное значение P_j) при различных условиях деятельности и колебаниях функционального состояния персонала. Количественно этот параметр оценивается погрешностью, которой человек измеряет, оценивает, устанавливает и регулирует данный параметр. Значение погрешности, превысившее допустимые пределы, является ошибкой, которую необходимо учитывать при расчете надежности. Точность персонала зависит от характе-

ристик сигнала, сложности задачи, квалификации, утомляемости и ряда других факторов [8].

Приведенные в литературе [2–7] методы оценки надежности персонала с помощью указанных индикаторов представлены далее.

Для операции n , алгоритм которой известен, вероятность безошибочного выполнения оценивается по следующей формуле:

$$P_n = \prod_{i=1}^r p_i^{k_i} \approx e^{-\sum_{i=1}^r \lambda_i T_i k_i} = e^{-\sum_{i=1}^r (1-p_i) k_i},$$

где k_i — число выполненных действий i -го вида;

r — число различных типов действий ($i = 1, 2, \dots, r$);

λ_i — интенсивность ошибок, допущенных при выполнении действий i -го вида;

T_i — среднее время выполнения действий i -го вида;

p_i — вероятность безошибочного выполнения действий i -го вида.

Предполагая, что значение $1 - P_n$, согласно данным из литературы [5, 6, 9], является средним значением вероятности совершения ошибочного действия персоналом со средним навыком подго-

товки, то для персонала с индивидуальным профессиональным навыком L_j значение итоговой вероятности совершения ошибочного действия h_{jn} изменяется от h_{n0} (при минимально возможном навыке подготовки) до $h_{n\infty}$ (при максимально возможном — предельном навыке подготовки): $h_{jn} = h_{n\infty} + (h_{n0} - h_{n\infty}) \cdot e^{-\alpha_j \tau}$, где $h_{n\infty}$ — вероятность ошибки персонала с предельным значением профессиональной подготовки; h_{n0} — вероятность ошибки персонала с минимальным значением профессиональной подготовки; α_j — индивидуальный коэффициент приобретения навыков безошибочной работы? характеризующий профессиональную подготовку L_j конкретного персонала j ; τ — длительность обучения.

При расчете текущего профессионального навыка L_j учитываются как все виды обучения, которые прошел персонал, так и количество работ, в которых он участвовал. Все виды обучения определяют уровень первоначальной подготовки персонала, а количество работ — приобретение (восстановление) профессионального навыка. Общая формула для определения текущего профессионального навыка L_j предполагает зависимость от скорости приобретения навыков безошибочной работы α , длительности обучения τ и исходного уровня подготовки персонала L_{j0} [11]:

$$L_j = (L_{j0} - L_\infty) \cdot e^{-\alpha_j \tau} + L_\infty, \quad (1)$$

где L_∞ — предельный опыт персонала, $L_\infty = 1$; L_{j0} — исходный уровень подготовки персонала j , зависящий от силы полученного первоначального навыка;

α_j — скорость обучения, зависящая от числа проведенных тренировок и коэффициента скорости обучения [11], примем $\alpha_j = 0,06 \cdot B_j \cdot n$, где B_j — средний балл, полученный по результатам обучения персоналом j в центре подготовки и повышения квалификации; n — количественный показатель тренировок, равный общему количеству работ, проведенных персоналом;

τ — длительность обучения персонала (в днях) ($\tau = 1$ при рассмотрении приобретения навыка в процессе выполнения работ).

Для расчета начального опыта L_{j0} примем значение $Y = 0,3$ — предельным, асимптотическим значением силы первоначального навыка [10]:

$$L_{j0} = Y \cdot (1 - e^{-i_j \cdot m}), \quad (2)$$

где i_j — параметр, характеризующий качество обучения; m — параметр, характеризующий длительность обучения (в днях). Параметром качества обучения является средний балл — B_j , полученный по окончании обучения персоналом j , $i_j = 0,06 \cdot B_j$. Так, например, при полном цикле очного обучения в центре подготовки и повышения квалификации ($m = 15$, $3 \leq i_j \leq 5$) минимальное значение $L_{j0} = 0,2798$, максимальное $L_{j0} = 0,2967$. При прохождении других курсов переподготовки за l дней, в формулу (2) вместо m подставляется значение $m + l$ и т.д.

С другой стороны, согласно приведенным в литературе данным [10, 11], с приобретением профессионального опыта снижается частота ошибок. Будем её характеризовать вероятностью совершения ошибочного действия персоналом. Указанная зависимость аппроксимируется формулой:

$$h_j = (h_0 - h_\infty) \cdot e^{-\alpha_j \tau} + h_\infty = (h_0 - h_\infty) \cdot e^{-0,06 \cdot B_j \cdot n \cdot \tau} + h_\infty, \quad (3)$$

где B_j , n , τ — параметры, используемые в формуле (1); h_j — вероятность совершения ошибочного действия персоналом j , в действии; $h_\infty = 0,5 \cdot \bar{h}$ — ошибка персонала с предельным навыком работы; $h_0 = 3 \cdot \bar{h}$ — ошибка персонала с первоначальным навыком работы [5, 6, 9]. $\tau = 1$, так как процесс приобретения навыка выполнения работы укладывается в один рабочий день.

Выразим $e^{-\alpha_j \tau}$ из формулы (1) и подставим в (3):

$$h_j = (h_0 - h_\infty) \cdot \frac{L_j - L_\infty}{L_{j0} - L_\infty} + h_\infty.$$

Используя среднее значение вероятности совершения ошибочного действия персоналом в действии \bar{h} получим итоговую формулу для расчета h_j :

$$h_j = (3 \cdot \bar{h} - 0,5 \cdot \bar{h}) \cdot \frac{L_j - L_\infty}{L_{j0} - L_\infty} + 0,5 \cdot \bar{h} = (2,5 \cdot \frac{L_j - 1}{L_{j0} - 1} + 0,5) \cdot \bar{h}. \quad (4)$$

Предварительно рассчитав L_j по формуле (1), L_{j0} по формуле (2), приняв $L_\infty = 1$, и, определив значение \bar{h} для конкретного действия [4, 6], получим значение вероятности совершения ошибочного действия персоналом j при его текущей профессиональной подготовке.

Кроме процесса приобретения навыков целесообразно учесть процесс утраты навыков (рис. 1), предполагающий возможность их восстановления. Процесс утраты навыка аппроксимируется выражением, приведенным в [10]:

$$h_j(\Delta t_d) = h_\infty + (h_{j0} - h_\infty) \cdot (1 - e^{-\beta \cdot \Delta t_d}),$$

где β — относительная скорость утраты навыков (коэффициент утраты навыков); Δt_d — время утраты навыка, рассчитанное от конца использования навыка (обучения); h_{j0} — навык, имеющийся у персонала непосредственно после его обучения.

Выразим вероятность совершения ошибочного действия персоналом в процессе утраты навыков с уровня h_j до уровня вероятности ошибки h_k со временем t :

$$h_j(t) = h_j + (h_k - h_j) \cdot (1 - e^{-\beta t}),$$

где β — относительная скорость утраты навыков (коэффициент утраты навыков);

t — время после использования навыка;

h_j — текущее состояние навыка, вычисляемое по формуле (4). Скорость утраты профессионального навыка значительно меньше скорости приобретения навыка $\beta \ll \alpha$ и зависит от количества проведенных ранее тренировок, чем больше тренировок (работ) проведено ранее, тем меньше значение β .

На графике, представленном на рис. 1, показано, что каждая тренировка снижает частоту ошибок до некоторого уровня $h_{k1} \geq h_\infty$, а за время отсутствия тренировки Δt происходит утрата навыка до критического уровня $h_k < h_0$.

Итоговая вероятность безошибочного выполнения персоналом j операции n с учетом его профессиональной подготовки вычисляется по формуле:

$$p_{jn} = 1 - h_{jn}.$$

Коэффициент готовности к работе R_{D_j} зависит от вероятности включения специалиста j для выполнения определенной деятельности (D_j) в рассматриваемую дату. Значение R_{D_j} зависит от количества требований, предъявляемых к персоналу, от стоимости затрат, необходимых для приведения персонала в готовность и вычисляется по формуле:

$$R_{D_j} = \prod_{i=1}^m R_{ji} = \prod_{i=1}^m P_{D_{ji}} \cdot V_{ji}, \quad (5)$$

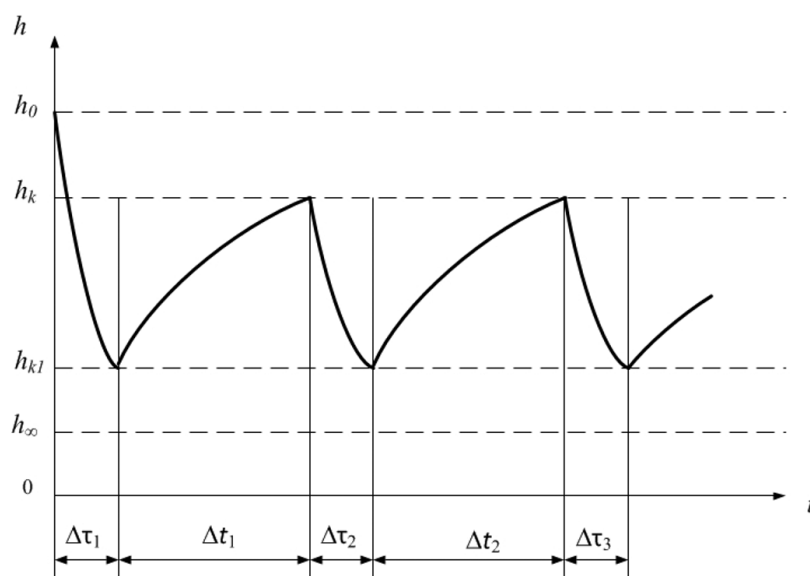


Рис. 1. Графическое изображение процессов приобретения, утраты и восстановления навыков безошибочной работы

где j — количество требований деятельности D_j к персоналу j ;

$P_{D_{ji}}$ — вероятность включения персонала в команду на приведение персонала j в готовность к работе по i -тому требованию к соответствующей дате;

Y_{ji} — логический фактор, характеризующий потенциальную возможность подготовить персонал j к заданному моменту времени по i -му требованию (принимает значение 0 или 1). $P_{D_{ji}}$ имеет обратную зависимость от стоимости затрат: $P_{D_{ji}} = 1 - Z_{ji}$ при этом $Z_{ji} \in [0, 1]$

При соответствии персонала i -му требованию на момент времени (например, присутствует на рабочем месте, имеет соответствующий допуск к выполнению работ, соблюдает интервал отдыха между запланированными работами), стоимость затрат на его подготовку составит $Z_{ji} = 0$, $Y_{ji} = 1 \rightarrow R_{ji} = (1 - 0) \cdot 1 = 1$.

Y_{ji} — логический фактор, по требованию на определенный момент анализируется потенциальная возможность его подготовки по имеющемуся времени от текущей даты до требуемой даты. Дальнейший расчет Z_{ji} не имеет смысла, если значение $Y_{ji} = 0$. Согласно формуле (5) невозможность подготовки хотя бы по одному из требований определяет общую готовность $R_{D_j} = 0$.

$Y_{ji} = 1$, если выполняется условие $\sum_{c=1}^{m-1} period_c^{ji} \geq period_i$, где период приведения в готовность персонала j по i -му требованию, $\sum_{c=1}^{m-1} period_c$ — сумма периодов приведения в готовность персонала по $m-1$ требованиям (исключая i -ые). Далее определяется количество затрат Z_{ji} , необходимое на приведение в готовность персонала по соответствующему требованию и вероятность включения специалиста в команду $P_{D_{ji}} = 1 - Z_{ji}$.

Опустим далее индекс j в рассуждении, понимая, что речь идет о конкретном персонале. В качестве показателя восстанавливаемости используют вероятность исправления персоналом допущенной ошибки:

$$P_{исп} = P_k \cdot P_{обн} \cdot P_{и}, \quad (6)$$

где P_k — вероятность выдачи сигнала схемой контроля; $P_{обн}$ — вероятность обнаружения персоналом сигнала контроля; $P_{и}$ — вероятность исправления ошибочных действий при повторном

выполнении алгоритма. Этот показатель позволяет оценить возможность самоконтроля персоналом своих действий и исправления допущенных им ошибок. Показателем своевременности является выполнение задачи в течение времени $\tau \leq t_n$, где t_n — лимит времени, превышение которого рассматривается как ошибка. Эта вероятность определяется формулой:

$$p_{св} = P\{\tau \leq t_n\} = \int_0^{t_n} f(\tau) d\tau, \quad (7)$$

где $f(\tau)$ — функция распределения времени решения задачи персоналом. По статистическим данным эта вероятность определяется как

$$p_{св} = \frac{N - N_{нс}}{N}, \text{ где } N \text{ и } N_{нс} \text{ — общее и несвоевременно выполненное число задач.}$$

Время t_n может быть как постоянной, так и случайной величиной. В первом случае вероятность $p_{св}$ определяется выражением (7). Во втором случае вычисление $p_{св}$ можно упростить, если τ и t_n подчинены нормальному распределению с параметрами $\bar{\tau}$, σ_τ , \bar{t}_n и σ_t соответственно (рис. 2). Поскольку t_n и τ независимы, то $\Delta t = t_n - \tau$ тоже распределена по нормальному закону со следующими параметрами:

$$\bar{\Delta t} = \bar{t}_n - \bar{\tau}, \quad \sigma_{\Delta} = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_\tau^2};$$

$$p_{св} = P\{\Delta t \geq 0\} = \int_{-\infty}^{\frac{\Delta t}{\sigma_{\Delta}}} e^{-\frac{\lambda^2}{2}} dx = 0,5 + \Phi_0\left(\frac{\Delta t}{\sigma_{\Delta}}\right), \quad (8)$$

где $\Phi_0\left(\frac{\Delta t}{\sigma_{\Delta}}\right)$ — табличное значение функции Лапласа.

Среднее значение времени исправления ошибки:

$$\bar{\tau}_и = \sum_{k=1}^{\infty} \bar{\tau}_k \cdot P_k, \quad (9)$$

где $\bar{\tau}_k$ — среднее значение времени исправления ошибки в k -й попытке; P_k — вероятность исправления ошибки с k -й попытки при условии, что в предыдущих $k-1$ попытках имела место ошибка.

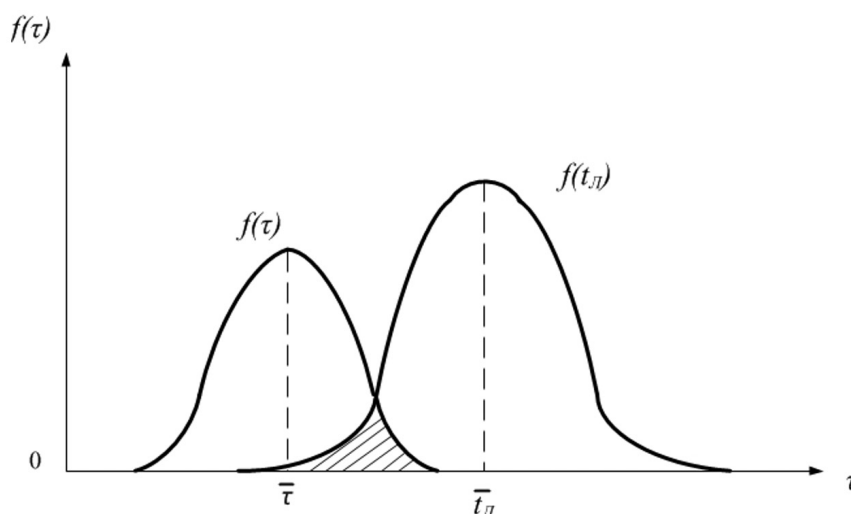


Рис. 2. Законы распределения: $f(\tau)$ — времени решения задачи персоналом, $f(t_{л})$ — лимита времени

Если p_{jn} вероятность исправить ошибку в одной попытке, которая не зависит от числа попыток, то такая вероятность подчинена геометрическому распределению вида: $p_k = p_{jn} \cdot (1 - p_{jn})^k$. Подставив это выражение в (9), получим: $\tau_{и} = \tau_j / p_{jn}$. Среднее время решения задачи с учетом времени исправления ошибки определяется формулой:

$$\bar{\tau}_p = \bar{\tau}_j + \bar{\tau}_{и} = \bar{\tau}_j \cdot \left(1 + \frac{1}{p_{jn}}\right) = \bar{\tau}_j \cdot \frac{p_{jn} + 1}{p_{jn}}, \quad (10)$$

где $\bar{\tau}_j$ — среднее значение времени безошибочного выполнения человеком-оператором заданного алгоритма, $p_{jn} = 1 - h_{jn}$.

В предположении нормального распределения как времени безошибочного выполнения операции n , так и времени исправления ошибки, дисперсия времени решения задачи с учетом времени исправления ошибки:

$$\sigma_p^2 = \sigma_\tau^2 + \sigma_{и}^2 = \sigma_\tau^2 \cdot \left(\frac{p_{jn} + 1}{p_{jn}}\right)^2. \quad (11)$$

Предположительно можем считать, что τ_p подчинено нормальному закону распределения с параметрами, определяемыми выражениями (10), (11). Вероятность своевременного исправ-

ления ошибки $p_{и}(t_{л}) = p\{\tau_p < t_{л}\}$ определяется в зависимости от характера величины $t_{л}$ либо выражением (7), либо выражением (8).

Общая вероятность исправления ошибки согласно (6) может быть выражена формулой:

$$p_{исп} = p_k \cdot p_{обн} \cdot p_{и}(t_{л}).$$

Надежность деятельности персонала не остается величиной постоянной, а меняется с течением времени. Это изменение обусловлено как изменением условий деятельности, так и колебаниями состояния персонала. Поэтому при определении надежности оператора в каждом конкретном случае приходится выбирать те или иные факторы, наиболее характерные для данного вида деятельности.

Вывод

Результаты, полученные при использовании методики, могут быть использованы для определения новых или корректирования существующих требований по допуску персонала к работе на ЯРОО и назначении исполнителей для проведения конкретных работ на ЯРОО.

Корректировка методики осуществляется в установленном порядке (по итогам апробации, при появлении новых технических решений как по устройству, так и порядку эксплуатации ЯРОО).

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 12100-1-2007 Безопасность машин. Основные понятия, общие принципы конструирования. Часть 1. Основные термины, методология. — М.: Стандартинформ. 2008. 32 с.
2. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем: Учебник / Л.Н. Александровская, И.З. Аронов, А.И. Елизаров и др.; Под ред. В.П. Соколова. — М.: Логос, 2001. 232 с.
3. Ахмеджанов Ф.М., Крымский В.Г. Алгоритм оценки надежности человека оператора на основе модифицированной методики HEART // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2019. Том. 15. № 1. С. 60–69.
4. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности в системах человек-техника. — М.: Машиностроение, 1983. 263 с.
5. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа / И.Б. Шубинский. — М.: «Журнал Надежность», 2012. 296 с.
6. Справочник по инженерной психологии / под ред. Б.Ф. Ломова. — М.: Машиностроение, 1982. 368 с.
7. Денисов В.Г., Онищенко В.Ф., Скрипиц А.В. Авиационная инженерная психология. — М. 1983. 232 с.
8. Манзин М.Ю., Масляков В.А., Винник А.И., Смирнов А.М. Надежность оператора и системы «Человек-машина» // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). 2014. № 7-1 (7). С. 97–101.
9. Анализ безопасности установок и технологий: Методическое пособие по проблемам регулирования риска: Том 3 / Под общ. ред. канд. техн. наук С.В. Петрина. — Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2019. 138 с.
10. Воронин В.М. Современная инженерная психология на железнодорожном транспорте: монография. — Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2011. 280 с.
11. Воронин В.М. Психология решения оперативных задач в больших системах. Диагностика функционального состояния и обучение операторов: монография. — Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2016. 249 с.

References

1. GOST R ISO 12100-1-2007 Safety of machinery. Basic concepts, general design principles. Part 1. Basic terms, methodology. — M.: Standartinform. 2008. 32 p.
2. Statistical methods for analyzing the safety of complex technical systems: Textbook / L.N. Alexandrovskaya, I.Z. Aronov, A.I. Elizarov and others; Ed. V.P. Sokolov. — M.: Logos, 2001. 232 p.
3. Akhmedzhanov F.M., Krymskiy V.G. Algorithm for assessing the reliability of a human operator based on a modified methodology HEART // Electrical and data processing facilities and systems. 2019. Vol. 15. № 1. Pp. 60–69.
4. Shibanov G.P. Quantification of activities in human-technology systems. — M.: Mechanical engineering, 1983. 263 p.
5. Functional reliability of information systems. Analysis methods / I.B. Shubinsky. — M.: «Journal of Reliability», 2012, 296 p.
6. Handbook of Engineering Psychology / Ed. B.F. Lomov. — M.: Mashinostroenie, 1982. 368 p.
7. Denisov V.G., Onishchenko V.F., Skripits A.V. Aviation Engineering Psychology. — M. 1983. 232 p.
8. Manzin M.Yu., Maslyakov V.A., Vinnik A.I., Smirnov A.M. Reliability of the operator and the system «Man-machine» // Eurasian Union of Scientists (ESU). 2014. № 7-1 (7). P. 97–101.
9. Safety analysis of installations and technologies: Methodological manual on the problems of risk management: Vol. 3 / Ed. ed. Cand. tech. Sci. S.V. Petrina. — Sarov: FSUE «RFNC-VNIIEF», 2019. 138 p.
10. Voronin V.M. Modern engineering psychology on railway transport: monograph. — Yekaterinburg: Publishing house of USUPS, 2011. 280 p.
11. Voronin V.M. Psychology of solving operational problems in large systems. Diagnostics of the functional state and operator training: monograph. — Yekaterinburg: Publishing house of USUPS, 2016. 249 p.