

# ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ АТОМНОЙ НАУКИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ОТЛАДКА АЛГОРИТМА

*А. Н. Корзнев, Е. В. Степанова*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров

В соответствии с «Основами государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 г. и на дальнейшую перспективу (Пр-539 от 01.03.2012), **обеспечение надежности и безопасности эксплуатации предприятий ЯОК и ЯЭК – приоритетное направление отечественной атомной отрасли [1].** Актуальность такого подхода обусловлена следующими причинами:

– постоянно возрастает количество потенциально аварийно-опасных объектов использования атомной энергии, отработавших свой нормативный срок эксплуатации и подлежащих выводу из эксплуатации (**износ оборудования на объектах Росатома превышает 60%**);

– при нештатных ситуациях и авариях возникают непредусмотренные сценарии развития событий, в которых персонал принимает нерациональные решения, демонстрирует неадекватную реакцию и, как следствие, возникают ошибочные действия;

– вклад человеческого фактора в аварийные ситуации на потенциально опасных объектах существен: авиакатастрофы – 70%, катастрофы на флоте – 50%, аварии на АЭС – 30–80%; по данным отраслевого надзора в ЯОК ГК Росатом вклад человеческого фактора в установленных отклонениях от норм и правил обеспечения ЯРБ составляет ~70% [2].

При этом структура основных причин аварий такова (см. рис. 1 и табл. 1):



Рис. 1. Причины нарушения безопасности технологических процессов на промышленных предприятиях

Таблица 1

Неправильные действия персонала	60–70 %
Технические причины	20–30 %
Неблагоприятное воздействие внешних факторов и другие	до 10 %

В свою очередь, как следует из рис. 1, нарушения безопасности технологических процессов на промышленных предприятиях вызваны в 18 % случаев неисправностью электронного оборудования, в 6 % – неполадками системного, в 12 % – прикладного программного обеспечения, а остальные 64 % – неправильными действиями производственного персонала. **Более половины этих ошибок связаны с недостаточной, некорректной или неадекватной информацией оператора о предпринимаемых действиях [2].**

При этом, такие катастрофы, как взрыв реактора на Чернобыльской АЭС или утечка токсичных газов на заводе в Бхопале (Индия) показали, что с помощью чисто инженерных, технологических или организационных методов решить проблему снижения риска катастроф не удастся.

Таких данных по различным предприятиям можно привести множество. Все они подтверждают вывод о том, что обеспечение надежности и безопасности эксплуатации предприятий ЯОК и ЯЭК – приоритетное направление отечественной атомной отрасли.

Имеющее место на современном этапе расширение сферы применения автоматизированных средств приводит к новым проблемам для предприятий ЯОК, поскольку при этом появляются новые типы отказов и ошибок. Так, компьютеризация приводит к опасным ошибкам, связанным с программным обеспечением, особенно в части незаконного проникновения в управляющие сети и системы поддержки принятия решения (СППР), обеспечивающие технологический

процесс, его безопасность и надежность сохранения ключевой информации. Кроме того, в таких условиях часто непредсказуемым образом меняется весь комплекс отношений между человеком и машиной (или компьютером). **Поэтому необходимо всесторонне изучать роль человеческого фактора в сопряженных с риском технологиях и на потенциально опасных объектах.**

Таким образом, несмотря на создание в последнее десятилетие моделей, описывающих взаимодействие человека-оператора с машиной, проблемы, обусловленные человеческим фактором, еще далеки от решения [3]. Их актуальность привела к возникновению новой отрасли знания – **культуры безопасности (КБ).**

Термин «Культура безопасности» впервые появился в «Итоговом докладе Международной консультативной группы по ядерной безопасности (МКГЯБ) о совещании по рассмотрению причин и последствий аварии в Чернобыле», опубликованном МАГАТЭ в качестве Серии изданий по безопасности, № 75-INSAG-1, в 1986 году, и далее был раскрыт в «Основных принципах безопасности атомных электростанций», Серия изданий по безопасности, № 75-INSAG-3, выпущенных в 1988 году.

Позднее, в 1991 году, в докладе МКГЯБ № 75-INSAG-4 (раздел «Ощутимые свидетельства») была впервые сформулирована концепция культуры безопасности применительно к организациям и отдельным лицам, занятым деятельностью в области ядерной энергетики [4].

**Культура безопасности** – это такой набор характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц, который устанавливает, что проблемам безопасности, как обладающим высшим приоритетом, уделяется внимание, определяемое их значимостью [4]. **Иными словами, КБ – это такая культура организации (ОК), при которой становится возможным безопасное функционирование этой организации.**

Культура безопасности – квалификационная и психологическая подготовленность всех лиц, при которой обеспечение безопасности является приоритетной целью и внутренней потребностью, приводящей к самосознанию ответственности и самоконтролю при выполнении всех работ, влияющих на безопасность (доклад МКГЯБ № 75-INSAG-4).

КБ сама по себе является подмножеством культуры всей организации в целом, т.е. организационной культуры (Публикация № 11 «Развитие культуры безопасности в ядерной деятельности», 1998) [5].

Эта установка подтверждена позднее, в 2004 г., в «**Принципах высокой культуры ядерной безопасности**» института «Institute of Nuclear Power Operations» (INPO):

Общие для трех наиболее серьезных инцидентов – на АЭС «Three Mile Island» в 1979, в Чернобыле в 1986, и на АЭС «Davis-Besse» в 2002 – ошибочные решения и действия вытекали из ключевых понятий и ценностей этих организаций, из недостатков их организационной культуры.

Ключевым элементом КБ является психология безопасности. Совместными усилиями руководства и персонала такая психология должна приобрести характер «всепронизывающей» и должна присутствовать «у всех участвующих в работе на всех этапах» (INSAG-3) [6].

**Таким образом, КБ введена МАГАТЭ как психолого-социологическое понятие,** отражающее готовность персонала всех уровней сознательно выполнять требования безопасности, и как частный случай организационной культуры (ОК) на предприятии [7], в соответствии с публикацией № 11 МАГАТЭ 1998 г.

Разработанный нами программный продукт реализует концепцию интегрального показателя безопасности (ИПБ), выдвинутую специалистами Академии РВСН им. Петра Великого совместно с ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики имени Н.Л. Духова» (ВНИИА). Согласно этой концепции, **показатель уровня КБ входит составной ча-**

**стью в интегральный показатель безопасности (ИПБ), являющийся совокупным показателем промышленной, пожарной, специальной, экологической, ядерной, радиационной безопасности, с учетом результатов по охране труда [2].**

Сформулированный таким образом ИПБ позволяет учесть влияние так называемого «человеческого фактора» на техническое состояние объектов использования атомной энергии.

Согласно концепции, предложенной нашими коллегами из ВНИИА и Академии РВСН им. Петра Великого, ИПБ формируется на основании информации, получаемой в результате проведения мероприятий ведомственной системы надзора и контроля за обеспечением безопасности и включает в себя оценки следующих вопросов:

– состояние аварийности на предприятиях ЯОК (**К<sub>1</sub>**);

– состояние специальной безопасности. В него входят: оценка работа руководства; подготовки персонала; состояние ЯЗ, ЯБП, их составных частей и технологического оборудования, транспортных средств, зданий и сооружений, специальных защитных средств; обеспечение безопасных условий на производстве, при хранении и транспортировке; состояние физической защиты; готовность сил и средств к действиям по ликвидации последствий аварийных ситуаций (аварий) (**К<sub>2</sub>**);

– качество выполнения работ по обеспечению специальной безопасности (**К<sub>3</sub>**);

– наличие недостатков, не требующих для их устранения финансовых затрат (**К<sub>4</sub>**);

– эффективность устранения недостатков (**К<sub>5</sub>**);

– полнота и качество контроля, проводимого руководством предприятия, главными специалистами и руководителями подразделений (**К<sub>6</sub>**);

– культура безопасности на предприятии (**К<sub>7</sub>**).

Алгоритмически ИПБ рассчитывается как линейный многочлен, состоящий из одноклассов  $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7$ , соответ-

ствующих семи перечисленным выше показателям, взятых с их весовыми коэффициентами.

$$\text{ИПБ} = a_1K_1 + a_2K_2 + a_3K_3 + a_4K_4 + a_5K_5 + a_6K_6 + a_7K_7 \quad (1)$$

Весовые коэффициенты  $a_i$  определяются методом приоритетов (предпочтений, рангов) путем попарного сравнения показателей с учетом силы влияния каждого из них на ИПБ.

В качестве примера ниже приведем расчет показателя полноты и качества выполнения работ по обеспечению специальной безопасности,  $K_3$ .

$K_3$  вычисляется по формуле (2):

$$K_3 = 100(1 - \sum_{j=1}^k M_{3j} \times b_{3j}) \quad (2)$$

где:

$M_{31} = \frac{n_1}{n_0}$	уровень выполнения работ по обеспечению специальной безопасности – отношение числа невыполненных работ, выявленных в ходе проверки ( $n_1$ ) к общему числу работ ( $n_0$ ),
$M_{32} = \frac{n_2}{n_0}$	полнота выполнения работ по обеспечению специальной безопасности – отношение числа работ, выполненных с недостатками и замечаниями ( $n_2$ ) к общему числу работ ( $n_0$ ),
$j = 1, j = 2$	порядковый номер характеристик,
$b_{3j}$	весовой коэффициент показателя $M_{3j}$ .

Программа расчета интегрального показателя безопасности реализована на базе СУБД «Access 2007» и выполняет следующие функции:

1. **Хранение информации** об актах комиссионных проверок органами государственного и ведомственного контроля состояния ЯРБ на предприятиях ГК «Росатом» (рис. 2).

Численная оценка интегрального показателя безопасности (ИПБ) на предприятиях ядерно-оружейного комплекса [На главную страницу](#)

№192-16/1 от 06.02.2009 Акт № 1 инспекционной проверки обеспечения радиационной безопасности и физической защиты и

Данные акта комиссионной проверки | Экспертная оценка специальной безопасности | Оценка культуры безопасности | Расчет ИПБ

Наименование предприятия: Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики имени Н.Л. Духова

Название акта комиссии государственного ведомственного надзора (УГН, ГИ, ДЯРБ): Акт № 1 инспекционной проверки обеспечения радиационной безопасности и физической защиты на ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики имени Н.Л. Духова»

Номер акта: №192-16/1

Дата комиссионной проверки: 06.02.2009

### Акт комиссионной проверки

Порядковый номер	Формулировка замечаний	Причина отклонений	Область деятельности	Группа значимости
1.3	На предприятии не организован контроль за содержанием	КБ	ГИ	3
1.4	На выезде с территории промплощадок «Новослободская»	КБ	ЭП	2
1.5	В состав аттестационных комиссий подразделений	КБ	ГИ	3
1.6	«Положение об отделе службы радиационной	ОЗ	ГИ	3
1.7	Инструкции и другие руководящие документы по	ОЗ	ГИ	3
1.8	На работников службы радиационной безопасности не возл	ОЗ	ГИ	3
1.9	Служба радиационной безопасности предприятия	КБ	ГИ	3
1.10	«Контрольные уровни для персонала ФГУП	КБ	ГИ	3
1.11	Не разработаны должностные инструкции для	КБ	ГИ	3
1.12	В радиационно-гигиеническом паспорте предприятия отсут	ОЗ	ГИ	3
1.13	Не соблюдается периодичность дезактивации	КБ	ЭП	3
1.16	В складе помещения хранения ТСМ на площадке	НФ	ГИ	3
1.17	Инструкции по обслуживанию вентиляционных установок в	ОЗ	ГИ	3
1.18	В договоре ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»	ОЗ	ГИ	3
1.19	В рабочих документах ответственных за временное	ОЗ	ГИ	3

Запись: 1 из 34 | Нет фильтра | Поиск

Рис. 2. Интерфейс программы «ИПБ». Главная форма

Численная оценка интегрального показателя безопасности (ИПБ) на предприятиях ядерно-оружейного комплекса [На главную страницу](#)

№192-16/1 от 06.02.2009 Акт № 1 инспекционной проверки обеспечения радиационной безопасности и физической защиты и

Данные акта комиссионной проверки Экспертная оценка специальной безопасности Оценка культуры безопасности Расчет ИПБ

Формулы расчета интегрального показателя безопасности (ИПБ) и его составляющих

		$K_1 = 100 - 30 \cdot n_1 - 100 \cdot m_1$	$K_1 = 100$
$M_{2j} = \frac{n_{2j}}{n_0}$	<p>M21 = 55,556 доля недостатков, выявленных в работе руководства</p> <p>M22 = 2,7778 доля недостатков, выявленных в уровне подготовки персонала</p> <p>M23 = 11,1111 доля недостатков, выявленных в состоянии ЯЗ, ЯБП</p> <p>M24 = 27,778 доля недостатков, выявленных в обеспечении безопасных условий на производстве</p> <p>M25 = 0 доля недостатков, выявленных в состоянии физической защиты</p> <p>M26 = 8,3333 доля недостатков, выявленных в уровне готовности сил и средств к действию по ликвидации последствий аварийных ситуаций</p>	$K_2 = \sum_{j=1}^n M_{2j} \times b_{2j}$	$K_2 = 18,69$
$M_{3j} = \frac{n_{3j}}{n_0}$	<p>M31 = 0,3 уровень выполнения работ по обеспечению специальной безопасности</p> <p>M32 = 0,4 полнота выполнения задач по обеспечению специальной безопасности</p>	$K_3 = 100 \times (1 - \sum_{j=1}^k M_{3j} \times b_{3j})$	$K_3 = 65,00$
$M_{4j} = \frac{n_{4j}}{n_0}$	M41 = 0,4444 доля недостатков, не требующих для своего устранения финансовых затрат	$K_4 = 100 \times (1 - M_{4j} \times b_{4j})$	$K_4 = 55,56$
$M_{5j} = \frac{n_{5j}}{n_0}$	<p>M51 = 0,1111 доля недостатков, повторившихся по причине ошибочных действий персонала</p> <p>M52 = 0 доля недостатков, повторившихся по причине отказов оборудования, техники</p>	$K_5 = 100 \times (1 - \sum_{j=1}^k M_{5j} \times b_{5j})$	$K_5 = 94,44$
$M_{6j} = \frac{n_{6j}}{n_0}$	<p>M61 = 0,35 доля работ, при контроле которых комиссией выявлены недостатки</p> <p>M62 = 1,8 доля недостатков, вскрытых комиссией в ходе контроля</p>	$K_6 = 100 \times (1 - \sum_{j=1}^k M_{6j} \times b_{6j})$	$K_6 = -7,50$
			$K_7 = 24,41$
<b>Интегральный показатель безопасности</b>			<b>350,60</b>

Рис. 3. Вкладка «Экспертная оценка специальной безопасности»

Численная оценка показателя безопасности (ИПБ) на предприятиях ядерно-оружейного комплекса [На главную](#)

Для подготовки данных к анализу в статистических программах выберите необходимые поля в ниже приведенных списках и нажмите кнопку "Экспорт данных". В открывшемся диалоговом окне укажите имя и формат целевого файла. Графическое представление результатов анализа появится автоматически после завершения анализа.

Выберите показатель: K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, ИПБ

Выберите предприятие: Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики имени Комбинат «Электрохимприбор», ОАО «СХК», Производственное объединение «Старт» имени М.В. Проценко, ФГУП «Горно-химический комбинат», ФГУП «ПСЗ», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Выберите год: 2009

**Экспорт данных**

**Графическое представление результатов анализа**

Предприятие	Показатель (K2)
ФГУП «Горно-химический комбинат»	29,75
ОАО «СХК»	27,875
ФГУП «ПСЗ»	26,35
Комбинат «Электрохимприбор»	28,71875
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»	30,25
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина»	27,63157895

■ K2 (Показатель состояния специальной безопасности).

Рис. 4. Форма «Анализ данных»



2. **Расчет ИПБ и его составляющих** (рис. 3). Производится автоматический расчет интегрального показателя безопасности на основании данных экспертной оценки специальной безопасности и оценки культуры безопасности.

3. **Подготовка данных для статистического анализа и графического представления** информации в программах статистической обработки (Statistica, Systat, Excell, MatCad) (рис. 4);

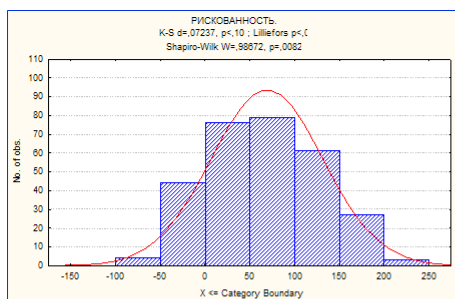
4. **Экспорт данных** для последующего анализа в программах статистической обработки (Statistica, Systat, Excell, MatCad). На рис. 5 приведены лишь некоторые виды графического представления результатов статистического анализа.

Таким образом, моделирование человеческого фактора является наиболее сложной частью вероятностного анализа безопасности потенциально опасных объектов. Среди всех классов опасных действий персонала наиболее распространенными являются **ошибочные действия персонала**, которые влияют на безопасность ЯРОО на всех этапах жизненного цикла.

Анализ человеческой надежности начинается с определения потенциальных источников и вероятностей человеческих ошибок на всех этапах жизненного цикла ЯРОО, предшествующих возможной аварии. Наиболее эффективной областью оценок безопасности, характеризующей человеческое влияние на безопасность, является сфера **культуры безопасности**.

Для анализа и прогнозирования ошибок важную роль играет **база данных – систематическая статистика совершенных ошибок**. В качестве такого источника статистических данных авторами был использован фрагмент БД, содержащий акты государственного и ведомственного контроля состояния ЯРБ на предприятиях ЯОК ГК «Росатом», предоставленный для совместной работы ОЦОЯМ РФЯЦ-ВНИИЭФ) в соответствии с письмом исх. № 195-43/27319 от 04.03.2015 г.). **Анализ БД опирается на Методику оценки состояния ЯРБ в организациях ЯОК ГК «Росатом» (ОЦОЯМ РФЯЦ-ВНИИЭФ).**

В работе был использован опыт РФЯЦ-ВНИИЭФ по разработке **научно-**



Multiple Comparisons p values (2-tailed): Анкета 2. Риск									
Independent (grouping) variable: Место работы									
Kruskal-Wallis test: H ( 7, N= 292) =16,54087 p = 0206									
Depend.:	РЦ1	ТАИ	ТЦ	хц	ЦЦР	ЭЦ	Проч.	РЦ2	
Анкета 2. Риск	R:143,73	R:153,30	R:157,73	R:123,60	R:138,68	R:182,08	R:115,06	R:122,82	
РЦ1		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,986758	1,000000	1,000000	
ТАИ	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
ТЦ	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
хц	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	0,030468	1,000000	1,000000	
ЦЦР	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	
ЭЦ	0,986758	1,000000	1,000000	0,030468	1,000000		1,000000	0,046325	
Проч.	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	
РЦ2	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,046325	1,000000		

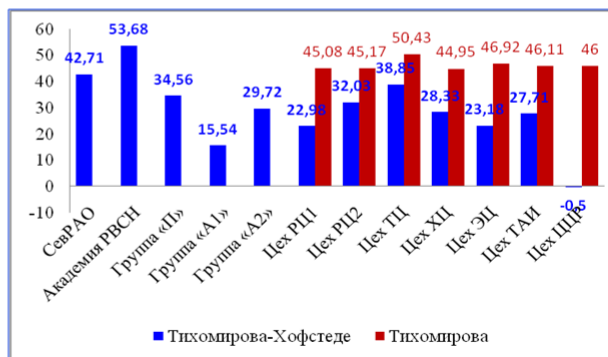
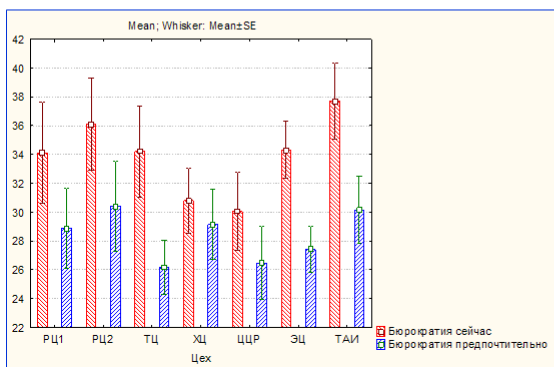


Рис. 5. Примеры графического представления результатов анализа

**методического подхода к оценке специальных профессиональных качеств персонала, занятого в проведении работ на различных этапах ЖЦ изделий, установок и их составных частей.** Впервые в ЯОК создан инструмент для количественной оценки влияния персонала на надежность и, следовательно, на безопасность выполнения работ: физиологического состояния, объема адаптационных резервов организма, когнитивных способностей, уровня подготовки, а также эмоциональных, волевых, мотивационных, интеллектуальных и других качеств личности.

Был выявлен **перечень из 60-ти профессионально-важных личностных качеств (ПВЛК) и установлены границы нормы** для каждого из них (показатели К8-К10). Показатели К8-К10 находятся в процессе разработки будут также включены в алгоритм расчета ИПБ для более точного учета психологических и когнитивных особенностей человека.

Такой комплекс факторов обеспечивает тот или иной уровень выполнения должностных обязанностей в различных режимах работы – от точного, безошибочного, адекватного восприятия ситуации, своевременного и успешного реагирования на нее до агрессивных реакций на стрессовые ситуации, принятие ошибочных решений и тому подобных поведенческих проявлений.

### **Список литературы**

1. Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиацион-

ной безопасности российской федерации на период до 2025 года. Пр-539 от 01.03.2012.

2. Думенко В. И., Сушкевич Е. М., Бородин Р. В., Тюрин Р. Л. Разработка критериев оценки эффективности системы обеспечения безопасности при создании и ликвидации ЯО. Отчет о НИР № Т21-28/58-2008 от 28.03.2008 г.

3. Казначеева В. П. и др. Проблемы «Сфинкса XXI века». Выживание населения России. Новосибирск: Наука, 2000.

4. Доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности № 75-INSAG-4. Культура безопасности. Серия изданий по безопасности. Международное агентство по атомной энергии, Вена. 1991 г. 51 с.

5. Доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности. Развитие культуры безопасности в ядерной деятельности: Практические советы по достижению прогресса. Серия «Отчеты по безопасности». МАГАТЭ. Вена. 1998.

6. Доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности № 75-INSAG-3. Основные принципы безопасности атомных станций. Серия изданий по безопасности. Международное агентство по атомной энергии, Вена. 1989 г. 55 с.

7. И. Б. Корзенева, В. Ф. Журавлева, Е. Н. Скородумова. Сравнительный анализ уровней культуры безопасности и типов организационной культуры в подразделениях Курской АЭС. Валидация методики. Отчет о НИР № 4305-3/168 от 16. 03.2015 г. 109 с.