

Моделирование влияния человеческого фактора на функционирование информационных систем

А.В. СОЛОВЬЕВ

Федеральное государственное учреждение Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия

Аннотация. В статье предложен подход к моделированию влияния человеческого фактора, основанный на оценке вероятности ошибки человека. Вероятность ошибки человека моделируется в зависимости от нескольких важных характеристик человека, таких как аккуратность, способность к утомлению и отдыху, переносить информационную перегрузку, запоминания информации, принимать решения в условиях дефицита времени, квалиметрические характеристики. Определены необходимые для моделирования данные, которые нужно собрать для проведения оценки надежности человека (HRA). Преимуществом предлагаемого подхода к моделированию HRA является простота проведения оценки и сбора необходимых данных. Преимуществом математической модели оценки HRA является эмпирически полученная зависимость НЕР от выполняемых человеком операций в информационной системе. Представленная математическая модель оценки HRA и методология моделирования HRA прошли апробацию в рамках работ по научно-методологическому сопровождению работ по модернизации системы ГАС «Выборы» и Электронного архива документов персонифицированного учета пенсионного фонда РФ.

Ключевые слова: моделирование, разработка информационных систем, человеческий фактор, надежность человека, вероятность ошибки человека.

DOI: 10.14357/20790279210104

Введение

Современные информационные системы даже в условиях стремительной цифровизации редко бывают полностью автоматическими. Все они не могут обходиться без технического обслуживания, модернизации и настройки со стороны сопровождающего (в том числе выполняющего модернизацию, т.е. доработку программного кода), обслуживающего и административного персонала. Таким образом, рассматривая такие системы, нельзя не учитывать роль человека, для облегчения труда которого, собственно, и создаются информационные системы. Тогда можно говорить о том, что любая, или, по крайней мере, абсолютное большинство информационных систем, представляют собой человеко-машинную информационную систему. Можно определить ее, как систему, в которой человек или группа людей взаимодействует с программными и

техническими устройствами в процессе модернизации, управления, обработки информации. Человеко-машинная информационная система выполняет свои задачи благодаря совместной работе устройств и людей, которые рассматриваются как неотъемлемые составляющие части всей системы. При этом следует отметить, что любая такая система является уязвимой в силу своей зависимости от множества разнородных факторов.

В современной литературе при анализе работы любой человеко-машинной системы, человек рассматривается как неотъемлемое ее звено, который обладает собственной надежностью, так как отказ критичных узлов и компонентов может произойти вследствие как технического сбоя, так и влияния человеческого фактора. Последнее время в научной литературе появился устоявшийся термин – надежность человека (Human Reliability Assessment или, сокращенно, HRA). Однако количественно определить влияние человеческого фактора на надежность

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-03070.

информационной системы в целом – задача крайне сложная в силу зависимости человека от множества разнородных факторов. В данной работе предложена методология моделирования влияния человеческого фактора обслуживающего персонала на надежность человеко-машинных информационных систем. Предложена математическая модель количественной оценки HRA.

1. Краткий обзор проблемы оценки влияния человеческого фактора

Согласно современным данным, в России самой серьезной угрозой считаются непреднамеренные ошибки обслуживающего персонала технических систем. Причем процент потерь, в том числе и финансовых, возникающих вследствие таких ошибок, может достигать 60% от всех производственных потерь [1–4].

По данным Корпорации по исследованиям в области планирования на случай возникновения чрезвычайной ситуации до 10% угроз отказов информационных, технических и промышленных систем исходит от обслуживающего персонала. По другим данным, степень влияния человеческого фактора на технические системы составляет до 30%, причем до 60-65% из них приходится на небрежное и халатное отношение к обработке или вводу информации [2, 3].

Даже эти краткие иллюстрации показывают, насколько важен учет человеческого фактора при оценке надежности информационной системы.

Приведем краткий обзор проблемы, выполненный на основе анализа научных работ последних лет, чтобы показать актуальность и значимость исследуемого вопроса.

В настоящее время в мировой научной литературе используется различные методы и модели оценки влияния человеческого фактора (далее – HRA). Так, например, в работе [5] предложена модель прогнозирования вероятности совершения ошибки оператором атомной электростанции, основанная на 10 параметрах и нечеткой логике. Такой подход достаточно распространен. Например, в работах [6, 7] анализируются методы, основанные на оценке вероятности ошибки человека (в научной литературе это устоявшийся термин: *human error probabilities* или, сокращенно, НЕР) для оценки HRA в человеко-машинных системах, в том числе и информационных. В целом же в научном сообществе, что подтверждается и новейшими научными работами, в настоящее время отсутствует общепринятый метод оценки НЕР при функционировании информационных систем.

В работах [8–11] также отмечено отсутствие общепринятого алгоритма оценки HRA, несмотря на большие наработки в этой области последние 10 лет. В статьях предложены математические модели оценки НЕР на основе Байесовских сетей и когнитивных методов (таких как PHOENIX и IDHEAS). В данных работах отмечено, что основные мероприятия по снижению НЕР – это автоматизация процессов, улучшение условий труда и повышение квалификации персонала. Данные рекомендации, правда, достаточно очевидны. В работах приводятся данные о высокой робастности предложенных моделей. Однако сбор данных для них и построение моделей под конкретные условия применения является сложной задачей, требующей высокой квалификации системных аналитиков.

Анализ HRA персонала завода по производству контейнеров и водителей транспорта, основанный на анализе физиологических и психологических факторов, представлен в работах [12, 13]. Психологические факторы являются важной составляющей оценки HRA в человеко-машинных информационных системах. Однако оценка HRA все же будет неполной, если учитывать их без связи с другими факторами.

Моделированию зависимости между ошибками операторов посвящены работы [14, 15]. В них определены факторы, влияющие на зависимость ошибок между собой, предложен подход к определению зависимости между ошибками, основанный на методах кластерного анализа.

Широкий ряд исследований опирается на квалиметрические методы (см., например, [16]). Квалификация является важной характеристикой для оценки человеческого фактора, но моделирование, учитывающее только один фактор, все-таки будет недостаточно полным.

Для оценки HRA, согласно последним исследованиям, широко применяются методы экспертных оценок (см., например, [17]). Безусловным достоинством таких методов является их хорошая проработанность в теории принятия решений. Недостатки: сложность задачи подбора экспертов, субъективность оценок, которые зачастую трудно проверить.

В довольно большом ряде исследований (см., например, [18, 19]) представлены лишь аналитические подходы к определению факторов, которые могут служить основой для оценки НЕР, однако конкретных математических моделей оценки не предложено. В работах [20–22] представлены техника и методики сбора эмпирических данных для последующей количественной оценки соотношения между факторами, влияющими на HRA. Одна-

ко такие исследования также указывают на сложность и актуальность проблемы.

Достаточно большое количество работ посвящены статистическим методам оценки различных причин отказов из-за влияния на них систем человеческого фактора (см., например, [23,24]). Недостатком тут может быть ситуация, когда довольно сложно точно определить причину возникновения отказа. Другим существенным недостатком может быть отсутствие представительной выборки для проведения статистического анализа.

Тем не менее, из приведенного краткого обзора проблемы оценки влияния человеческого фактора на функционирование информационных систем следует, что исследование HRA актуально для огромного множества отраслей промышленности: атомная энергетика, химическая промышленность, транспорт, производство промышленных товаров, медицина, нефтегазовая отрасль и др. Это также подтверждает важность и актуальность исследования HRA, которое носит ярко выраженный междисциплинарный характер.

2. Постановка задачи оценки влияния человеческого фактора

Как видно из краткого обзора, в настоящее время сложилась следующая противоречивая ситуация. С одной стороны, оценка HRA является крайне важной задачей для проведения адекватной оценки надежности человеко-машинной информационной системы. С другой стороны, несмотря на достаточно большое количество математических моделей и методов, способных выполнить такую оценку, отсутствует единый подход к решению проблемы оценки влияния человеческого фактора. Сложность решения обусловлена огромным количеством факторов, влияющих на обслуживающий, административный и технический (для краткости далее – обслуживающий) персонал информационной системы и невозможность их объективно учесть.

Можно сформулировать задачу оценки влияния человеческого фактора на функционирование информационных систем в следующем виде.

Дано:

- 1) Обслуживающий персонал системы, который описывается набором характеристик, таких как квалификация, опыт работы, образование, стаж и т.д. Обслуживающий персонал осуществляет функции модернизации, наладки, настройки, технического обслуживания, администрирования, операторов информационной системы.
- 2) Оценка надежности системы и ее отдельных элементов. Например, выполненной по методо-

логии, предложенной в работе [25] автора исследования.

Найти:

- 1) Математическую модель количественной оценки HRA, которая позволяла бы определять вероятность «отказа» обслуживающего персонала системы. Т.е. вероятность прекращения функционирования информационной системы по назначению вследствие действия или бездействия обслуживающего персонала.
- 2) Набор минимальных характеристик обслуживающего персонала и значений характеристик, которые позволили бы выполнить достаточно простую количественную оценку HRA.

Оценка HRA, как вероятность «отказа», необходима для последующего исследования влияния человеческого фактора на надежность информационной системы, которое выполняется показателями, представляющими собой вероятность отказа отдельных компонент, подсистем, модулей или же системы в целом.

Обычно для оценки надежности используют следующие показатели:

- коэффициент оперативной готовности ($K_{ог}$) – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени t , кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени;
- коэффициент технического использования ($K_{ти}$) – отношение математического ожидания интервалов времени, пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий интервалов времени пребывания объекта в работоспособном состоянии, простоев, обусловленных техническим обслуживанием (ТО), и ремонтов за тот же период эксплуатации;
- коэффициент планируемого применения ($K_{п}$) – доля периода эксплуатации, в течение которой объект не должен находиться в плановом ТО или ремонте;
- коэффициент сохранения эффективности ($K_{эф}$) – отношение показателя эффективности использования объекта по назначению за определенную продолжительность эксплуатации к номинальному значению этого показателя, вычисленному при условии, что отказы объекта в течение того же периода не возникают. Коэффициент сохранения эффективности характеризует степень влияния отказов объекта на эффективность его применения по назначению.

Перечисленные показатели надежности являются вероятностями, поэтому оценка HRA по вероятностной модели существенно упростит решение задачи оценки надежности информационной системы в целом с учетом влияния человеческого фактора.

3. Моделирование влияния человеческого фактора

Как было показано ранее в данной статье, подавляющее большинство информационных систем не может работать в полностью автоматическом режиме. Всегда найдутся операции, к которым могут быть отнесены, например, модернизация, настройка, техническое обслуживание, которые в силу своей специфики невозможно или слишком «дорого» автоматизировать. Чем больше таких операций, особенно в основной технологической цепочке работы системы, тем более зависимой она становится от индивидуальных свойств человека. То есть такая система превращается в человеко-машинную информационную систему.

Однако, человек является очень сложным звеном такой системы. Одним единственным показателем невозможно определить сразу все характеристики человека. Вот далеко не полный перечень возможных характеристик человека:

- пол,
- возраст,
- образование,
- квалификация,
- способность к обучению,
- способность к утомлению,
- способность к отдыху (восстановлению),
- способность переносить информационную нагрузку,
- способность запоминания информации,
- аккуратность,
- способность принимать решения.

Предложенная в данном исследовании математическая модель оценки HRA позволяет учесть достаточно большое количество характеристик из приведенного списка. Оценка HRA основана на оценке вероятности ошибки человека (HEP).

3.1. Моделирование зависимости влияния человеческого фактора от утомляемости

Достаточно сложно оценить HEP для таких характеристик, как способность к утомлению и отдыху, аккуратность. Однако можно попробовать оценить HEP на основе анализа количества совершенных ошибок в зависимости от времени выполнения работы по настройке, наладке, вводу данных в систему и др.

На основании исследования работы операторов ГАС «Выборы» и Электронного архива персонафицированного учета пенсионного фонда РФ (ЭАПУ ПФР) были получены следующие данные зависимости количества ошибок от времени работы с системой.

Полученные экспериментальные данные (примерно 1000 операторов системы) аппроксимируются экспоненциальной функцией вида $\exp(-\mu t)$. Обозначим оценку HEP как Q_1 . Тогда оценка зависимости HRA от утомляемости: $P_1 = 1 - Q_1$. σ_{P_1} – среднее квадратичное отклонение P_1 . На основании усредненных данных можно оценивать HEP в зависимости от времени t по табл. 1.

Табл. 1
Оценка зависимости HEP от времени работы

	Время работы t , часы					
	1-4	5-6	7	8	9	10
Q_1	0,001	0,002	0,004	0,006	0,009	0,012
P_1	0,999	0,998	0,996	0,994	0,991	0,988
σ_{P_1}	0,001	0,001	0,002	0,002	0,0025	0,003

3.2. Моделирование зависимости влияния человеческого фактора от квалификации

Для моделирования квалиметрических характеристик человека (таких как образование, квалификация, способность к обучению), необходимо собрать большое количество данных по образованию, подготовке и квалификации специалиста, работающего с системой. Однако гораздо важнее при работе с конкретной системой оценивать степень подготовленности специалиста к работе именно с этой системой. Результаты анализа работы операторов ГАС «Выборы» и ЭАПУ ПФР подтвердили это предположение. Ведущим фактором был определен именно опыт работы с конкретной информационной системой.

В работе [26] приведена следующая математическая модель для оценки HEP в зависимости от подготовки специалиста для работы с человеко-машинной информационной системой:

$$Q_2 = q_c + (q_0 - q_c) \exp(n/N), \quad (1)$$

q_0 – начальное значение частоты ошибок (до обучения);

q_c – установившееся стационарное значение частоты ошибок (для обученных специалистов);

n – полученный опыт (фактически накопленная сумма операций, выполненных специалистом в предыдущих циклах обучения и в процессе работы с системой).

В [26, 27] под операцией понимается восприятие или ввод одного информационного сигнала. В данной работе под операцией будем понимать одно элементарное действие: чтение слова с экрана, клик мыши, ввод одного символа для настройки, нажатие управляющих клавиш. Количество таких операций вполне возможно подсчитать.

В контексте данного исследования можно определить N как количество операций, необходимое и достаточное для обучения работы специалиста с конкретной системой. Количество операций для каждой конкретной системы также можно подсчитать.

Необходимо заметить, что в (1) при $n = 10N$ оценка НЕР Q_2 становится примерно равной q_c . Вся сложность данной модели состоит в подборе параметров модели, т.е. значений q_0, q_c и N .

В [27] приводятся следующие значения: $q_0 = 0,27$ ($\sigma_{q_0} = 0,09$), $q_c = 0,018$ ($\sigma_{q_c} = 0,009$), $N = 1400$ ($\sigma_N = 450$). Однако на полученных экспериментальных данных, эти значения не подтверждаются. Так, например, в системе ГАС «Выборы» и ЭАПУ ПФР значение показателя N превышает рекомендуемое практически на порядок, т.к. процесс обучения включает полный его курс с системой и две обязательные тренировки. Различаются значения показателя N и между системами из-за их разной сложности. Экспериментально установлено, что эта разница примерно двукратная.

Значения q_0, q_c также не подтвердились экспериментально и зависят от степени автоматизации конкретной группы операций, которая определяется по 4 критериям: контроль ввода параметров, подсказки, выбор из списка значений, автоматическая коррекция параметров системы. Под группой операций понимаем совокупность операций, приводящих к выполнению одной функции системы, либо к изменению одной настройки системы, вводу логически связанной порции информации и т.д.

По экспериментальным данным группы операций были разделены на 3 класса по степени автоматизации:

- высокая – наличие не менее 3 из 4 критериев автоматизации, определенных выше, для группы операций;
- низкая – наличие менее 2 критериев;
- средняя – остальные.

Значения q_0, q_c были оценены для каждого класса групп операций. Их значения представлены в табл. 2.

В данном исследовании предложена следующая математическая модель оценки Q_2 :

$$Q_2 = \prod_{i=1, M} (Q_{2i})^{k_i}, \quad (2)$$

Табл. 2

Оценка зависимости НЕР от степени автоматизации групп операций

Степень автоматизации	Данные для оценки НЕР Q_2			
	q_c	σ_{q_c}	q_0	σ_{q_0}
Высокая	0,003	0,002	0,03	0,015
Средняя	0,007	0,003	0,06	0,035
Низкая	0,011	0,005	0,10	0,050

где Q_{2i} – оценка НЕР для i -ой группы операций, используются значения q_0, q_c из табл. 2;

k_i – весовые коэффициенты i -ой группы операций $\sum_{i=1, M} (k_i) = 1$. Коэффициенты определяются методом экспертных оценок. Если никакого ранжирования по важности операций не производится, то все коэффициенты равны между собой; M – общее количество групп операций.

В (2) весовые коэффициенты приведены из предположения, что группы операций независимы. Если это не так, нужно определять коэффициенты важности для связанных групп операций, например так: $(Q_{2i} Q_{2j} Q_{2l})^{k_i}$.

3.3. Моделирование зависимости влияния человеческого фактора от информационной нагрузки

Объективно оценить такие характеристики человека как способность переносить информационную перегрузку, запоминания информации, принимать решения в условиях дефицита времени в общем случае довольно сложно. Однако можно попробовать оценить зависимость НЕР от скорости получения и обработки информации человеком при выполнении операции.

В ряде работ (см, например, [2,3,12,13]) было отмечено, что НЕР существенно зависит от скорости поступления и обработки информации человеком. На основании полученных экспериментальных данных работы системы ГАС «Выборы» и ЭАПУ ПФР, а также на основании анализа некоторых экспериментальных наборов данных (см., например, [28]) была выведена аппроксимирующая зависимость между скоростью поступления и обработки информации и НЕР. Обозначим оценку НЕР зависимости от информационной нагрузки:

$$Q_3 = (\prod_{i=1, M} ((n_i/t_i)^{sqr(3)})^{k_i})/K, \quad (3)$$

где n_i – количество операций i -ой группы; t_i – время (в секундах), затраченное на выполнение i -ой группы;

k_i – весовые коэффициенты i -ой группы операций
 $\sum_{i=1, M} (k_i) = 1$;
 M – общее количество групп операций;
 $K=942$ – эмпирический поправочный коэффициент, вычисленный по эмпирическим данным.

3.4. Общая математическая модель оценки влияния человеческого фактора

Общая модель HRA оценивается с помощью нахождения НЕР. Таким образом, можно оценить HRA как вероятность отсутствия НЕР. Результирующая модель HRA будет выглядеть следующим образом:

$$P_{HRA} = (1 - Q_1) (1 - Q_2) (1 - Q_3). \quad (4)$$

Тогда можно сформулировать общую методологию моделирования HRA человеко-машинной информационной системы, которая включает в себя следующие этапы:

- сбор данных о продолжительности работы;
- выбор значения Q_1 (табл. 1);
- сбор данных о группах операций (опыт (n) и постоянные обучений (N) для каждой группы операций) для (1);
- определение связанных групп операций;
- определение коэффициентов важности каждой группы или множества связанных групп операций;
- выполнение оценки НЕР по формуле (1) для одной группы операций с использованием значений q_p, q_c (табл. 1);
- выполнение оценки Q_2 по формуле (2);
- сбор статистических данных по временам выполнения каждой группы операций (t_i для (3));
- выполнение оценки Q_3 по формуле (3);
- выполнение оценки P_{HRA} по формуле (4);
- оценка P_{HRA} используется как поправочный коэффициент при оценке общей надежности системы (модель надежности см. [25]).

4. Практическое применение предложенного подхода к оценке влияния человеческого фактора

Представленная в исследовании математическая модель оценки HRA и методология моделирования была применена в научно-исследовательской работе по научно-методологическому сопровождению работ по модернизации системы ГАС «Выборы» и при оценке надежности информационной системы ЭАПУ ПФР. По результатам применения математическая модель и методология были существенно доработаны. Определены груп-

пы операций с высоким НЕР, что позволяет провести модернизацию системы [29]. Собраны необходимые данные, характеризующие специалистов системы.

Доработанная математическая модель была использована при проектировании системы управления города Сколково [30]. По результатам проектирования математическая модель и методология были также доработаны. Определены группы операций с высоким НЕР. Собраны необходимые статистические данные, характеризующие скорость работы, утомляемость специалистов, зависимость ошибок от квалиметрических показателей. Обеспечена приемлемая точность и достоверность результатов моделирования для проведения первичной оценки HRA.

Заключение

В данной статье представлена математическая модель оценки HRA и методология ее моделирования для исследования надежности информационных систем.

Преимуществом представленного подхода к моделированию HRA является его простота и, в то же время, возможность учета разных характеристик человека, как звена информационной системы, а также в зависимости от выполняемых человеком операций. Как показал опыт применения, необходимые данные для проведения моделирования HRA достаточно просто получить.

Представленный методологический подход прошел апробацию в рамках исследования и проектирования двух крупных систем: ГАС «Выборы» и ЭАПУ ПФР применялся при проектировании системы управления города Сколково.

В дальнейшем исследовании планируется использовать представленную модель в рамках различных работ по разработке информационных систем и существенно повысить точность и достоверность результатов моделирования.

Литература

1. *Человеческий фактор* недооценивают [Электронный ресурс] // Computerworld, 11, 2017. URL: <https://www.osp.ru/cw/2017/11/13052490/> (дата обращения 20.01.2021).
2. *Человеческий фактор* в управлении качеством / Даниляк В.И. и др. Логос, 2011.
3. *Человеческий фактор* в управлении / Абрамов Н.А., Гисберг К.С., Новиков Д.А. URSS. 2006.
4. *Ветлугин К.* Человеческий фактор [Электронный ресурс] // Computerworld, 11, 2006. URL:

- <https://www.osp.ru/cw/2006/11/377051/> (дата обращения 20.01.2021).
5. *Li P., Li X., Zhang L., Dai L.* A validation research on fuzzy logic-AHP-based assessment method of operator's situation awareness reliability // *Safety Science*. 2019. Vol.119. P. 344-352.
 6. *Park J., Arigi A.M., Kim J.* A comparison of the quantification aspects of human reliability analysis methods in nuclear power plants // *Annals of Nuclear Energy*. 2019. vol. 133. P. 297-312.
 7. *Giardina M., Buffa P., Dang V., Podofillini L., Prete G.* Early-design improvement of human reliability in an experimental facility: A combined approach and application on SPES // *Safety Science*. 2019. vol.119. P.300-314.
 8. *Groth K.M., Smith R., Moradi R.* A hybrid algorithm for developing third generation HRA methods using simulator data, causal models, and cognitive science // *Reliability Engineering and System Safety*. 2019. Vol.191.
 9. *Wang Y., Ding Y., Chen G., Jin S.* Human reliability analysis and optimization of manufacturing systems through Bayesian networks and human factors experiments: A case study in a flexible intermediate bulk container manufacturing plant // *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2019. Vol.72. P. 241-251.
 10. *Zhou Q., Wong Y.D., Loh H.S., Yuen K.F.* A fuzzy and Bayesian network CREAM model for human reliability analysis – The case of tanker shipping // *Safety Science*. 2018. Vol.105. P.149-157.
 11. *Dijksterhuis W.P.M., Hulshoff J.B., van Dullemen H.M., Hospers G.A.P., Plukker J.T.M.* Reliability of clinical nodal status regarding response to neoadjuvant chemoradiotherapy compared with surgery alone and prognosis in esophageal cancer patients // *Acta Oncologica*. 2019. Vol. 58(11). P. 1640-1647.
 12. *Di Pasquale V., Miranda S., Neumann W.P., Setayesh A.* Human reliability in manual assembly systems: a Systematic Literature Review // *IFAC-PapersOnLine*. 2018. Vol. 51(11). P.675-680.
 13. *Korchagin V.A., Englezi I.P.* Analysis of the influence of the human factor on the parameters of the emergency // *Actual problems of economics and management: theoretical and applied aspects*. 2018. P. 409-414.
 14. *Liu H.-C., Li Z., Zhang J.-Q., You X.-Y.* A large group decision making approach for dependence assessment in human reliability analysis // *Reliability Engineering and System Safety*. 2018. Vol.176. P.135-144.
 15. *Zhao J., Deng Y.* Performer selection in human reliability analysis: D numbers approach // *International Journal of Computers, Communications and Control*. 2019. Vol.14(3). P.437-452.
 16. *Zavyalov A.M., Zavyalova Yu.V., Astashkina L.A.* Ensuring the safety of production processes by reducing the impact of the human factor // *Modern approaches to ensuring hygienic, sanitary and epidemiological safety in railway transport*. 2016. P.132-136.
 17. *Горелик А.В. и др.* Экспертная оценка влияния человека на надежность работы систем железнодорожной автоматики // *Наука и техника транспорта*. 2018. №.3. С. 49-54.
 18. *Chen J., Zhou D., Lyu C., Zhu X.* A method of human reliability analysis and quantification for space missions based on a Bayesian network and the cognitive reliability and error analysis method // *Quality and Reliability Engineering International*. 2018. Vol.34(5). P.912-927.
 19. *Arigi A.M., Kim G., Park J., Kim J.* Human and organizational factors for multi-unit probabilistic safety assessment: Identification and characterization for the Korean case // *Nuclear Engineering and Technology*. 2019. Vol.51(1). P.104-115.
 20. *Kim Y., Park J., Jung W., Choi S.Y., Kim S.* Estimating the quantitative relation between PSFs and HEPs from full-scope simulator data // *Reliability Engineering and System Safety*. 2018. Vol.173. P.12-22.
 21. *Musharraf M., Smith J., Khan F., Veitch B., MacKinnon S.* Incorporating individual differences in human reliability analysis: An extension to the virtual experimental technique // *Safety Science*. 2018. Vol.107. P.216-223.
 22. *Zheng X., Deng Y.* Dependence assessment in human reliability analysis based on evidence credibility decay model and IOWA operator // *Annals of Nuclear Energy*. 2018. Vol.112. P.673-684.
 23. *Bolotsky D.N., Gorelik A.V., Parkhomenko A.A., Taradin N.A.* The Analysis of the Effect of Service Personnel on the Emergence of Operating Failures of Automation and Remote Control Systems on Railways // *Science and business: development paths*. 2019. Vol.6(96). P.44-48.
 24. *Glebova E.V., Retinskaya I.V., Volokhina A.T., Guskov M.A., Guskova T.N.* Development of the mathematical model for assessing human factor impact on production processes safety // *Environmental protection in oil and gas complex*. 2019. Vol.3(288). P.34-38.
 25. *Akimova G.P., Solovyev A.V., Tarkhanov I.A.* “Reliability Assessment Method for

- Geographically Distributed Information Systems”. The IEEE 12th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT 2018, 17-19 Oct. 2018, Almaty, Kazakhstan), IEEE. 2018. P.188-191.
26. Дружинин Г.В. Человек в моделях технологий. Часть I. Свойства человека в технологических системах. МИИТ. 1996. 144 с.
 27. Цибулевский И.Е. Ошибочные реакции человека-оператора. Радио. 1979. 208 с.
 28. Ломов Б.Ф. и др. Военная инженерная психология. Воениздат. 1970. 400 с.
 29. Акимова Г.П., Паишкина Е.В., Соловьев А.В. Анализ оценки эффективности иерархической территориально-распределенной системы на примере ГАС «Выборы» // Труды ИСА РАН. М.: КРАСАНД. 2010. Т.58. С. 25-38.
 30. Концепция «Умный город Сколково» для Инновационного центра Сколково и комплекса мер ее реализации. Том 3. Логико-математическая модель «Умного города»: отчет о НИР / А.В.Соловьев и др. ИСА РАН. 2012. 141 с.

Соловьев Александр Владимирович. Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва, Россия. Главный научный сотрудник. Доктор технических наук. Количество печатных работ: 120. Область научных интересов: системный анализ, системы управления базами данных, теория надежности, математическое моделирование, долговременное хранение электронных документов. E-mail: soloviev@isa.ru

Modeling the influence of the human factor on the functioning of information systems

A.V. Solovyev

Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The article proposes an approach to modeling the Human Reliability Assessment (HRA), based on the assessment of the human error probabilities. Human error probabilities (HEP) are modeled depending on several important characteristics of a person, such as the ability to fatigue, the ability to rest, accuracy, the ability to endure information overload, the ability to memorize information, the ability to make decisions under time pressure, qualimetric characteristics. The article identifies the data required for modeling that need to be collected to conduct an HRA assessment. An advantage of the HRA modeling approach proposed in this article is that it is easy to evaluate and collect the necessary data. The advantage of the mathematical model for assessing HRA is the empirically obtained dependence of HEP on the operations performed by a person in the information system. The presented mathematical model for assessing HRA and modeling methodology for HRA have been tested within the framework of scientific and methodological support for the modernization of Russian Federation State Automated System “Vybory” and the Electronic Archive of Personified Accounting Documents of the Pension Fund of the Russian Federation. In further studies, it is planned to improve the accuracy and reliability of the simulation results.

Keywords: *modelling, information systems development, human factor, Human Reliability Assessment, reliability, human error probabilities*

DOI: 10.14357/20790279210104

References

1. The human factor is underestimated [“Chelovecheskiy faktor nedoocenivayut”]. Computerworld, 11, 2017. URL: <https://www.osp.ru/cw/2017/11/13052490/> (last access 20.01.2021).
2. V.I. Danilyak et al. “The human factor in quality management” [“Chelovecheskiy faktor v upravlenii kachestvom”]. Logos. 2011.
3. Abramova N.A., Ginsberg K.S., Novikov D.A. “The human factor in management” [“Chelovecheskiy faktor v upravlenii”]. URSS, 2006.
4. Vetlugin K. “Human factor” [“Chelovecheskiy faktor”] / Computerworld, 11, 2006. URL: <https://www.osp.ru/cw/2006/11/377051/> (last access 20.01.2021).
5. Li P., Li X., Zhang L., Dai L. A validation research on fuzzy logic-AHP-based assessment method of operator’s situation awareness reliability // Safety Science. 2019. Vol.119. P. 344-352.
6. Park J., Arigi A.M., Kim J. A comparison of the quantification aspects of human reliability analysis methods in nuclear power plants // Annals of Nuclear Energy. 2019. vol. 133. P. 297-312.

7. *Giardina M., Buffa P., Dang V., Podofillini L., Prete G.* Early-design improvement of human reliability in an experimental facility: A combined approach and application on SPES // *Safety Science*. 2019. vol.119. P.300-314.
8. *Groth K.M., Smith R., Moradi R.* A hybrid algorithm for developing third generation HRA methods using simulator data, causal models, and cognitive science // *Reliability Engineering and System Safety*. 2019. Vol.191.
9. *Wang Y., Ding Y., Chen G., Jin S.* Human reliability analysis and optimization of manufacturing systems through Bayesian networks and human factors experiments: A case study in a flexible intermediate bulk container manufacturing plant // *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2019. Vol.72. P. 241-251.
10. *Zhou Q., Wong Y.D., Loh H.S., Yuen K.F.* A fuzzy and Bayesian network CREAM model for human reliability analysis – The case of tanker shipping // *Safety Science*. 2018. Vol.105. P.149-157.
11. *Dijksterhuis W.P.M., Hulshoff J.B., van Dullemen H.M., Hospers G.A.P., Plukker J.T.M.* Reliability of clinical nodal status regarding response to neoadjuvant chemoradiotherapy compared with surgery alone and prognosis in esophageal cancer patients // *Acta Oncologica*. 2019. Vol. 58(11). P. 1640-1647.
12. *Di Pasquale V., Miranda S., Neumann W.P., Setayesh A.* Human reliability in manual assembly systems: a Systematic Literature Review // *IFAC-PapersOnLine*. 2018. Vol. 51(11). P.675-680.
13. *Korchagin V.A., Englezi I.P.* Analysis of the influence of the human factor on the parameters of the emergency // *Actual problems of economics and management: theoretical and applied aspects*. 2018. P. 409-414.
14. *Liu H.-C., Li Z., Zhang J.-Q., You X.-Y.* A large group decision making approach for dependence assessment in human reliability analysis // *Reliability Engineering and System Safety*. 2018. Vol.176. P.135-144.
15. *Zhao J., Deng Y.* Performer selection in human reliability analysis: D numbers approach // *International Journal of Computers, Communications and Control*. 2019. Vol.14(3). P.437-452.
16. *Zavyalov A.M., Zavyalova Yu.V., Astashkina L.A.* Ensuring the safety of production processes by reducing the impact of the human factor // *Modern approaches to ensuring hygienic, sanitary and epidemiological safety in railway transport*. 2016. P.132-136.
17. *Gorelik A.V. et al.* “Expert assessment of human influence on the reliability of railway automation systems” [“Ekspertnaya otsenka vliyaniya cheloveka na nadezhnost' raboty sistem zhelezodorozhnoy avtomatiki”] in “Science and technology of transport” [“Nauka i tekhnika transporta”]. 2018. Vol.3. P.49-54.
18. *Chen J., Zhou D., Lyu C., Zhu X.* A method of human reliability analysis and quantification for space missions based on a Bayesian network and the cognitive reliability and error analysis method // *Quality and Reliability Engineering International*. 2018. Vol.34(5). P.912-927.
19. *Arigi A.M., Kim G., Park J., Kim J.* Human and organizational factors for multi-unit probabilistic safety assessment: Identification and characterization for the Korean case // *Nuclear Engineering and Technology*. 2019. Vol.51(1). P.104-115.
20. *Kim Y., Park J., Jung W., Choi S.Y., Kim S.* Estimating the quantitative relation between PSFs and HEPs from full-scope simulator data // *Reliability Engineering and System Safety*. 2018. Vol.173. P.12-22.
21. *Musharraf M., Smith J., Khan F., Veitch B., MacKinnon S.* Incorporating individual differences in human reliability analysis: An extension to the virtual experimental technique // *Safety Science*. 2018. Vol.107. P.216-223.
22. *Zheng X., Deng Y.* Dependence assessment in human reliability analysis based on evidence credibility decay model and IOWA operator // *Annals of Nuclear Energy*. 2018. Vol.112. P.673-684.
23. *Bolotsky D.N., Gorelik A.V., Parkhomenko A.A., Taradin N.A.* The Analysis of the Effect of Service Personnel on the Emergence of Operating Failures of Automation and Remote Control Systems on Railways // *Science and business: development paths*. 2019. Vol.6(96). P.44-48.
24. *Glebova E.V., Retinskaya I.V., Volokhina A.T., Guskov M.A., Guskova T.N.* Development of the mathematical model for assessing human factor impact on production processes safety // *Environmental protection in oil and gas complex*. 2019. Vol.3(288). P.34-38.
25. *Akimova G.P., Solovyev A.V., Tarkhanov I.A.* “Reliability Assessment Method for Geographically Distributed Information Systems”. The IEEE 12th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT 2018, 17-19 Oct. 2018, Almaty, Kazakhstan), IEEE. 2018. P.188-191.
26. *Druzhinin G.V.* “Man in technology models. Part I: Human Properties in Technological Systems” [“Chelovek v modelyakh tekhnologiy. Chast’

- I: Svoystva cheloveka v tekhnologicheskikh sistemakh”]. MIIT. 1996. 144 p.
27. *Tsibulevskiy I.E.* “Erroneous reactions of the human operator” [“Oshibochnyye reaktsii cheloveka-operatora”]. Radio. 1979. 208 p.
 28. *Lomov B.F. et al.* “Military Engineering Psychology” [“Voyennaya inzhenernaya psikhologiya”], Voenizdat. 1970. 400 p.
 29. *Akimova G.P., Pashkina E.V., Soloviev A.V.* “Analysis of the assessment of the effectiveness of a hierarchical geographically distributed information system by the example of GAS “Vybory”” [“Analiz ocenki jeffektivnosti ierarhicheskoy territorial’no-raspredelennoj informacionnoj sistemy na primere GAS “Vybory”] in Proceedings of the Institute of System Analysis of the Russian Academy of Sciences. 2010. Vol.58. P.25-38.
 30. *Soloviev A.V. et al.* “Concept «Umnij gorod Skolkovo» for Skolkovo innovation center and set of measures for its implementation. Vol 3. Logiko-matematicheskaja model’ «Umnogo goroda»”: research report. ISA RAN. 2012. 141 p.

Solovyev A.V. Chief Researcher, Department 94 FRC CSC RAS. Moscow, prosp. 60-let Oktyabrya, 9. Doctor of Technical Sciences. Number of publications: 120. Area of scientific interests: system analysis, database management systems, reliability theory, mathematical modeling, electronic document management, electronic archive, long-term storage of electronic documents. E-mail: soloviev@isa.ru