

# **Методическое обеспечение информационных систем при оценке надежности**

A. B. Соловьев

Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" РАН, Москва, Россия

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы разработки методического обеспечения оценки надежности информационных систем, а также оценки эффективности применения ИС по показателю надежности. Представленное методическое обеспечение включает в себя выбор показателей надежности, определение отказов и сбоев ИС, разработку схемы надежности, разработку математической модели оценки надежности, разработку правил сбора и расчета статистических данных, правил оценки эффективности. Представленное методическое обеспечение прошло апробацию в рамках научно-методологического сопровождения работ по модернизации Государственной автоматизированной системы «Выборы», а также в целом ряде проектов и доведено до действующей методики.

**Ключевые слова:** методическое обеспечение, надежность, информационная система, эффективность применения, оценка надежности.

**DOI** 10.14357/20718632240202      **EDN** HZUPOR

## **Введение**

Эффективность функционирования современных организаций во многом зависит от информационных систем (ИС), позволяющих автоматизировать те или иные аспекты деловой деятельности. Согласно ГОСТ 34.003-90 [1] «эффективность автоматизированной системы (АС): свойство АС, характеризуемое степенью достижения целей, поставленных при ее создании».

Несомненно, что важными целями при создании любой ИС является ее надежная работа. По определению надежности ГОСТ 34.003-90 [1], созданная ИС сохраняла бы «способность выполнять свои функции в заданных режимах и условиях эксплуатации», включая «свойства безотказности и ремонтопригодности».

Согласно ГОСТ Р 27.102-2021 [2] «безотказность: свойство объекта непрерывно сохранять

работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработка в заданных режимах и условиях применения», «ремонтопригодность: свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособности объекта путем технического обслуживания и ремонта».

Проблемой при оценке такого показателя эффективности ИС как надежность является то, что любая ИС будучи введенной в промышленную эксплуатацию и, тем самым переданная от разработчика к заказчику, нуждается в проверке эффективности ее работы. Например, в плане того, насколько реальная надежность ИС соответствует проектной оценке надежности. Тем самым, текущий контроль надежности требует методического обеспечения, причем такого, которое мог бы освоить технический персонал ИС. Вопросы разработки такого методического

обеспечения, а также вопросы оценки надежности ИС рассматриваются в данной статье.

## 1. Краткий обзор проблемы оценки надежности

Из краткого обзора проблемы (см., например, [3–7]) видна важность проведения оценки надежности на каждом этапе создания ИС, начиная со стадии проектирования, заканчивая стадией сопровождения. Например, в работе [3] предложены такие показатели, как коэффициент сохранения эффективности и коэффициент функциональной готовности ИС. В работах [6, 7] – вероятностные показатели. Однако выполнение такой оценки надежности возможно разработчиками ИС, но, в подавляющем большинстве случаев, невозможно для организации эксплуатирующей ИС.

Выходом здесь может быть либо разработка сложного программного обеспечения (ПО), позволяющего автоматически собирать статистику отказов и сбоев технического обеспечения (ТО) и ПО, либо предоставление заказчику ИС такого методического обеспечения, которое было бы простым для освоения персоналом ИС.

Разработка сложного ПО для оценки надежности вряд ли оправдано. Во-первых, такая разработка существенно увеличит стоимость ИС. Во-вторых, такое ПО должно будет постоянно фиксировать состояние разнообразного ПО и ТО ИС в реальном времени, в том числе все параметры отказов и сбоев. В-третьих, такое ПО должно, по-видимому, обладать абсолютной надежностью, функционируя на том же ТО ИС, надежность которого оно должно контролировать. Либо же необходимо закупать отдельный комплекс ТО для ПО оценки надежности.

Следовательно, наиболее простым и экономически оправданным остается разработка методического обеспечения доступного для освоения техническим персоналом ИС.

В работе [8] доказывается, что уровень надежности ИС должен быть экономически оправдан. Если это утверждение верно, то тем более должны быть экономически оправданы затраты на оценку надежности ИС.

В ряде работ большое внимание уделено оценке надежности на этапе эксплуатации ИС

[9, 10]. На этом этапе, собственно, и происходит подтверждение, насколько ИС эффективно работает. В работах приведены системы показателей оценки надежности, алгоритмы и модели оценки. Однако, в работах не указана связь с этапом проектирования ИС, что не дает возможность оценить эффективность проектных решений. Кроме того, данные оценки сложны для неподготовленного персонала ИС, и возможны лишь на стадии испытаний или сопровождения разработчиками ИС. Например, в работе [10] расчет по вероятностной модели с оценкой достоверности, дисперсии и доверительной вероятности результатов расчетов требует серьезной математической подготовки технического персонала ИС. В рассмотренных выше работах предложены интересные подходы, однако с практической точки зрения непонятно, как собирать данные для расчета показателей надежности и эффективности, т.е. не хватает методического обеспечения оценок.

Несмотря на то, что методики сбора данных и проведения оценок надежности в ряде работ рассмотрены [11, 12], такие методики не обладают общностью и созданы под конкретные реализации ИС.

Методики оценки надежности, приведенные в [13, 14], наоборот обладают общностью, но не затрагивают вопросы сбора данных для расчетов, а также слишком сложны для освоения неподготовленным в математическом плане персоналом ИС.

В работе [15] приводится методика расчета показателей эффективности ИС с учетом дополнительного экономического эффекта вследствие повышения эксплуатационной надежности ИС. Однако эффективность рассматривается в первую очередь с точки зрения экономических показателей.

В исследованиях [16–18] приводятся сложные расчеты показателей надежности для ИС, включая системы уравнений и интегральное исчисление. Приведенный подход важен для точного расчета надежности, однако вряд ли возможен без специальных расчетных программ и серьезной подготовки обслуживающего персонала. Впрочем, для предприятий ОПК или предприятий выпускающих высокотехнологичную продукцию, на которые ориентированы данные исследования, вполне

возможно наличие квалифицированных кадров для расчета надежности в отделах контроля надежности. Однако в данных исследованиях также не содержится методик сбора данных для расчета надежности.

К сожалению, краткий формат статьи не позволяет сделать более детальный обзор. Можно еще рассмотреть другие исследования, например, [19, 20], которые рассматривают исключительно методы оценки надежности ПО. Или работы, которые затрагивают вопросы исследования надежности перспективных систем управления технологическими процессами, в которых применяются методы искусственного интеллекта [21].

Тем не менее, можно сделать следующие обобщающие выводы. Во всех рассмотренных исследованиях мало внимания уделяется разработке методического обеспечения для ИС, внедряемых в организации, в которых низкая математическая подготовка персонала и отсутствие организационных структур контроля надежности не позволяет проводить оценку надежности на этапе эксплуатации ИС. Кроме того, в исследованиях не рассматриваются вопросы оценки эффективности ИС в плане методологии сравнения проектных оценок надежности и эксплуатационной надежности.

## **2. Задача создания методического обеспечения оценки надежности**

Как видно из краткого обзора, в настоящее время сложилась следующая противоречивая ситуация. С одной стороны, оценка надежности ИС является крайне важной задачей для проведения адекватной оценки эффективности ИС в целом. С другой стороны, несмотря на достаточно большое количество методов, способных выполнить оценку надежности, отсутствует методический аппарат, который позволил бы выполнить такую оценку персоналом ИС, не обладающим высокой математической квалификацией.

Сложность решения обусловлена тем, что с одной стороны большинство ИС строится с использованием ТО и ПО, которое доступно на рынке и относится к классу обычного. С другой стороны, в организациях, которые эксплуатируют такие ИС, отсутствуют специализирован-

ные отделы контроля надежности. Хотя, казалось бы, из этого следует, что критичность таких производств и технологических процессов невысокая, однако, привязка современных организаций к ИС также крайне высока и выход ИС из строя в любом случае либо парализует ее деятельность, либо существенно снижает эффективность.

То есть, с одной стороны, даже обычные ИС становятся все сложнее, с другой стороны, нет возможности проведения или существенно затруднен контроль их надежности в организации. Тогда можно сформулировать задачу исследования как создание методического обеспечения оценки надежности для ИС организаций, в которых отсутствует или затруднен контроль надежности ИС. Формальную постановку задачи можно сформулировать так.

Дано:

1. Множество ТО  $MHW = \{ mhw_i \}$  и ПО  $MSW = \{ msW_i \}$  ИС.
2. Множество ТО (оборудование и каналы связи) локальной вычислительной сети (ЛВС) ИС  $MLN = \{ mlN_i \}$ .
3. Множество требований к надежности  $MDR = \{ mdr_i \}$ , которые как правило заданы в техническом задании на разработку ИС и/или в технической документации ИС.
4. Проектная оценка надежности представляет собой оценку надежности ИС, выполненную разработчиком ИС на этапе технического проектирования. В общем случае она состоит из множества оценочных значений показателей надежности  $MPR = \{ mpr_i \}$ .

5. Показатели надежности для компонентов ИС - это множество показателей надежности для ТО  $MRH = \{ mrh_i \}$ , ПО  $MRS = \{ mrs_i \}$ , ТО ЛВС  $MRL = \{ mrl_i \}$ .

Требуется найти методическое обеспечение надежности, включающее:

1. Выбор показателей надежности  $PR = \{ pr_i \}$ .
2. Определение отказов и сбоев  $FR = \{ fr_i \}$ .
3. Создание схемы надежности  $SR = \{ sr_i \}$  (или, в общем случае, схем, если ИС состоит из множества несвязанных компонентов).
4. Разработку математических моделей оценки надежности  $MR = \{ mr_i \}$ .
5. Разработку правил сбора статистических данных  $StatRul = \{ StRl_i \}$ .

6. Разработку правил расчетов собранных данных  $StatCalc = \{ StCl_i \}$ .

7. Разработку правил оценки эффективности, т.е. соответствия проектной оценки надежности ( $MPR = \{ mpr_i \}$ ) и оценки надежности ИС, выполненной при расчете статистических данных ( $MER = \{ mer_i \}$ ).

В данной статье не затрагиваются вопросы оценки ЗИП (запасные части, инструменты, приспособления) на этапе проектирования. Данный вопрос методически хорошо проработан и стандартизован [22].

Перейдем к описанию решения поставленной задачи.

### 3. Методическое обеспечение оценки надежности

При разработке методического обеспечения важно определить необходимые данные и последовательность действий по их получению и обработке.

Часть данных, которые нужно определить для решения поставленной задачи, может быть разработана на этапе проектирования ИС непосредственно разработчиком. Это показатели надежности  $PR = \{ pr_i \}$ , состав отказов и сбоев  $FR = \{ fr_i \}$ , схема надежности  $SR = \{ sr_i \}$ , математическая модель оценки надежности  $MR = \{ mr_i \}$ .

Опишем этапы методического обеспечения оценки надежности ИС.

#### 3.1. Выбор показателей надежности

От выбора показателей надежности во многом будут зависеть правила их расчета на этапах жизненного цикла ИС. Если на этапе проектирования выбраны показатели, приведены расчетные соотношения для их оценки, определены отказы и сбои, составлена схема надежности ИС и математическая модель расчета или оценки надежности, это существенно облегчает создание методического обеспечения оценки надежности ИС на этапе эксплуатации.

Однако так бывает далеко не всегда. По опыту разработки различных ИС видно, что часто на этапе проектирования ограничиваются указанием требований к надежности  $MDR$ , которые, как правило, содержат временные показатели надежности ТО ИС, а именно: срок службы ( $T_c$ ), среднее время наработки на отказ ( $T_o$ ),

средний ресурс ( $T_r$ ). При этом, надежность программного обеспечения (ПО) может не учитываться вовсе. Но надежность ИС не складывается механически из составляющих ее технических средств. В частности, ПО ИС выполняет множество различных функций, поэтому важно оценивать надежность как ИС в целом, так и каждой функции, выполняемой ею.

Для оценки как надежности ИС в целом, так и ее отдельных функций и компонентов может быть предложена система комплексных показателей ( $PR$ ), характеризующих безотказность и ремонтопригодность ИС. К таким показателям, как правило, относят:

- коэффициент готовности ( $K_r$ ) — вероятность того, что ИС окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени;
- коэффициент оперативной готовности ( $K_{or}$ ) — вероятность того, что ИС окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени  $t$ ;
- коэффициент технического использования ( $K_{tu}$ ) — отношение математического ожидания интервалов времени пребывания ИС в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий интервалов времени пребывания ИС в работоспособном состоянии, состояниях простоеев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период времени;
- коэффициент планируемого применения ( $K_{pu}$ ) — доля периода эксплуатации, в течение которой ИС не должна находиться в плановом техническом обслуживании или ремонте;
- коэффициент сохранения эффективности ( $K_{ef}$ ) — отношение значения показателя эффективности использования ИС по назначению за определенный период времени к номинальному значению этого показателя, вычисленному при условии, что отказы ИС в течение того же периода времени не возникают.

При проектной оценке надежности ( $MPR$ ) могут быть заданы показатели надежности  $MRH$ ,  $MRL$ , реже  $MRS$ .

Не все перечисленные выше показатели удобно использовать при оценке надежности на всех этапах жизненного цикла ИС. Так,

например, показатели  $K_{tu}$  и  $K_{ef}$  возможно оценить только на этапе эксплуатации ИС, поэтому их использование на этапе проектирования вряд ли возможно. Однако если на этапе проектирования задан  $K_{pu}$ , то его проверка на этапе эксплуатации может быть выполнена с помощью показателя  $K_{tu}$ . В этом случае очень просто проверить соответствие проектной и эксплуатационной надежности, выполнив расчет по формуле  $K_{ef} = K_{pu}/K_{tu}$ . Это простейший случай оценки эффективности функционирования ИС по показателю надежности.

Часто при проектной оценке надежности оцениваются показатели  $K_r$  или  $K_{or}$ . Тогда на этапах опытной и промышленной эксплуатации ИС необходимо разрабатывать описания  $StatCalc = \{ StCl_i \}$ . А для того, чтобы собранная статистика была структурирована и готова к последующей обработке, необходимо четко описать  $StatRul = \{ StRl_i \}$ .

### 3.2. Определение отказов и сбоев, схема надежности

Если отказы и сбои ( $FR = \{ fr_i \}$ ) не определены на этапе проектирования ИС, то это превращается в настоящую проблему. Зачастую неспециалист не может сформулировать понятие отказов и сбоев для ИС. Проще ситуация, когда отказы и сбои определены, но в процессе эксплуатации выясняется, что не все виды отказов и сбоев учтены. Тогда, по аналогии с этапом проектирования, состав отказов и сбоев ( $FR$ ) может быть скорректирован и/или дополнен.

Если схема надежности  $SR$  не определена на этапе проектирования, то можно воспользоваться результатами исследования автора [23] для разработки такой схемы. В общем случае схему надежности удобно представить в виде дерева (или леса), если ИС представляет собой иерархическую систему, реже графа (множества графов), если ИС имеет сетевую структуру. В каждом графе схемы  $G(V, E)$  –  $V$  является мульти множеством:  $V = \{ MHW, MSW \}$  и может быть обозначено как  $V = \{ v_i \}$ , т.к. показатели надежности могут быть учтены как для  $MHW$ , так и для  $MSW$ .  $V = \{ v_i \}$  – множество элементов надежности  $v_i$ . Каждый элемент включает программно-технические средства (сервер, пользовательский компьютер, общее или прикладное программное обеспечение и т.д.).  $E = MLN =$

$\{ e_{jk} \}$  – множество каналов связи (КС)  $e_{jk}$  между  $v_j$  и  $v_k$ . Схема надежности для ИС может быть много ( $SR = \{ sr_i \}$ ), это связано с тем, что схемы надежности часто удобно создавать для отдельных компонентов ИС, также в случае графа общего вида при расчетах удобнее работать с критическими сечениями графа, представляющими, как правило, оставные деревья. Поэтому в общем случае разрабатывается не одна схема надежности, а множество  $SR = \{ sr_i \}$ . Подробнее о схеме надежности в [23].

### 3.3. Разработка математической модели оценки надежности

Если на этапе проектирования математическая модель оценки надежности ( $MR = \{ mr_i \}$ ) не разработана, либо же не приведены расчетные соотношения для показателей надежности, необходимо разработать  $MR$  для ИС в целом и ее отдельных компонентов.

Автор рекомендует создавать  $MR$  по схеме надежности, т.е. на основе  $SR = \{ sr_i \}$ , которые опираются на множество  $G(V, E)$ . Разработка  $MR$  приведена в работе [23], здесь же ограничимся примером  $MR$  оценки надежности для трехуровневой ИС, в которой верхний уровень (корень дерева схемы надежности) – центральный сервер, средний уровень – сервера подразделений, нижний – пользовательские компьютеры и другое периферийное оборудование. Уровни соединены КС  $e_{jk}$ , включающими телекоммуникационное оборудование, межсетевые экраны, шифраторы сетевого трафика и др.

В этом случае  $MR$  будет выглядеть так (пример приведен для показателя надежности коэффициент готовности ( $K_r$ ) ИС, но может быть представлен аналогично и для других показателей):

$$\begin{aligned} K_r = \\ = & K_{r\text{rl}} \cdot \sum_{i=1}^{Nml} (b_i K_{rccmli} K_{rmli} (\sum_{j=1}^{Nll.i} a_{ij} K_{rccllj} K_{rluj})) \end{aligned} \quad (1)$$

$K_{r\text{rl}}$  – показатель для элементов надежности  $v$  верхнего уровня ИС (например, центральный серверный узел);

$K_{rccmli}$  – показатель надежности КС  $e_i$  между верхним и  $v_i$  среднего уровня ИС;

$K_{rmli}$  – показатель надежности  $v_i$  среднего уровня (например, серверный комплекс подразделения);

$K_{rc\|ij}$  – показатель надежности КС  $e_{ij}$  между  $v_i$  среднего уровня и  $v_j$  нижнего уровня ИС;

$K_{r\|ij}$  – показатель надежности  $v_j$  нижнего уровня ИС;

$N_{ml}$  – количество  $v_i$  среднего уровня ИС;

$N_{ll,i}$  – количество  $v_j$  нижнего уровня, связанных с  $v_i$  среднего уровня ИС;

$b_i$  – коэффициент важности  $v_i$  (в простейшем случае  $b_i = 1/N_{ml}$ ),  $\sum_{i=1}^{N_{ml}} b_i = 1$ ;

$a_{ij}$  – коэффициент важности  $v_j$  нижнего уровня, связанного с  $v_i$  среднего уровня ИС (в простейшем случае  $a_{ij} = 1/N_{ll,i}$ ),  $\sum_{j=1}^{N_{ll,i}} a_{ij} = 1$ .

Безусловно, при оценке надежности каждого  $v_j$  необходимо учитывать надежность не только ТО, но и ПО, входящих в состав элемента или рассматривать их как отдельные элементы надежности. Также важно разделить надежность по функциям ПО ИС.

В математической модели выше не приведена оценка для дублированных  $v_i$  и  $e_{jk}$ , но такую корректировку несложно добавить, воспользовавшись известным соотношением. Например, в случае дублированного центрального сервера  $K_{rl} = 1 - (1 - K_{rlk})^n$ . Где  $n$  – количество резервных элементов ( $k = [1, n]$ ).

### 3.4. Правила сбора статистических данных для оценки надежности

Процедура сбора статистических данных должна быть рассчитана на неспециалистов, и, в то же время, позволять проводить обработку таких данных. Практически любой комплексный показатель надежности (п. 3.1) предполагает наличие для расчетов необходимых временных параметров. Исходя из опыта создания методического обеспечения для различных ИС, автором предложена следующая форма сбора статистических данных (Табл. 1).

Состав и правила (*StatRul*) заполнения колонок формы:

**№** – порядковый номер обнаруженного отказа  $v_i$  или  $e_{jk}$ .

**Функция ИС** – название функции ИС, при выполнении которой предположительно возник отказ  $v_i$  или  $e_{jk}$ .

**Наименование ТО/ПО** – название, марка, модель ТО, если произошел отказ ТО, наименование, версия ПО, если произошел отказ ПО  $v_i$  или  $e_{jk}$ .

**Описание отказа** – описание отказа  $v_i$  или  $e_{jk}$ .

**Время** – собственно ряд колонок временных параметров, необходимых для расчета (формат записи: **dd.MM.yy hh:mm**).  $T_B$  – дата/время обнаружения отказа  $v_i$  или  $e_{jk}$  (совпадает со временем вывода из функционирования).  $T_{SR}$  – дата/время начала восстановительных работ  $v_i$  или  $e_{jk}$ .  $T_{ER}$  – дата/время окончания восстановительных работ  $v_i$  или  $e_{jk}$ .  $T_E$  – дата/время ввода в действие  $v_i$  или  $e_{jk}$ .  $T_B \leq T_{SR} \leq T_{ER} \leq T_E$  – проверочное правило.

**Что сделано** – что было сделано для устранения отказа (в том числе ремонт и замена на запасные (из состава ЗИП)  $v_i$  или  $e_{jk}$ ).

**Режим** – режим работы ИС (может принимать всего 2 значения: «Р» – рабочий режим ИС, «Т» – техническое обслуживание ИС).

Разработанная форма позволяет накапливать статистику по отказам ИС, в то же время, позволяет проводить аналитическую обработку данных, например, делить отказы (сбои в простейшем случае можно не учитывать) по функциям ИС, по режимам работы ИС, по видам ПО или ТО, учитывать отдельно отказы ТО и ПО при расчетах и т.д.

Временные показатели позволяют учитывать собственно время на восстановление и время простоя в целом, тем самым, позволяя контролировать технические службы ИС.

### 3.5. Правила расчетов статистических данных

Правила расчета статистических данных, т.е. оценка эксплуатационной надежности ИС (**MER**), зависят от показателя надежности, который требуется оценить.

Табл. 1. Форма сбора статистических данных для оценки надежности

<b>№</b>	<b>Функция ИС</b>	<b>Наименование ТО/ПО</b>	<b>Описание отказа</b>	<b>Время (dd.MM.yy hh:mm)</b>				<b>Что сделано</b>	<b>Режим</b>
				$T_B$	$T_{SR}$	$T_{ER}$	$T_E$		

Наиболее простые правила при расчете показателя  $K_{tu}$ . В этом случае выбирается временной период для оценки с параметрами  $t_{BP}$ ,  $t_{EP}$  (соответственно дата/время начала и окончания периода). Затем из Табл. 1 выбираются все  $T_B = \{t_{Bi}\}$  и  $T_E = \{t_{Ei}\}$ , для которых верно условие:  $t_{Bi} \geq t_{BP}$  и  $t_{Ei} \leq t_{EP}$  для всех  $t_{Bi}$  и  $t_{Ei}$ .

Затем все  $t_{Bi}$  и  $t_{Ei}$  сортируются в порядке возрастания. Если в результатах сортировки встречаются подряд более одного  $t_{Bi}$ , то для расчета берется минимальное из них, остальные не включаются в расчет. Если более одного  $t_{Ei}$ , то для расчета берется максимальное из них, остальные не включаются в расчет.

Наконец, выполняется расчет  $K_{tu}$ :

$$K_{tu} = ((t_{EP} - t_{BP}) - (\sum_i (t_{Ei} - t_{Bi}))) / (t_{EP} - t_{BP})$$

Если в качестве показателя надежности используется коэффициент готовности ( $K_r$ ), то правила вычисления становятся более сложными.

Для каждого элемента надежности  $v_i / e_{jk}$  необходимо рассчитать  $K_{ri}$  по следующим правилам. Отобрать из Табл. 1 все  $\{t_{Bi}\}$  и  $\{t_{Ei}\}$ , относящиеся к данному  $v_i / e_{jk}$ . Затем вычислить среднее время наработки на отказ ( $T_{oi}$ ) и среднее время восстановления ( $T_{bi}$ ):

$$T_{oi} = (t_{B1} - t_{BP}) + (\sum_{j=2}^{N-1} (t_{Bj+1} - t_{Ej})) / (N - 2) + (t_{EP} - t_{EN})$$

$$T_{bi} = \sum_{j=1}^N (t_{ERj} - t_{SRj}) / N$$

Затем по формуле расчета  $K_{ri}$ :

$$K_{ri} = (T_{oi}) / (T_{oi} + T_{bi}).$$

Наконец, выполнить оценку надежности ИС по формуле (1) расчета  $K_r$ , приведенной в п. 3.3.

Еще более сложным станет расчет коэффициента оперативной готовности ( $K_{or}$ ), т.к. в этом случае кроме собственно оценки показателя  $K_{ri}$  по всем  $v_i / e_{jk}$ , потребуется провести оценку вероятности безотказной работы ( $P(t)$ ). Необходимое время безотказной работы ( $t$ ) обычно задано директивно в ТЗ на разработку ИС или берется из ряда: 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 18, 24, 36, 48 часов (чем выше значение, тем выше предполагаемая надежность элемента ИС).

В простейшем случае (плотность потока отказов простейшая пуассоновская) для оценки вероятности потребуется выполнить расчет для каждого  $v_i / e_{jk}$  по формуле  $P_i(t) = e^{-(1/T_{oi})t}$ . Тогда

$K_{ori} = K_{ri} P_i(t)$ . Далее выполнить оценку надежности аналогично по формуле (1) расчета  $K_r$ , приведенной в п. 3.3, где вместо  $K_{ri}$  использовать формулу  $K_{ori} = K_{ri} P_i(t)$ .

Расчетом по формуле (1) п. 3.3 выполняется оценка эксплуатационной надежности ИС ( $MER$ ).

### 3.6. Правила оценки эффективности

Как было показано выше, эффективность в общем случае – это степень достижения целей, поставленных при создании ИС. В плане оценки соответствия проектной и эксплуатационной надежности показателем эффективности будет результат сравнения  $MPR$  и  $MER$ .

В простейшем случае в качестве показателя эффективности можно использовать  $K_{ef}$ . Если выполнена оценка  $K_{tu}$ , то  $K_{ef} = K_{pu}/K_{tu}$ . Для показателей  $K_r$  и  $K_{or}$ , соответственно  $K_{ef} = K_{pr}/K_r$  и  $K_{ef} = K_{por}/K_{or}$ , где значения показателей проектной надежности ( $MPR$ )  $K_{pu}$ ,  $K_{pr}$ ,  $K_{por}$ , полученные на этапе проектирования, считаются известными. Если значения показателей проектной оценки надежности ( $MPR$ ) неизвестны, то их оценка может быть выполнена на основе данных производителей ПО и ТО. В этом случае следует ориентироваться на данные производителя по времени наработки на отказ ( $T_{oi}$ ), часто обозначаемой в эксплуатационной документации на ТО как MTBF (Mean time between failures). Временные показатели для оценки среднего времени восстановления ( $T_{bi}$ ) выбираются из ряда: 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 18, 24, 36, 48 часов (чем ниже значение, тем выше предполагаемая надежность элемента надежности). Остальные действия выполняются по предложенной выше методологии раздела 3 данной статьи.

## 4. Практическое применение разработанного методического обеспечения

Представленное в статье методическое обеспечение оценки надежности и эффективности в плане достижения показателей проектной надежности ИС была применена при научно-методологическом сопровождении работ по модернизации системы ГАС «Выборы», выполненных ФИЦ ИУ РАН. По результатам применения методическое обеспечение было доработано.

Так, например, для оценки эффективности работы технических служб необходимым оказался сбор четырех временных показателей (см. п. 3.4) вместо изначально предполагавшихся двух. С одной стороны, это позволило оценить собственно время восстановления ( $T_b$ ), с другой - оценить, сколько времени уходит на простой в ремонте. Собраны необходимые статистические данные для более чем 3000 комплексов технических и программных средств, входящих в Систему. Из предложенного выше набора показателей выбор был сделан в пользу коэффициента готовности, как наиболее подходящего для оценки надежности в течение всего периода эксплуатации и коэффициент оперативной готовности для режимов пиковой нагрузки на Систему. Также была разработана программа для ЭВМ, позволившая не только автоматизировать расчеты, но и усовершенствовать правила расчетов.

Доработанное методическое обеспечение было использовано в ряде крупных проектов разработки ИС. Среди них стоит выделить наиболее крупный проект: ИС электронного архива персонифицированного учета (ЭАПУ) Пенсионного фонда (ПФ) РФ. Программный комплекс эксплуатируется во всех регионах РФ, с ЭАПУ работают более 1500 пользователей, ежегодно в БД Системы поступает около 300 млн. документов. В ходе применения, методическое обеспечение постоянно дорабатывалось, в том числе в плане обеспечения приемлемой точности и достоверности оценок надежности программно-технических комплексов ЭАПУ.

В процессе разработки крупных ИС (4 года работы с ГАС «Выборы», 6 лет работы с ЭАПУ ПФ РФ) предложенное методическое обеспечение было доведено до уровня действующей методики, позволившей вовремя выявлять критичные с точки зрения надежности элементы ИС, что позволило проводить точечную модернизацию соответствующих ИС. Результаты разработки методического обеспечения для крупных территориально-распределенных ИС позволили сформулировать правила разработки методического обеспечения надежности ИС, изложенные в данной статье. Автор надеется, что предложенные результаты исследований окажутся полезны для разработчиков информационных систем различного назначения.

## Заключение

Представленное в данной статье методическое обеспечение оценки надежности является новым и не было ранее получено в ходе других исследований. Опыт применения свидетельствует, что методология осваивается техническим персоналом, не являющимся специалистами в теории надежности. Методическое обеспечение позволяет оценивать эффективность ИС в плане соответствия проектной и эксплуатационной надежности.

Простой инструментарий и математический аппарат методического обеспечения позволяет проводить оценку надежности с относительно невысокой точностью, однако, судя по результатам применения, вполне достаточную как для определения критических с точки зрения надежности элементов на этапе эксплуатации ИС, так и с точки зрения скорости выполнения оценки.

Преимуществом представленного методического обеспечения является его простота, что позволяет легко автоматизировать расчеты надежности по приведенным в исследовании правилам, что было сделано, например, в рамках научно-методологического сопровождения работ по модернизации системы ГАС «Выборы». Разработанное ПО оценки надежности позволило существенно повысить эффективность расчетов. Данные для расчетов собирались с помощью формы, приведенной в Табл. 1, выполненной в формате MS Excel.

Представленный в статье методический аппарат прошел апробацию в рамках исследования и проектирования двух крупных систем: ГАС «Выборы» и электронный архив персонифицированного учета Пенсионного фонда (ПФ) РФ.

В дальнейших исследованиях планируется усовершенствовать представленную математическую модель оценки надежности, разработать алгоритмы использования предложенных правил сбора и расчета статистики для интеграции с встроенными системами контроля технических средств и операционных систем. А также подробнее рассмотреть проведение проектной оценки надежности на основании данных о надежности, заявленных производителями ТО и ПО ИС.

## Литература

1. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. – Введ. 1992–01–01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 127 с.
2. ГОСТ 27.102-2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения. – Введ. 2022–01–01. – М.: ФГБУ «РСТ», 2021. – 36 с.
3. Кулягин В.А., Царев Р.Ю., Капулин Д.В., Пупков А.Н., Кукарцев В.В. Концептуальная модель многоэтапной комплексной оценки надежности автоматизированных систем управления предприятием // Фундаментальные исследования, 2015, № 7-2. pp.323-327.
4. Крылов Е.Г. Оценка показателей надежности автоматизированных систем. ВолгГТУ. Волгоград, 2018, 80 с. ISBN 978-5-9948-2878-6.
5. Семенов В.С., Семенов В.В. Оценка надежности автоматизированных систем управления технологическими процессами // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии. Самарский государственный архитектурно-строительный университет. Самара, 2015, С.416-419.
6. Кулягин В.А. Модель оценки надежности автоматизированных систем управления предприятием на основе статистических вероятностных компонентов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева, 2012, № 3(43), С.33-37.
7. Кулягин В.А. Анализ применения модели оценки надежности автоматизированных систем управления предприятием // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева, 2012, № 5(45), pp.65-70.
8. Основина О.Н., Боева Л.М. Подход к оценке экономически целесообразного уровня надежности автоматизированных систем управления // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Материалы Двенадцатой Всероссийской научно-практической конференции, с международным участием, 2015, С.230.
9. Булатов В.В. Оценка надежности автоматизированных систем в процессе эксплуатации // Промышленные АСУ и контроллеры, 2021, № 6, pp.3-7.
10. Самохвалов А.А., Слабуха В.Н., Таранов А.И. Многоравневая оценка надежности техники связи и автоматизированных систем управления по результатам испытаний на стадии эксплуатации // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. Труды VII межвузовской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2022, С.237-245.
11. Борисов В.М., Борисов С.В. Методика сбора информации для оценки экспериментальной надежности компрессорных и холодильных машин // Вестник Казанского технологического университета, 2012, № 15 (10), С.222-225.
12. Дровникова И.Г., Рогозин Е.А., Етепнев А.С. Программно-методический комплекс оценки показателей надежности функционирования систем защиты информации от несанкционированного доступа в автоматизированные системы // Общественная безопасность, законность и правопорядок в III тысячелетии, 2020, № 6-2, С.225-231.
13. Семёнов В.С. Оценка надежности систем автоматического и автоматизированного управления // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки, 2015, № 2 (46), С.42-47.
14. Климанов В.П., Ермаков А.А., Сутягин М.В. Комплексная оценка надежности программно-аппаратных компонентов автоматизированной информационной системы в машиностроении // Вестник МГТУ "Станкин", 2008, № 4, С.135-141.
15. Основина О.Н., Боева Л.М., Симонова А.Г. Оценка эффективности автоматизированных систем управления с учетом показателей эксплуатационной надежности // Системы управления и информационные технологии, 2014, №1(55). С.56-60.
16. Батьковский А.М. Оценка технической надежности автоматизированных систем управления на предприятиях ОПК // Новая наука: Стратегии и векторы развития, 2017, № 1(2), С.138-140.
17. Зорин Э.Ф., Рыжов Б.С., Киселев В.В. Методика оценки влияния резервирования на характеристики надежности средств информатизации автоматизированных систем военного назначения // Двойные технологии, 2015, № 1(70), С.59-62.
18. Батьковский М.А. Оценка надежности автоматизированных систем управления в оборонно-промышленном комплексе // Новая наука: От идеи к результату, 2016, № 1-1, С.50-52.
19. Бутакова М.А., Гуда А.Н., Гнаденберг В.С. Методы оценки надежности и технологической безопасности управляющего программного обеспечения автоматизированных систем управления на железнодорожном транспорте // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2011, №3(43), С.22-32.
20. Репин С.И. Оценка качества программного обеспечения автоматизированных систем на основе одноступенчатого плана испытаний // I-methods, 2021, № 13 (1).
21. Тынчкеров К.Т. Оценка надежности модулярного нейропроцессора автоматизированных систем управления технологическим процессом // Вестник Московского авиационного института, 2011, № 18 (3), С.219.
22. ГОСТ 27.507-2015. Надежность в технике. Запасные части, инструменты и принадлежности. Оценка и расчет запасов. – Введ. 2022–01–01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 52 с.
23. 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, pp.188-191. doi: 10.1109/ICAICT.2018.8747055.

**Соловьев Александр Владимирович**, Федеральное государственное учреждение "Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" Российской академии наук" Москва, Россия. Главный научный сотрудник, доктор

технических наук. Область научных интересов: системный анализ, системы управления базами данных, теория надежности, математическое моделирование, долговременное хранение электронных документов. E-mail: soloviev@isa.ru

## Methodological Support of Information Systems in Assessing Reliability

A. V. Solovyev

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

**Abstract.** The article discusses the development of methodological support for assessing the reliability of information systems (IS), as well as assessing the effectiveness of IS application based on the reliability indicator. The advantage of the proposed methodological support is its simplicity, which makes it possible for IS technical personnel to master it. The presented methodological support includes the selection of reliability indicators, determination of failures and failures of the IS, development of a reliability scheme, development of a mathematical model for assessing reliability, development of rules for collecting and calculating statistical data, rules for evaluating efficiency. The presented methodological support has been tested within the framework of scientific and methodological support for the modernization of the State Automated System “Elections”, as well as in a number of projects and brought to the current methodology.

**Keywords:** methodological support, reliability, information system, effectiveness of application, reliability assessment.

DOI 10.14357/20718632240202

EDN HZUPOR

## References

1. GOST 34.003-90. 2009. Information technology. Set of standards for automated systems. Automated systems. Terms and Definitions. Standartinform. 127 p.
2. GOST 27.102-2021. 2021. Reliability in technology. object reliability. Terms and Definitions. FGBU "RST". 36 p.
3. Kulyagin V.A., Tsarev R.Yu., Kapulin D.V., Pupkov A.N., Kukartsev V.V. 2015. Conceptual model of a multi-stage complex assessment of the reliability of automated enterprise management systems. Fundamental Research, 7-2: 323-327.
4. Krylov E.G. 2018. Assessment of indicators of reliability of automated systems. VolgGTU. Volgograd, 80 p. ISBN 978-5-9948-2878-6.
5. Semenov V.S., Semenov V.V. 2015. Assessment of the reliability of automated process control systems. Traditions and innovations in construction and architecture. Construction technologies. Samara State University of Architecture and Civil Engineering. Samara: 416-419.
6. Kulyagin V.A. 2012. Model for assessing the reliability of automated enterprise management systems based on statistical probabilistic components. Bulletin of the Siberian State Aerospace University. Academician M.F. Reshetnev, 3(43): 33-37.
7. Kulyagin V.A. 2012. Analysis of the application of the model for assessing the reliability of automated enterprise management systems. Bulletin of the Siberian State Aerospace University. Academician M.F. Reshetnev, 5(45): 65-70.
8. Osnovina O.N., Fighting L.M. 2015. Approach to assessing the economically viable level of reliability of automated control systems. Modern problems of the mining and metallurgical complex. Science and production. Materials of the Twelfth All-Russian Scientific and Practical Conference, with international participation: 230.
9. Bulatov V.V. 2021 Assessment of the reliability of automated systems during operation. Industrial ACS and controllers, 6: 3-7.
10. Samokhvalov A.A., Slabukha V.N., Taranov A.I. 2022. Multi-level assessment of the reliability of communication technology and automated control systems based on the results of tests at the operational stage. Problems of technical support of troops in modern conditions. Proceedings of the VII interuniversity scientific-practical conference: 237-245.
11. Borisov V.M., Borisov S.V. 2012. Method of collecting information for assessing the experimental reliability of compressor and refrigeration machines. Bulletin of Kazan Technological University, 15 (10): 222-225.
12. Drovnikova I.G., Rogozin E.A., Etepnev A.S. 2020. A software and methodological complex for assessing the indicators of reliability and functioning of information protection systems from unauthorized access to automated systems. Public safety, law and order in the III millennium, 6-2: 225-231.

13. Semyonov V.S. 2015. Assessment of the reliability of automatic and automated control systems. Bulletin of the Samara State Technical University, 2 (46): 42-47.
14. Klimanov V.P., Ermakov A.A., Sutyagin M.V. 2008. Comprehensive assessment of the reliability of software and hardware components of an automated information system in mechanical engineering. Bulletin of MSTU "Stankin", 4: 135-141.
15. Osnovina O.N., Boeva L.M., Simonov A.G. 2014. Assessment of the effectiveness of automated control systems, taking into account indicators of operational reliability. Control systems and information technologies, 1(55): 56-60.
16. Batkovsky A.M. 2017. Assessment of the technical reliability of automated control systems at defense industry enterprises. New Science: Strategies and Vectors of Development, 1(2): 138-140.
17. Zorin E.F., Ryzhov B.S., Kiselev V.V. 2015. Methodology for assessing the impact of redundancy on the reliability characteristics of informatization tools for automated military systems. Dual technologies, 1(70): 59-62.
18. Batkovsky M.A. 2016. Assessment of the reliability of automated control systems in the military-industrial complex. New Science: From Idea to Result, 1(1): 50-52.
19. Butakova M.A., Guda A.N., Gnadenberg V.S. 2011. Methods for assessing the reliability and technological safety of the control software for automated control systems in railway transport. Bulletin of the Rostov State University of Communications, 3(43): 22-32.
20. Repin S.I. 2021. Assessing the quality of software for automated systems based on a single-stage test plan. I-methods, 13 (1).
21. Tyncherov K.T. 2011. Assessment of the reliability of a modular neuroprocessor of automated process control systems. Bulletin of the Moscow Aviation Institute, 18 (3): 219.
22. GOST 27.507-2015. 2016. Reliability in technology. Spare parts, tools and accessories. Valuation and calculation of reserves. Standartinform, 52 p.
23. Akimova G.P., Solovyev A.V., Tarkhanov I.A. 2018. 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: 188-191. doi: 10.1109/ICAICT.2018.8747055.

**Solovyev Alexander V.** Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences. Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, 44/2 Vavilova str., Moscow, 119333, Russia. E-mail: soloviev@isa.ru