

Методология оценки эффективности иерархических информационных систем

Г. П. Акимова¹, А. В. Соловьев², И. М. Янишевский³

Статья содержит описание разработанной методики оценки эффективности иерархических информационных систем на примере Государственной автоматизированной системы Российской Федерации «Выборы». В предлагаемом материале излагается аналитический подход к оценке показателей эффективности — полноты и своевременности выполнения задачи системы, а также достоверности ввода и обработки информации при выполнении информационной системой основной задачи.

Обозначения и сокращения

КСА – комплекс средств автоматизации

ИКСРФ – избирательная комиссия субъекта Российской Федерации

ТИК – территориальная избирательная комиссия

УИК – участковая избирательная комиссия

Введение

В соответствие с ГОСТ 34.003-90 под эффективностью автоматизированной системы понимается свойство системы, «характеризуемое степенью достижения целей, поставленных при ее создании».

Эффективность функционирования автоматизированной системы, в общем случае, определяется полнотой, достоверностью и своевременностью решения задач (выполнения функций), возложенных на систему в соответствии с основной целью ее применения.

¹ 117312, Москва, просп. 60-летия Октября, д. 9, ИСА РАН, galina@cs.isa.ru.

² 117312, Москва, просп. 60-летия Октября, д. 9, ИСА РАН, alexsol@cs.isa.ru.

³ 117312, Москва, просп. 60-летия Октября, д. 9, ИСА РАН, igor_y@cs.isa.ru.

Государственная автоматизированная система (ГАС) «Выборы» (далее Система), согласно закону [1], применяется для автоматизации информационных процессов подготовки и проведения выборов и референдумов, обеспечения деятельности избирательных комиссий, комиссий референдума, а также для решения задач, не связанных с выборами и референдумом, в порядке, установленном Федеральным законом (см. [1]), иными федеральными законами, нормативными правовыми актами Центральной избирательной комиссии Российской Федерации.

Предложенная методика предназначена для проведения оценки эффективности Системы в целом для периода выполнения ею своей основной задачи — подготовки и проведения выборов. Методика позволяет выполнить оценку эффективности с учетом надежности Системы.

1. Основные определения и выбранные показатели эффективности

ГАС «Выборы» во время проведения избирательных кампаний применяется для автоматизации процессов сбора, накопления, поиска и распространения информации, необходимой для подготовки, проведения и обработки результатов выборов и референдумов, оперативного доведения этой информации до избирателей (срок публикации предварительных итогов выборов в сети Интернет составляет по закону 24 часа с момента окончания голосования) и СМИ.

Система соответствует структуре избирательной системы Российской Федерации. В соответствии с этим в ней выделяются следующие иерархические уровни: КСА ЦИК; КСА ИКСРФ; КСА ТИК; КСА УИК. Каналы связи и оборудование подсистемы передачи данных также делится на уровни: каналы связи и оборудование уровня ИКСРФ — ЦИК и уровня ТИК — ИКСРФ.

Функциональную пригодность для применения Системы по назначению определяют подсистемы: автоматизации избирательных процессов; регистра избирателей, участников референдумов; автоматизации административной деятельности избирательных комиссий; информационно-справочная подсистема; Интернет-портал; подсистема связи и передачи данных; техническое обеспечение КСА всех уровней.

Эффективность функционирования автоматизированной системы определяется полнотой, достоверностью и своевременностью решения задач, возложенных на систему в соответствии с основной целью применения Системы (см. [1]), т. е. своевременность подведения итогов и размещения информации в сети Интернет.

Исходя из специфики назначения и функционирования ГАС «Выборы» в целом, основными качественными свойствами, определяющими эффективность, являются:

- достоверность (правильность) получаемых результатов после их ввода и автоматизированной обработки;
- своевременность получения и представления результатов выборов;
- полнота решения (выполнения) задач (функций), возложенных на КСА и каналы связи соответствующего уровня иерархии Системы.

Согласно [2], основными требованиями при представлении статистической информации, необходимой для проведения государственных статистических наблюдений, являются: полнота, достоверность, своевременность.

Введем определения основных качественных свойств эффективности.

Полнота — обеспечение Системой во время проведения выборов сбора, обработки и публикации всего количества входной информации (итоговых протоколов участковых избирательных комиссий).

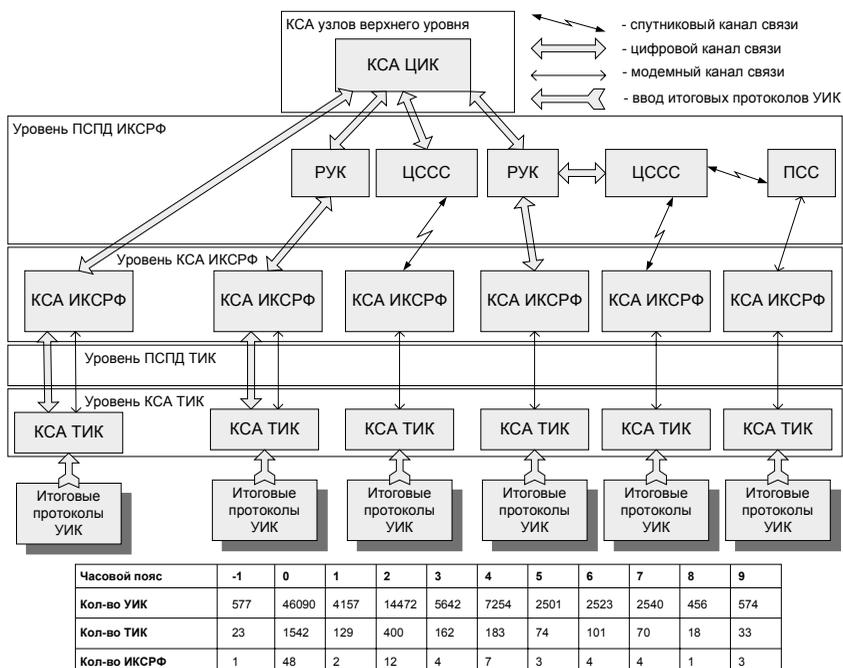


Рис. 1. Общая схема функционирования ГАС «Выборы» в основном режиме

Своевременность — обеспечение в отведенные законом временные рамки ввода итоговых протоколов и обработку результатов голосования не менее чем на 90 % (более 90 % итоговых протоколов УИК введены, обработаны и опубликованы в сети Интернет через 24 часа после окончания выборов [1]).

Достоверность функционирования — это свойство Системы, обуславливающее безошибочность производимых ею преобразований информации.

Для более наглядного представления функционирования Системы в основном режиме приведем общую схему ее функционирования (представлена на рис. 1).

2. Оценка полноты выполнения основной задачи ГАС «Выборы»

Полнота — обеспечение Системой во время проведения выборов сбора, обработки и публикации всего количества входной информации (итоговых протоколов УИК).

В соответствии с приведенным утверждением Система должна полностью обеспечивать передачу информации итоговых протоколов УИК, их обработку и запись результатов в БД избирательных комиссий (ИК) всех уровней и предоставление этой информации в СМИ и сети Интернет без потерь. Полнота характеризуется достаточностью технических, программных и информационных средств Системы для выполнения ею основной задачи.

Мерой полноты в этом случае будет процент введенных в БД Системы обработанных и представленных в сети Интернет итоговых протоколов относительно исходного числа итоговых протоколов УИК.

По прошедшим федеральным выборам 2003–2004 гг. можно констатировать тот факт, что Система обеспечила полную передачу итоговых протоколов по всем 95 00 участковым избирательным комиссиям на все вышестоящие избирательные комиссии и своевременную публикацию их в сети Интернет.

2.1. Основные показатели оценки полноты выполнения задачи Системы

Основным показателем полноты Системы выберем интегральный показатель вероятности ввода, обработки, доставки и публикации всего объема входной информации (итоговых протоколов УИК) в БД избирательных комиссий всех уровней и сети Интернет.

$$P_{\Pi}(\Pi \geq \Pi_{\text{д}}) = P(\Pi \geq \Pi_{\text{д}}) K_{\text{ог}}, \quad (2.1)$$

где $P (P \geq P_D)$ — вероятность обработки объема информации P , т. е. достижение полноты выполнения задачи не менее заданной (допустимой) P_D при условии надежного функционирования средств обработки;

$K_{o.g.}$ — коэффициент оперативной готовности Системы, вычисленный по методике оценки надежности [3]. По результатам вычислений по методике оценки надежности $K_{o.g.} = 0,957$ (0,946 с прогностическим учетом влияния человеческого фактора на надежность).

$$P(P \geq P_D) = n_i N(i), \quad (2.2)$$

где n_i — число выборов (или операций i -го типа при детализации показателя), которые удовлетворяют неравенству $P \geq P_D$, $N(i)$ — общее число выборов (или операций i -го типа, производимых в Системе при сборе и обработке итоговых протоколов УИК).

В предлагаемой методике полнота выполнения основной задачи Системы определяется с учетом надежности (точнее, надежность является ограничением к показателям полноты).

Дополнительные показатели, характеризующие полноту:

- средний процент обработки информации при выполнении конкретной технологической операции P_i (полнота выполнения операции), который должен быть не менее $P_{зад.i}$ (заданного);
- средний процент обработки информации в Системе в целом для каждого момента времени $P_{системы}$, который должен быть не менее $P_{зад}$ (заданного).

Исходя из требований законодательства, требуется не менее, чем 90 процентный сбор, обработка и публикация информации в Системе ($P_{зад}$).

2.2. Схема оценки полноты выполнения задачи Системы

Составим схему выполнения Системой своей задачи с указанием операций и необходимого процента достигаемой полноты.

Согласно схеме работы Системы в основном режиме (рис. 1), можно выделить следующие операции (этапы обработки информации), производимые в Системе в период проведения выборов:

- ввод в ТИК итоговых протоколов УИК (характеризуется количеством итоговых протоколов УИК, поступивших в ТИК $N_{прот.}$, количеством успешно введенных протоколов в БД $N_{прот.вв}$);
- выгрузка порции введенных протоколов в ТИК, отправка и получение их в ИКСРФ (характеризуется количеством успешно отправленных протоколов в БД $N_{прот.отпр}$);

- обработка сообщений с протоколами в ИКСРФ и пересылка информации в ЦИК (характеризуется количеством успешно обработанных, отправленных и полученных в ЦИК протоколов $N_{\text{прот. вв. икрф}}$);
- обработка протоколов на КСА ЦИК (характеризуется количеством успешно обработанных и опубликованных протоколов в БД ЦИК $N_{\text{прот. публ}}$).

Тогда полноту выполнения задачи Системой в целом можно оценить соотношением:

$$P_{\text{системы}} = N_{\text{прот. публ}}/N_{\text{прот.}} \quad (2.3)$$

$$P_{\text{системы}} \geq P_{\text{д}} = 0,9. \quad (2.4)$$

Полнота с учетом надежности системы:

$$P_{\text{системы}} = (N_{\text{прот. публ}}/N_{\text{прот.}}) K_{\text{о.г.}} \quad (2.5)$$

$$P_{\text{системы}} \geq 0,9/K_{\text{о.г.}} = 0,9/0,957 = 0,94. \quad (2.6)$$

Аналогично формулам (2.3)–(2.6) рассчитывается полнота для каждого этапа, операции или даже отдельного КСА ИК или канала связи:

$$P_i = N_{\text{вых. } i}/N_{\text{вх. } i}. \quad (2.7)$$

Например, для вышеперечисленных операций (этапов обработки информации в Системе):

$$P_{\text{вв. тик}} = (N_{\text{прот. вв}}/N_{\text{прот.}}) K_{\text{о.г. тик}}$$

$$P_{\text{отпр. тик}} = (N_{\text{прот. отпр}}/N_{\text{прот. вв}}) K_{\text{о.г. пспд тик}}$$

$$P_{\text{отпр. икрф}} = (N_{\text{прот. вв. икрф}}/N_{\text{прот. отпр}}) K_{\text{о.г. икрф}} K_{\text{о.г. пспд икрф}}$$

$$P_{\text{публ. цик}} = (N_{\text{прот. публ}}/N_{\text{прот. вв. икрф}}) K_{\text{о.г. цик}}$$

Полноту выполнения задачи можно рассчитать как идеальную функцию изменения процента обработанных Системой протоколов относительно исходного числа итоговых протоколов от времени. Это необходимо для прогнозирования выполнения Системой своей задачи.

Расчет изменения полноты от времени выполняется с помощью формулы (3.15) (включает расчет по формулам (3.6), (3.12), (3.14), см. п. 3.2).

3. Оценка своевременности выполнения основной задачи ГАС «Выборы»

Своевременность — обеспечение в отведенные законом временные рамки ввода итоговых протоколов и обработки результатов голосования не

менее чем на 90 % (не менее 90 % итоговых протоколов УИК, согласно закону, должны быть введены, обработаны и опубликованы в сети Интернет через 24 часа после окончания выборов [1]).

Обеспечение своевременности подразумевает предоставление данных в отведенные временные рамки во все вышестоящие избирательные комиссии, осуществление оперативных публикаций данных о ходе подготовки и проведения выборов и референдумов в Российской Федерации в соответствии с требованием избирательного законодательства в средствах массовой информации и сети Интернет.

Мера своевременности — суммарное время ввода в БД Системы, обработки и представления в сети Интернет итоговых протоколов УИК по сравнению с предельно допустимым временем.

Своевременность выполнения Системой своей задачи рассчитывается по данной методике с учетом надежности, которая в свою очередь рассчитывается по методике оценки надежности [3].

3.1. Основные показатели оценки своевременности выполнения задачи

Характеристики качества функционирования системы, к которым относится и своевременность представления запрашиваемой или выдаваемой информации (выполнение технологических операций), должны оцениваться и контролироваться с помощью показателей. В требованиях к показателям назначения системы, как определено ГОСТ 34.602-89 [4], «...должны быть приведены значения параметров, характеризующих степень соответствия системы её назначению». В части своевременности должны указываться «вероятностно-временные характеристики, при которых сохраняется целевое назначение системы».

В соответствии с выше изложенным, основной интегральный показатель своевременности может быть определен по следующей формуле:

$$P_{И}(t \leq T_{Д}) = P(t \leq T_{Д}) K_{о.г.}, \quad (3.1)$$

где $P(t \leq T_{Д})$ — вероятность обработки информации за время t не больше заданного (допустимого) $T_{Д}$ при условии надежного функционирования средств обработки;

$K_{о.г.}$ — коэффициент готовности Системы, вычисленный по методике оценки надежности [3], равен $K_{о.г.} = 0,957$ (0,946 с прогностическим учетом влияния человеческого фактора на надежность).

Дополнительные показатели, характеризующие своевременность:

- среднее время выполнения конкретных технологических операций $T_{полн.}$, которое должно быть не более $T_{зад}$ (заданного);

- вероятность выполнения конкретных технологических операций $P_{\text{св}}(T_{\text{зад}})$ за заданное время $T_{\text{зад}}$ должна быть не ниже $P_{\text{св зад}}(T_{\text{зад}}$ и $P_{\text{св зад}}$ задает заказчик).

Исходя из требований законодательства, задано только итоговое время выполнения всех операций ввода, пересылки, обработки, публикации итоговых протоколов $T_{\text{зад } \Sigma} = 24$ часа с момента окончания голосования и вероятность, с которой все эти операции должны быть выполнены, равна $P_{\text{св зад } \Sigma} \geq 0,9$.

3.2. Схема оценки своевременности выполнения задачи

Составим схему выполнения Системой своей задачи с указанием операций и необходимых времен для их выполнения.

Согласно схеме работы Системы в основном режиме (рис. 1), можно выделить следующие операции (см. п. 2.2), производимые в процессе проведения выборов, и их временные показатели:

- ввод итоговых протоколов УИК в ТИК (характеризуется временем начала ввода итоговых протоколов в ТИК $t_{\text{н.вв.}}$, временным интервалом, затраченным на ввод одного протокола $T_{\text{вв.}}$, количеством итоговых протоколов УИК, поступивших в ТИК $N_{\text{прот.}}$);
- выгрузка порции введенных протоколов в ТИК и отправка в ИКСРФ (характеризуется временем начала отправки сообщений с протоколами в ИКСРФ $t_{\text{н.отпр.}}$, временным интервалом выгрузки порции информации из БД ТИК $T_{\text{выгр.}}$, временным интервалом отправки сообщений с протоколами $T_{\text{отпр.}}$, периодичностью отправки сообщений $T_{\text{п.отпр.}}$);
- обработка сообщений с протоколами в ИКСРФ и пересылка информации в ЦИК (характеризуется временным интервалом обработки сообщения в ИКСРФ и записи информации в БД ИКСРФ $T_{\text{обр.иксрф}}$, временным интервалом отправки сообщения с протоколом $T_{\text{отпр.иксрф}}$ на КСА ЦИК, временным интервалом публикации информации итоговых протоколов на сайте ИКСРФ $T_{\text{публ.иксрф}}$);
- обработка протоколов на КСА ЦИК (характеризуется временным интервалом обработки одного сообщения с протоколами на комплексе программно-технических средств обработки сообщений $T_{\text{обр.}}$, временным интервалом записи протокола в БД ГАС «Выборы» $T_{\text{зап.}}$, временным интервалом публикации порции информации БД ГАС «Выборы» в Интернет $T_{\text{публ.}}$).

Для точного расчета всех временных интервалов T необходимо получить статистические данные и определить допустимое время $T_{\text{д}}$, позволяющее получить оценку вероятности своевременного выполнения операции.

Математическое ожидание временного интервала при выполнении операции i -го типа:

$$M(T_i) = 1/N(i) \sum_{l=1}^{N(i)} T_{il},$$

где $N(i)$ — количество выполненных операций i -го типа; $l = [1, N(i)]$.

Дисперсия времени выполнения операции i -го типа:

$$D(T_i) = 1/(N(i) - 1) \sum_{l=1}^{N(i)} (T_{il} - M(T_i))^2.$$

Оценка вероятности выполнения операции i -го типа за время, не превышающее допустимое, рассчитывается по формуле:

$$P(T_i \leq T_{Di}) = n_i/N(i), \quad (3.2)$$

где n_i — число значений T_{il} , которые удовлетворяют неравенству $T_i \leq T_{Di}$.

При необходимости получения вероятностной оценки времени выполнения операции i -го типа с учетом надежности программно-технических средств формула (3.2) принимает вид:

$$P^*(T_i \leq T_{Di}) = P(T_i \leq T_{Di}) K_{o.g.i}, \quad (3.3)$$

где $K_{o.g.i}$ — коэффициент оперативной готовности комплекса программно-технических средств для выполнения операции i -го типа.

Получить статистические данные по многим временным интервалам, например, время ввода протокола, достаточно сложно. В этих случаях вместо математического ожидания следует использовать экспертную оценку времени выполнения операции соответствующего типа.

Учитывая, что ГАС «Выборы» — территориально-распределенная система, элементы которой (КСА, каналы связи) расположены в 11 часовых поясах, необходимо для каждого часового пояса рассчитать (или оценить) полный временной интервал ввода информации и передачи информации от ТИК к ЦИК в зависимости от временных интервалов выполнения промежуточных операций и параметров выборов (количество заполняемых итоговых протоколов в УИК).

Итоговые формулы расчета временных характеристик для учета своевременности будут выглядеть следующим образом:

1. Полный временной интервал ввода протоколов для j -го часового пояса и интенсивность ввода протоколов.

$$t_{ок.вв.j} = Max((t_{н.вв.ji} - j) + T_{вв.ji} N_{прот.ji}), i = [1, M], \quad (3.4)$$

$$t_{н.вв.j} = Min((t_{н.вв.ji} - j)), i = [1, M],$$

$$T_{вв.j} = t_{ок.вв.j} - t_{н.вв.j}, j = \text{номер часового пояса}, \quad (3.5)$$

$$A_j = \sum_{i=1}^M A_{ji}, t = [t_{н.вв.j}, t_{ок.вв.j}], \quad (3.6)$$

где

$t_{ок.вв.j}$ — время окончания ввода протоколов в j -м часовом поясе, приведенное к московскому времени,

$t_{н.вв.j}$ — время начала ввода протоколов в j -м часовом поясе, приведенное к московскому времени,

$T_{вв.j}$ — полный временной интервал ввода протоколов,

A_j — интенсивность ввода протоколов в единицу времени суммарная по всем ТИК j -го часового пояса, вычисляется на интервале времени $t = [t_{н.вв.j}, t_{ок.вв.j}]$ с шагом $\Delta t = 1$ час,

A_{ji} — интенсивность ввода протоколов в единицу времени (в час) в i -м ТИК, введенных в единицу времени (в час), $A_{ji} = 0$, если $t < t_{н.вв.ji} - j$ или $t > (t_{н.вв.ji} - j) + T_{вв.ji} N_{прот.ji}$, иначе $A_{ji} = N_{прот.ji} / \Delta t$,

M — количество ТИК в часовом поясе j ,

j — номер часового пояса (см. таблицу на рис. 1),

$t_{н.вв.ji}$ — время начала ввода протоколов в i -м ТИК j -го часового пояса, определяется неравенством $t_{н.вв.ji} \geq 20 - j$,

$T_{вв.ji}$ — временной интервал ввода одного итогового протокола УИК (включает в себя и время вынужденного простоя, если следующая порция протоколов запаздывает),

$N_{прот.ji}$ — количество протоколов, поступивших в i -й ТИК, рассчитывается как $N_{прот.ji} = \sum_{l=1}^N N_{выб.jil}$, где N — количество УИК для данного ТИК,

$N_{выб.jil}$ — количество избирательных кампаний (заполняемых итоговых протоколов), проводившихся в одном l -УИК.

При оценке данного показателя принимаем следующие допущения: работа по вводу итоговых протоколов проходит в режиме повышенной нагрузки, ввод осуществляется непрерывно, простоев между вводами протоколов нет, интенсивность ввода протоколов в одном ТИК постоянная.

Расчет производится для каждого часового пояса.

Далее рассчитываем время отправки сообщений с протоколами в ИКСРФ и ЦИК для определения времени окончания поступления протоколов в вышестоящие избирательные комиссии.

2. Временной интервал передачи сообщений с протоколами в ИКСРФ и ЦИК по каналам связи для j -го часового пояса.

Вычисляется для преобразования времени ввода протоколов ко времени поступления протоколов на КСА ИКСРФ и ЦИК.

При оценке данного показателя принимаем следующие допущения: время начала отправки сообщений на КСА ИКСРФ и ЦИК совпадает со временем начала ввода протоколов ($t_{н.отпр.} = t_{н.вв.}$), сообщения отправляются равномерным потоком (разные ТИК отправляют сообщения в разное время, но с одинаковым интервалом $T_{п.отпр.} = 2$ часа), время задержки передачи данных по каналам связи зависит от часового пояса (таким способом моделируется удаленность ТИК от центра). Считаем все линии связи одинаковыми, время задержки при отправке — случайной величиной.

$$T_{тик-иксрф,j} = T_{выгр,j} + T_{отпр,j} = \left(\sum_{i=1}^M (T_{выгр,ji} + T_{отпр,ji}) \right) / M, \quad (3.7)$$

$$T_{обр.иксрф,j} + T_{отпр.иксрф,j} = \left(\sum_{i=1}^K (T_{обр.иксрф,ji} + T_{отпр.иксрф,ji}) \right) / K, \quad (3.8)$$

где K — количество ИКСРФ в j - часовом поясе.

Оценка временного интервала отправки сообщений из ТИК в ЦИК:

$$T_{тик-цик,j} = T_{тик-иксрф,j} + T_{обр.иксрф,j} + T_{отпр.иксрф,j} + A_j \text{Mod}(j), \quad (3.9)$$

где A_j — коэффициент поправки на удаленность региона от центра (на длину линий связи) или оценка задержки времени распространения сигнала в зависимости от длины линии связи, $\text{Mod}(j) = j$, при $j \geq 0$ и *минус* j , при $j < 0$.

3. Вычисление полного временного интервала от ввода до поступления сообщений на КСА ЦИК.

Полный временной интервал от ввода первого протокола до поступления на КСА ЦИК последнего протокола можно вычислить по формулам:

$$\left. \begin{aligned} t_{н.пост.цик} &= \text{Min}(t_{н.вв,j} + T_{тик-цик,j}), j = [-1, 9] \\ &\text{— номера часовых поясов,} \\ t_{ок.пост.цик} &= \text{Max}(t_{н.вв,j} + T_{тик-цик,j}), j = [-1, 9] \\ &\text{— номера часовых поясов,} \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

$$T_{пост.цик} = t_{ок.пост.цик} - t_{н.пост.цик}, \quad (3.11)$$

$$A_{пост.цик} = \sum_{j=-1}^9 A_j, t = [t_{н.пост.цик}, t_{ок.пост.цик}], \quad (3.12)$$

где $A_{пост.цик}$ — интенсивность поступления протоколов на КСА ЦИК (количество протоколов в единицу времени) равна сумме всех интенсивностей

по всем часовым поясам (см. также формулу (3.6)), рассчитывается для каждого часа ($\Delta t = 1$ час),

$T_{\text{пост.цик}}$ — временной интервал поступления протоколов на КСА ЦИК,
 $t_{\text{н.пост.цик}}$ — время начала поступления протоколов на КСА ЦИК, вычисляется как минимальное время среди всех времен по всем часовым поясам,

$t_{\text{ок.пост.цик}}$ — время окончания поступления протоколов на КСА ЦИК, вычисляется как максимальное время обработки по всем часовым поясам.

4. Расчет временного интервала, затраченного на обработку и публикацию результатов голосования на КСА ЦИК.

Время обработки одного протокола на КСА ЦИК $T_{\text{обр.цик}}$ можно представить следующим образом:

$$T_{\text{обр.цик}} = T_{\text{обр.}} + T_{\text{зап.}} + T_{\text{публ.}} + T_{\text{очередь.цик}} \quad (3.13)$$

Теперь рассчитаем задержку обработки протоколов в случае возникновения очереди при обработке протоколов на КСА ЦИК. Для этого необходимо оценить максимальную интенсивность обработки протоколов (количество обрабатываемых протоколов в единицу времени) $A_{\text{обр.цик.max}}$. Для оценки количества обрабатываемых протоколов в единицу времени необходимо разделить количество протоколов, содержащееся в одном сообщении.

Интенсивность обработки поступивших сообщений можно оценить следующим образом:

$$A_{\text{обр.цик}} = \begin{cases} A_{\text{обр.цик.max}}, & \text{если } A_{\text{пост.цик+}} \geq A_{\text{обр.цик.max}}, \\ A_{\text{пост.цик+}}, & \text{если } A_{\text{пост.цик+}} < A_{\text{обр.цик.max}}. \end{cases} \quad (3.14)$$

Интенсивность образования очереди сообщений при этом можно оценить:

$$A_{\text{очередь.цик}} = A_{\text{пост.цик}} - A_{\text{обр.цик}}, \quad A_{\text{пост.цик+}} = A_{\text{пост.цик}} + A_{\text{очередь.цик}}$$

$A_{\text{обр.цик}}$ также рассчитывается для каждого интервала времени $\Delta t = 1$ час.

Для получения суммарного времени обработки протоколов с учетом очереди $T_{\text{очередь.цик}}$, необходимо просуммировать все временные интервалы Δt при выполнении условия: на каждом временном интервале $A_{\text{обр.цик}} > 0$.

$$T_{\text{очередь.цик}} = \sum_i \Delta t_i, \text{ для всех } \Delta t_i \text{ выполняется условие } A_{\text{обр.цик}.i} > 0.$$

Тогда, суммарное время рассчитывается по формуле (3.13). Для выполнения требования своевременности, время окончания публикации результатов голосования должно удовлетворять условию:

$$t_{\text{публ.цикД}} \geq t_{\text{н.пост.цик}} + T_{\text{обр.цик}},$$

где $t_{\text{публ.циклД}}$ = время окончания голосования в РФ + 24 часа; вероятность наступления такого события необходимо оценивать так:

$P(t_{\text{публ.циклД}} \geq t_{\text{н.пост.цикл}} + T_{\text{обр.цикл}}) > 0,9$, а с учетом надежности Системы, рассчитанной по методике оценки надежности [3]:

$$P(t_{\text{публ.циклД}} \geq t_{\text{н.пост.цикл}} + T_{\text{обр.цикл}}) > 0,9/K_{\text{о.г.}} = 0,9/0,957 = 0,94.$$

5. Процентное количество введенных, обработанных и опубликованных Системой протоколов относительно исходного количества итоговых протоколов (полнота) для момента времени публикации результатов голосования (впрочем, как и для любого момента времени) рассчитывается соотношением:

$$P_{\text{системы}} = K_{\text{о.г.}} \left(\sum_k A_{\text{обр.цикл.}k} \Delta t_k \right) / \left(\sum_{j=1}^9 \sum_{i=1}^M N_{\text{прот.}ji} \right), \quad (3.15)$$

где k — количество временных интервалов, в течение которых обрабатываются и публикуются протоколы на КСА ЦИК, j — номер часового пояса, i — номер ТИК в j -м часовом поясе, M — количество ТИК в j -м часовом поясе, $K_{\text{о.г.}}$ — коэффициент оперативной готовности Системы в целом, $P_{\text{системы}}$ — полнота выполнения задачи Системой с учетом надежности.

4. Оценка достоверности информации

Одним из важнейших свойств эффективности ГАС «Выборы» является достоверность функционирования системы.

Достоверность функционирования — это свойство системы, обуславливающее безошибочность производимых ею преобразований информации.

Достоверность функционирования ГАС «Выборы» полностью определяется и измеряется достоверностью её результирующей информации. Например, в качестве результирующей информации функционирования Системы при проведении выборов будем рассматривать протоколы избирательных комиссий всех уровней.

4.1. Показатели достоверной информации

Для описания достоверности информации целесообразно применить систему показателей.

1. Доверительная вероятность необходимой точности (достоверность) $P = 1 - Q_{\text{ош}}$ — вероятность того, что в пределах заданного массива данных отсутствуют грубые погрешности, приводящие к нарушению необходимой точности.

2. Средняя наработка информации на ошибку — отношение объёма информации, преобразуемой в системе, к математическому ожиданию количества ошибок, возникающих в информации.
3. Вероятность ошибки (параметр потока ошибок) $Q_{\text{ош}}$ — вероятность появления ошибки в очередной информационной совокупности.
4. Вероятность коррекции в заданное время $P_{\text{корр}}(\tau)$ — вероятность того, что время, затрачиваемое на идентификацию и исправление ошибки, не превысит заданного τ .
5. Среднее время коррекции информации T_u — математическое ожидание времени, затрачиваемого на идентификацию и исправление ошибки.
6. Коэффициент информационного технического использования —

$$K_{\text{ти}} = \frac{T_{\text{раб}} - (T_{\text{к}} + T_{\text{и}})}{T_{\text{раб}}},$$

где

$T_{\text{раб}}$ — математическое ожидание планируемого времени работы системы на преобразование информации,
 $T_{\text{к}}$ — математическое ожидание времени контроля,
 $T_{\text{и}}$ — математическое ожидание времени идентификации и исправления ошибок.

4.2. Обеспечение достоверности информации

Одним из наиболее действенных средств обеспечения достоверности информации является контроль.

Контроль — процесс получения и обработки информации с целью оценки фактического соответствия объекта предъявляемым к нему требованиям и выработки решения. Объектом контроля является достоверность информации. Следовательно, по результатам контроля должно быть выявлено наличие или отсутствие ошибок в контролируемой информации. При обнаружении ошибки надлежит принять меры для её устранения.

Реализация контроля в ГАС «Выборы» включает организационные и программные методы. Организационный контроль достоверности представляет собой комплекс мероприятий, предназначенных для выявления ошибок на всех этапах участия человека или коллектива людей в работе Системы. Программный контроль основан на использовании встроенных в Систему логических методов проверки достоверности информации.

Контроль в ГАС «Выборы» можно отнести к классу рабочего контроля, отличительной особенностью которого является непрерывный и оперативный характер его проведения.

4.3. Основные показатели качества контроля достоверности

Функциональные показатели качества контроля должны количественно определять степень выполнения поставленных перед контролем задач. В качестве таких показателей можно принять систему коэффициентов, численно равных условным вероятностям соответствующих событий при условии наличия ошибки.

1. Коэффициент исправления ошибок

$$K_{\text{испр}} = \frac{N_{\text{испр}}}{N_{\text{ош}}} = \frac{P_{\text{испр}}}{P_{\text{ош}}},$$

где

$N_{\text{испр}}$ — число ошибок, которые в процессе контроля правильно исправляются,

$N_{\text{ош}}$ — число ошибок в информационной совокупности,

$P_{\text{испр}}$ — вероятность исправления ошибки,

$P_{\text{ош}}$ — вероятность наличия ошибки.

2. Коэффициент искажения ошибок

$$K_{\text{иск}} = \frac{N_{\text{иск}}}{N_{\text{ош}}} = \frac{P_{\text{иск}}}{P_{\text{ош}}},$$

где

$N_{\text{иск}}$ — число ошибок, которые в процессе контроля неверно исправляются (искажаются),

$P_{\text{иск}}$ — вероятность искажения ошибки.

3. Коэффициент обнаружения ошибок

$$K_{\text{обн}} = \frac{N_{\text{обн}}}{N_{\text{ош}}} = \frac{P_{\text{обн}}}{P_{\text{ош}}},$$

где

$N_{\text{обн}}$ — число обнаруженных ошибок в процессе контроля,

$P_{\text{обн}}$ — вероятность обнаружения ошибки.

4. Коэффициент необнаружения ошибок

$$K_{\text{но}} = \frac{N_{\text{но}}}{N_{\text{ош}}} = \frac{P_{\text{но}}}{P_{\text{ош}}},$$

где

$N_{\text{но}}$ — число ошибок, которые в процессе контроля не обнаруживаются,

$P_{\text{но}}$ — вероятность пропуска (необнаружения) ошибки.

5. Коэффициент выявления ошибок

$$K_{\text{выявл}} = \frac{N_{\text{выявл}}}{N_{\text{ош}}},$$

где

$N_{\text{выявл}}$ — относительное число ошибок, выявленных в процессе контроля.

6. Коэффициент трансформации ошибок

$$K_{\text{тр}} = \frac{N_{\text{ош.вых}}}{N_{\text{ош}}},$$

где

$N_{\text{ош.вых}}$ — суммарное относительное число не обнаруженных и вновь внесённых при контроле ошибок.

4.4. Модель достоверности ГАС «Выборы»

В дальнейших рассуждениях сделано предположение отсутствия искажений и возникновения ошибок при передаче данных по системе телекоммуникаций ГАС «Выборы».

В процессе проведения выборов ТИК организует ввод данных из протоколов участковых избирательных комиссий в ГАС «Выборы». Обозначим $P_{ij}^{\text{УИК}}$ — вероятность безошибочности протокола i -ой УИК, функционирующей на j -й территории (j -я ТИК), $Q_{ij}^{\text{УИК}} = 1 - P_{ij}^{\text{УИК}}$ — вероятность наличия ошибки в протоколе i -й УИК. В процессе ввода данных протокола УИК автоматически проверяются контрольные соотношения между числовыми данными протокола, обеспечивая контроль пра-

вильности внесенных в протокол данных. Вероятность обнаружения неточностей и нарушений в ошибочном протоколе по результатам контроля обозначим $f_j^{\text{ТИК}}$. Тогда $e_j^{\text{ТИК}} = 1 - f_j^{\text{ТИК}}$ — вероятность пропуска (необнаружения) ошибки. Предполагается, что обнаруженные на этом этапе ошибки исправляются с вероятностью, равной единице. Определим коэффициенты качества контроля

$$K_{\text{обн},j}^{\text{ТИК}} = \frac{f_j^{\text{ТИК}}}{\sum_{i=1}^j Q_{ij}^{\text{УИК}}}, \quad K_{\text{но},j}^{\text{ТИК}} = \frac{e_j^{\text{ТИК}}}{\sum_{i=1}^j Q_{ij}^{\text{УИК}}}, \quad (4.1)$$

где $N_j^{\text{ТИК}}$ — общее количество УИК, действующих на j -ой территории.

Далее, после проверки, осуществляется визуальный контроль введённых из протокола данных. Пусть $q_j^{\text{ТИК}}$ — вероятность присутствия технических ошибок, допущенных оператором при вводе данных протокола УИК и не замеченных при визуальной проверке текста, $p_j^{\text{ТИК}} = 1 - q_j^{\text{ТИК}}$ — вероятность правильной обработки протокола. Определим коэффициент трансформации ошибок

$$K_{\text{тр},j}^{\text{ТИК}} = \frac{e_j^{\text{ТИК}} + q_j^{\text{ТИК}}}{\sum_{i=1}^j Q_{ij}^{\text{УИК}}}. \quad (4.2)$$

После ввода данных из всех протоколов УИК, формируются предварительные данные об итогах голосования. Для этого данные из всех соответствующих протоколов суммируются, формируется компьютерная сводная таблица и компьютерный протокол о предварительных итогах голосования.

Приведём формулу, позволяющую подсчитать вероятность безошибочности компьютерного протокола ТИК о предварительных итогах голосования

$$P_j^{\text{ТИК}} = \prod_{i=1}^{N_j^{\text{ТИК}}} (P_{ij}^{\text{УИК}} + Q_{ij}^{\text{УИК}} \times f_j^{\text{ТИК}}) \times p_j^{\text{ТИК}}. \quad (4.3)$$

Обозначим $Q_j^{\text{ТИК}} = 1 - P_j^{\text{ТИК}}$ — вероятность наличия ошибки в компьютерном протоколе ТИК.

После подписания протокола ТИК об итогах голосования результаты работы ГАС «Выборы» передаются по системе телекоммуникаций в вышестоящие избирательные комиссии.

Далее происходит обработка поступивших протоколов ТИК в избирательной комиссии субъекта России. Формулы коэффициентов качества контроля и формула подсчета вероятности безошибочности компьютерного протокола ИКСРФ об итогах голосования будут иметь вид

$$K_{\text{обн}}^{\text{ИКСРФ}} = \frac{f^{\text{ИКСРФ}}}{\sum_{j=1}^{N^{\text{ИКСРФ}}} Q_j^{\text{ТИК}}}, \quad K_{\text{но}}^{\text{ИКСРФ}} = \frac{e^{\text{ИКСРФ}}}{\sum_{j=1}^{N^{\text{ИКСРФ}}} Q_j^{\text{ТИК}}}, \quad (4.4)$$

$$P^{\text{ИКСРФ}} = \prod_{j=1}^{N^{\text{ИКСРФ}}} (P_j^{\text{ТИК}} + Q_j^{\text{ТИК}} \times f^{\text{ИКСРФ}}) \times p^{\text{ИКСРФ}},$$

где

- $N^{\text{ИКСРФ}}$ — количество ИКСРФ,
- $f^{\text{ИКСРФ}}$ — вероятность обнаружения неточностей и нарушений в ошибочном протоколе ТИК по результатам контроля,
- $e^{\text{ИКСРФ}}$ — вероятность необнаружения неточностей и нарушений в ошибочном протоколе ТИК по результатам контроля,
- $p^{\text{ИКСРФ}}$ — вероятность правильной обработки протокола ТИК.

Заключение

На основании данного методологического подхода можно проводить оценку эффективности информационных систем, построенных по иерархическому принципу в целом по трем показателям: полнота и своевременность решения задачи обработки информации, достоверность полученных в процессе обработки информации результатов.

Для возможности получения оценок полноты, своевременности и достоверности по данной методике, введена система показателей. Необходимо провести сбор статистической информации об ошибках ввода и временных регламентах выполнения отдельных операций, а также составить полную таблицу характеристик информационных потоков действующих в информационной системе.

Литература

1. Федеральный закон от 10 января 2003 г. № 20-ФЗ «О Государственной автоматизированной системе Российской Федерации “Выборы”».
2. Постановление Госкомстата РФ от 15 июля 2002 г. № 154 «Об утверждении Положения о порядке представления статистической информации, необходимой для проведения государственных статистических наблюдений».
3. Методика оценки надежности ГАС «Выборы» в целом. Отчет о научно-исследовательской работе, 2005.
4. ГОСТ 34.602-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы.
5. Проект закона «О внесении изменений и дополнений в законодательные акты Российской Федерации» в части изменений Федерального закона «Об основных гарантиях избирательных прав и права на участие в референдуме граждан Российской Федерации», статья 81.
6. Материалы научно-практической конференции, посвященной 10-летию начала разработки и создания Государственной автоматизированной системы Российской Федерации «Выборы». ФЦИ при ЦИК РФ. М., 2004.
7. *Бройдо В. Л.* Вычислительные системы, сети и телекоммуникации СПб.: Питер, 2005.
8. *Кульба В. В., Ковалевский С. С., Шелков А. Б.* Достоверность и сохранность информации в АСУ. М.: СИНТЕГ, 2003.