

Анализ оценки надежности иерархической территориально-распределенной информационной системы на примере ГАС «Выборы»

Г. П. Акимова, А. В. Соловьев

*Институт системного анализа Российской академии наук,
Россия, 117312 Москва, пр. 60-летия Октября, 9*

В статье приведен вариант факторного анализа показателей надежности иерархической территориально-распределенной информационной системы на примере анализа надежности Государственной автоматизированной системы «Выборы» в целом за период 2004–2008 годов. На основании анализа динамики основных показателей надежности сделаны выводы и даны рекомендации по совершенствованию данной системы.

Введение

С октября 2004 по октябрь 2008 г. сотрудниками ИСА РАН выполнялись работы по научно-методологическому сопровождению работ по электронному голосованию и информационному обеспечению подготовки и проведения выборов и референдумов в Российской Федерации с применением Государственной автоматизированной системы (ГАС) «Выборы» (далее — Система).

В рамках работ были разработаны математическая модель надежности Системы в целом, включая оценку надежности ПО, каналов связи и оборудования подсистемы связи и передачи данных (ПСВД). По разработанной и согласованной методике оценки надежности Системы в целом в течение всего периода работы регулярно проводились математические расчеты надежности ГАС «Выборы». В настоящей статье приведены расчеты современного состояния Системы, а также сравнительные результаты, полученные за отчетный период, и их анализ.

Проведенный анализ показателей надежности Системы, которые числялись авторами в течение четырех лет работы, позволяет проследить тенденции их изменения.

Предложенная методика и математическая модель доказали свою жизнеспособность и адекватность применением на практике.

Подробно математический аппарат методики и результаты расчетов за период 01.07.2004–30.06.2008 гг. изложены в документах [1–5].

1. Оценка надежности ГАС «Выборы» за период 2004–2008 годов

1.1. Оценка основных показателей надежности

Для проведения оценки показателей надежности Системы авторами была разработана математическая модель, основные положения которой изложены в [1, 3], и математический аппарат методики проведения оценки [2, Приложение А]. Одновременно с этим были проведены работы по созданию методики проведения экспресс-оценки надежности Системы в целом, основные положения которой приведены в [2, Приложение А].

В качестве основного показателя надежности предложено использовать коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$. В указанном выше документе все модели выражены через этот показатель с добавлением в индекс части Системы, к которой применено вычисление. Это удобно, поскольку все показатели могут быть легко пересчитаны один из другого.

При этом коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$ — вероятность того, что Система окажется работоспособной в произвольный момент времени и проработает после этого в течение заданного времени. Подробнее определение показателей надежности см. в работе [5].

Ценность предлагаемой модели надежности Системы в том, что она:

- адекватно представляет схему функционирования Системы;
- позволяет проводить расчеты, что подтверждено четырехлетней практикой;
- позволяет сколь угодно детализировать схему в плане ввода нового оборудования;
- позволяет без ограничений вводить новые уровни: комплекс средств автоматизации (КСА) участковой избирательной комиссии (УИК), региональный (РУК) и транзитный (ТУК) узлы коммуникации и т. д.;
- позволяет учитывать при расчетах дополнительные факторы (человеческий фактор, защищенность информации и т. д., подробнее см. [1, 6]);
- позволяет рассчитывать надежность вплоть до отдельных программно-технических средств (ПТС), подсистем и задач специального программного обеспечения (СПО);
- обладает универсальностью, так как позволяет строить модели и проводить расчеты для любого количества уровней иерархии и для любой информационной системы, построенной по иерархическому принципу.

Тогда экспресс-оценка надежности Системы в целом выглядит следующим образом:

$$K_{\text{о.г. ГАС «Выборы»}} = K_{\text{о.г. цик}} K_{\text{о.г. пспд тук}} K_{\text{о.г. пспд икрф}} K_{\text{о.г. икрф}} K_{\text{о.г. пспд тик}} K_{\text{о.г. тик}} \quad (1)$$

Точная оценка надежности Системы в целом:

$$K_{\text{о.г. ГАС «Выборы»}} = K_{\text{о.г. цик}} \sum_{k=1}^8 (C_k K_{\text{о.г. пспд тук}} k \\ \left(\sum_{i=1}^{M_{\text{икрф}} k} (B_{ki} K_{\text{о.г. пспд икрф}} ki K_{\text{о.г. икрф}} ki \\ \left(\sum_{i=1}^{N_{\text{тик}} ki} A_{kij} K_{\text{о.г. пспд тик}} kij K_{\text{о.г. тик}} kij \right) \right) \right)),$$

или

$$K_{\text{о.г. ГАС «Выборы»}} = K_{\text{о.г. цик}} \sum_{k=1}^8 (C_k K_{\text{о.г. пспд тук}} k \\ \left(\sum_{i=1}^{M_{\text{икрф}} k} (B_{ki} K_{\text{о.г. пспд икрф}} ki K_{\text{о.г. икрф}} ki \\ \left(\sum_{i=1}^{N_{\text{тик}} ki} (K_{\text{о.г. пспд тик}} kij K_{\text{о.г. тик}} kij) / N_{\text{тик}} ki \right) \right) \right)),$$

где

C_k — весовой коэффициент «важности» k -го ТУК;

$$B_{ki} = \text{Изб}_{ki} / \sum_{i=1}^{M_{\text{икрф}} k} \text{Изб}_i;$$

Изб_i — количество избирателей в i -м субъекте РФ, причем $\sum_{i=1}^{M_{\text{икрф}} k} B_{ki} =$

$= 1$ — доля избирателей в i -м субъекте РФ;

$A_{kij} = \text{Изб}_{ij} / \text{Изб}_i$ — доля избирателей, обслуживаемых j -м ТИК в i -м субъекте РФ ($\sum_{i=1}^{N_{\text{тик}} ki} A_{kij} = 1$);

$N_{\text{тик}} ki$ — количество ТИК в i -м субъекте РФ, обслуживаемым k -м ТУК.

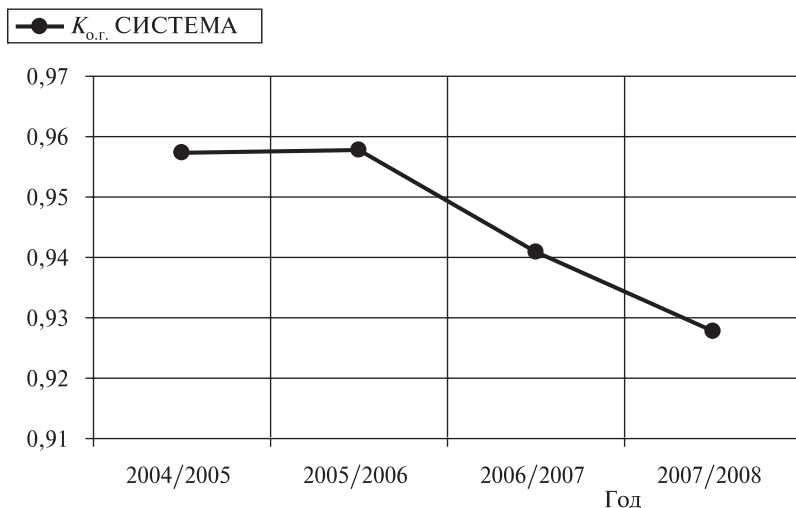


Рис. 1. Динамика показателя коэффициента оперативной готовности ($K_{o.g.}$) Системы в целом за период 01.07.2004 – 30.06.2008

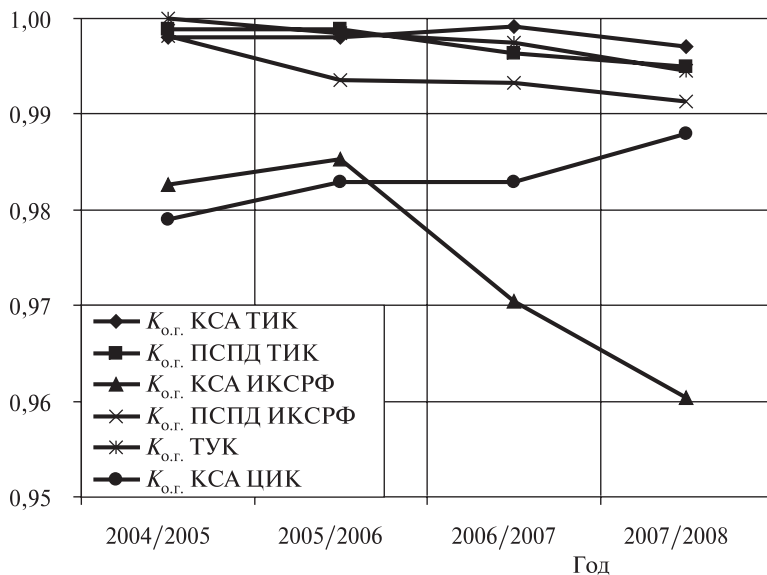


Рис. 2. Динамика показателя коэффициента оперативной готовности ($K_{o.g.}$) различных уровней иерархии Системы за период 01.07.2004 – 30.06.2008

Таблица 1

Изменение показателей надежности Системы
за период 01.07.2004–30.06.2008

Показатели надежности	01.07.2004– 30.06.2005	01.07.2005– 30.06.2006	01.07.2006– 30.06.2007	01.07.2007– 30.06.2008
$K_{o.g.}$ КСА ТИК	0,9981	0,9980	0,9991	0,9970
$K_{o.g.}$ ПСПД ТИК	0,9989	0,9989	0,9964	0,9992
$K_{o.g.}$ КСА ИКСРФ	0,9826	0,9853	0,9704	0,9604
$K_{o.g.}$ ПСПД ИКСРФ	0,9982	0,9936	0,9933	0,9913
$K_{o.g.}$ ТУК	(1,0000)*	0,9985	0,9975	0,9946
$K_{o.g.}$ КСА ЦИК	(0,9790)**	0,9829	0,9829	0,9879
$K_{o.g.}$ Система	0,9574	0,9578	0,9408	0,9279

* Нет данных, коэффициент приравнен единице.

** Ввиду отсутствия статистики использованы прогностические данные проектной надежности.

При расчете принимается допущение, что надежность КСА, ПТС, оборудования, каналов связи и уровней ПСПД, по которым нет данных по отходам, принимается равной наилучшему показателю надежности среди аналогичных средств.

На основании отчетов о выполнении работ по ремонту и замене оборудования ГАС «Выборы» проведен анализ показателей надежности по пессимистической модели. Согласно проведенным расчетам получены показатели надежности Системы в целом, а также различных уровней КСА и ПСПД.

Результат расчетов показал, что в течение последних четырех лет наметилась тенденция к снижению показателей надежности (см. рис. 1), особенно уровня КСА Избирательной комиссии субъекта РФ (ИКСРФ) (см. рис. 2).

В табл. 1 приведены результаты расчета надежности по модели (1) по всем уровням КСА и ПСПД.

Результаты расчета показывают, что наибольшая отрицательная динамика присутствует у показателей надежности КСА ИКСРФ. Возможные причины:

- возрастание нагрузки на ПТС КСА ИКСРФ в связи с проведением федеральных кампаний 2007–2008 годов, и, как следствие, увеличение количества отказов;
- техническое обеспечение КСА выработало свой ресурс, что приводит к массовому отказу техники;

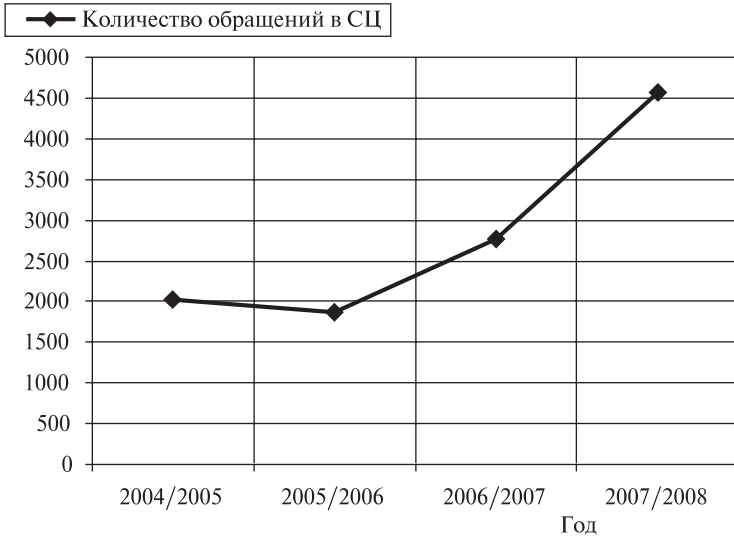


Рис. 3. Динамика количества обращений в СЦ из-за отказов и сбоев ПТС за период 01.07.2004 – 30.06.2008

- влияние человеческого фактора и текучки кадров приводит к более частым отказам на КСА. Согласно [1, 6] текучка системных администраторов составляет 10–20 %;
- унифицированный сбор статистических данных позволяет собрать более полную информацию обо всех отказах и сбоях.

На рис. 3 показана динамика изменения количества обращений в сервисный центр (СЦ) по поводу ремонта оборудования за весь период наблюдений 01.07.2004 – 30.06.2008. Заметно, что количество обращений в сервисные центры значительно выросло, особенно за последний год.

1.2. Оценка показателей надежности уровня КСА ИКСРФ

Общая модель надежности всего уровня КСА ИКСРФ определяется формулой

$$K_{\text{о.г. иксерф } i} = \sum_{k=1}^N (B_i K_{\text{о.г. иксерф } i}),$$

где $B_i = \text{Изб}_i / \sum_{k=1}^N \text{Изб}_k$ — степень влияния i -го ИКСРФ, $\sum_{k=1}^N B_i = 1$;

Изб_i — количество избирателей в i -м субъекте РФ.

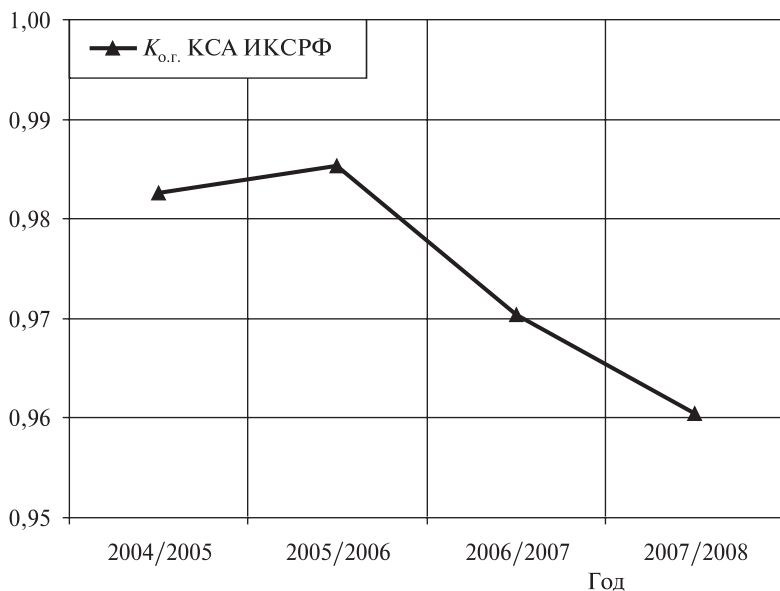


Рис. 4. Динамика показателя коэффициента оперативной готовности ($K_{o.g.}$) уровня КСА ИКСРФ за период 01.07.2004 – 30.06.2008

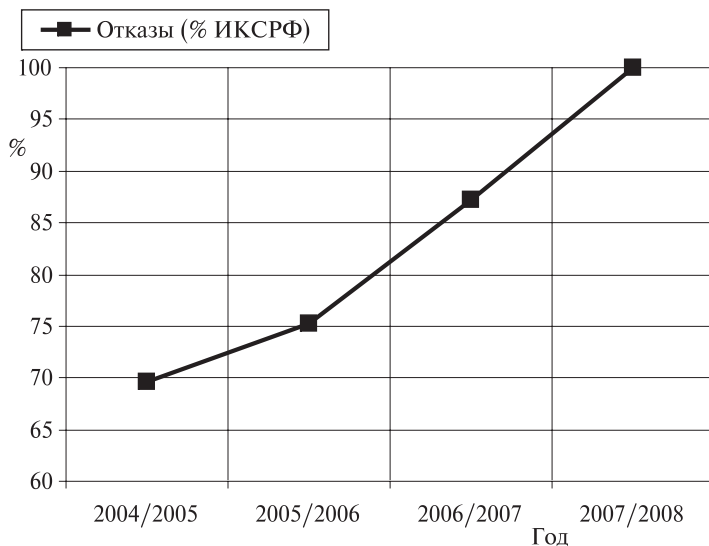


Рис. 5. Изменение процентного количества КСА ИКСРФ, на которых зафиксированы отказы за период 01.07.2004 – 30.06.2008

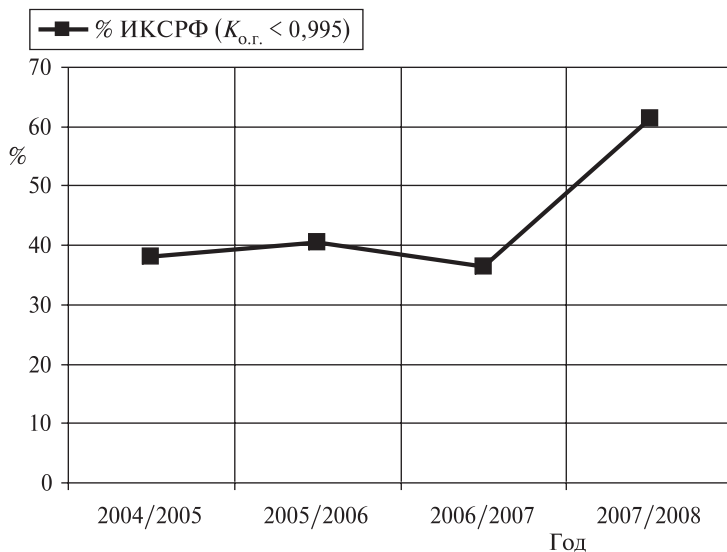


Рис. 6. Изменение процентного количества КСА ИКСРФ, на которых $K_{o.g.} < 0,995$, за период 01.07.2004 – 30.06.2008

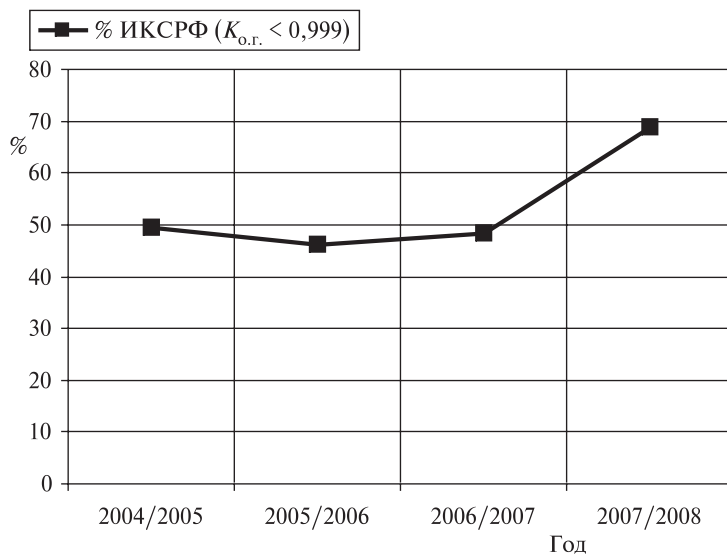


Рис. 7. Изменение процентного количества КСА ИКСРФ, на которых $K_{o.g.} < 0,999$, за период 01.07.2004 – 30.06.2008

Рассмотрим результаты вычислений, отображенных на рис. 4–7. Из рис. 5 видно, что за последний год отказы зафиксированы на всех КСА ИКСРФ, в то время как 4 года назад их было около 70 %. На рис. 4 заметна тенденция к снижению надежности на уровне КСА ИКСРФ Системы. На рисунке 6 показана динамика изменения процентного соотношения КСА ИКСРФ, на которых $K_{о.г.} < 0,995$ (соответствует суммарному времени простоя ПТС КСА более 44 часов в год и классу информационных систем повышенной готовности). Заметно, что относительное количество таких КСА в последний год превысило 60 %. Если же рассматривать КСА ИКСРФ как информационную систему высокой готовности ($K_{о.г.}$ не ниже 0,999, что соответствует суммарному времени простоя ПТС КСА не более 8,5 часов в год), то относительное количество КСА ИКСРФ, удовлетворяющих этому требованию, снизилось до 32 % (рис. 7).

1.3. Оценка показателей надежности уровня КСА территориальной избирательной комиссии (ТИК)

Похожая картина, наблюдается на КСА ТИК (рис. 8–10).

Упрощенная модель выглядит следующим образом:

$$K_{о.г. \text{ тик}} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{\text{тик}}} K_{о.г. \text{ тик } j}}{N_{\text{тик}}}.$$

Динамика изменения коэффициента оперативной готовности, полученного в результате проведенных расчетов, приведена на рис. 8. Результаты расчетов других показателей можно посмотреть в [2].

Из графика видно, что за последний год выросло относительное количество КСА ТИК (от их общего количества), на которых зафиксированы отказы программно-технических средств. Одновременно увеличилось количество КСА ТИК, которые не удовлетворяют показателям надежности для класса информационных систем обычной готовности.

1.4. Оценка показателей надежности ПСПД уровня территориальной избирательной комиссии — избирательной комиссии субъекта РФ

Модель надежности ПСПД уровня ТИК-ИКСРФ имеет вид

$$K_{о.г. \text{ пспд тик}} = C_1 K_{о.г. \text{ пспд тик } 1} + C_2 K_{о.г. \text{ пспд тик } 2},$$

где C_1 — процент избирателей, обслуживаемых с помощью модемных КС ($\sim 0,86$); C_2 — процент избирателей, обслуживаемых с помощью цифровых КС ($\sim 0,14$).

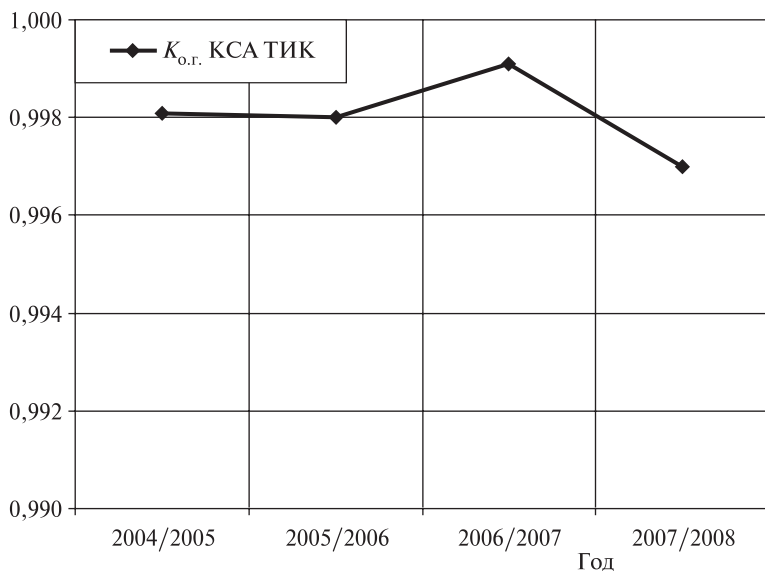


Рис. 8. Динамика показателя коэффициента оперативной готовности $K_{o.g.}$ уровня КСА ТИК за период 01.07.2004 – 30.06.2008

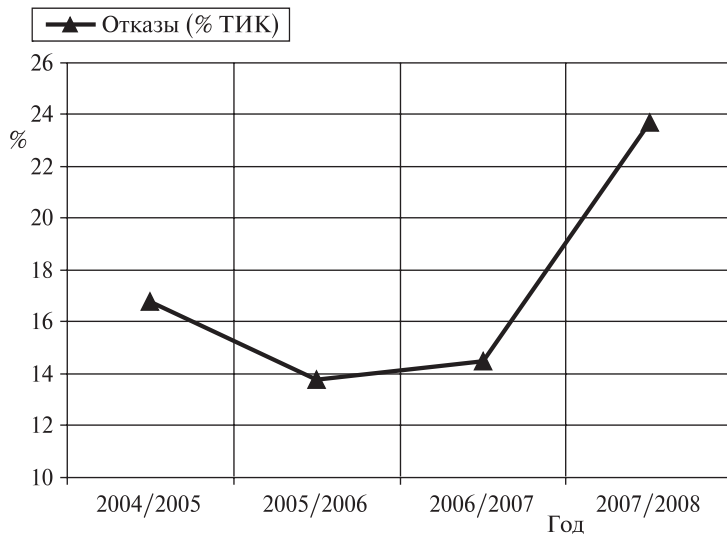


Рис. 9. Изменение процентного количества КСА ТИК, на которых зафиксированы отказы за период 01.07.2004 – 30.06.2008

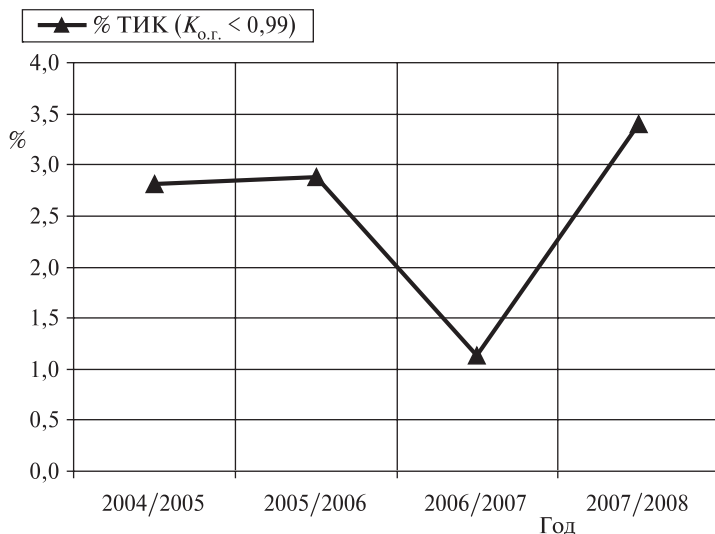


Рис. 10. Изменение процентного количества КСА ТИК, на которых $K_{o.g.} < 0,99$ (системы обычной готовности, время простоя не более 88 часов (3,5 суток) в год) за период 01.07.2004 – 30.06.2008

На основании данных, приведенных в отчетах об отказах и простоях оборудования ПСПД, был проведен анализ показателей надежности по пессимистической модели оценки надежности [1, 7] за период с 01.07.2007 по 30.06.2008. Надежность оборудования и каналов связи ПСПД остается на традиционно высоком уровне. Надежность оборудования и каналов связи уровня ПСПД ТИК ($K_{o.g.}$) остается на уровне 0,9949, что соответствует классу информационных систем высокой готовности (см. табл. 1, рис. 2).

Однако тут тоже есть небольшая тенденция к снижению показателей.

1.5. Оценка показателей надежности ПСПД уровня избирательной комиссии субъекта РФ — ЦИК

Модель надежности ПСПД уровня ИКСРФ-ЦИК имеет вид

$$K_{o.g. \text{ пспд тик}} = D_1 K_{o.g. \text{ пспд иксерф ц}} + D_2 K_{o.g. \text{ пспд иксерф сс}}$$

где D_1 — процент избирателей, обслуживаемых с помощью цифровых каналов связи (не менее 0,95); D_2 — процент избирателей, обслуживаемых с помощью системы спутниковой связи (менее 0,05).

Согласно расчетам по модели надежности на основании собранных данных об отказах и простоях оборудования и каналов связи ПСПД, показатели надежности немного снизились до уровня 0,9913, однако тенденция

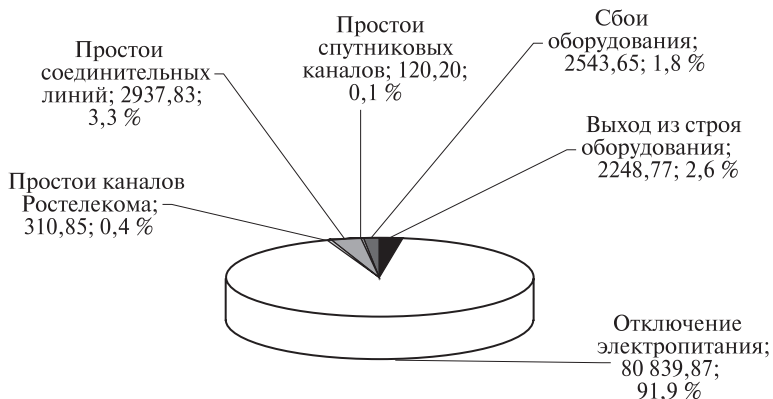


Рис. 11. Время простоя оборудования ПСПД ИКСРФ в часах в период 01.07.2007 – 30.06.2008

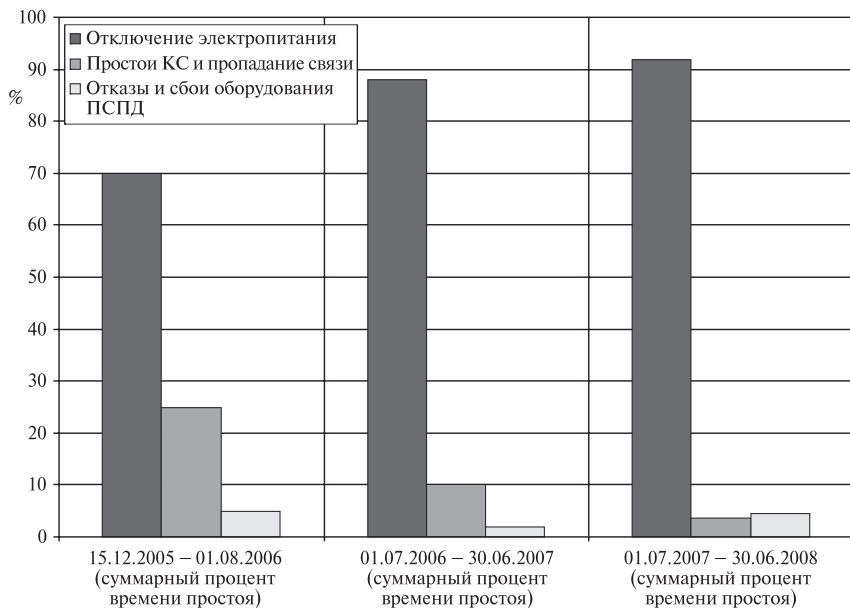


Рис. 12. Динамика основных причин простоя оборудования ПСПД ИКСРФ за период 15.12.2005 – 30.06.2008

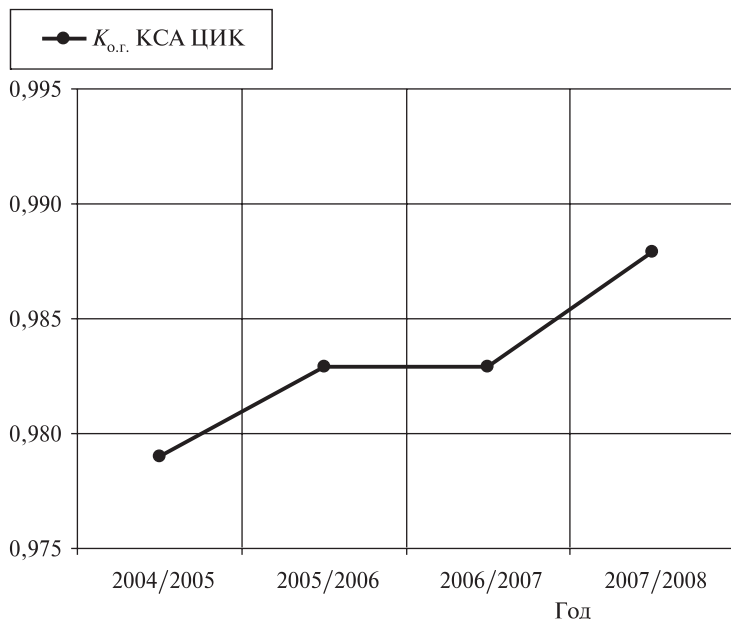


Рис. 13. Динамика показателя коэффициента оперативной готовности $K_{ог.}$ уровня КСА ТИК за период 01.07.2004 – 30.06.2008

к снижению пока незначительная (см. табл. 1, рис. 2). Основная причина снижения, так же как и для ТИК, — рост количества простоев ПСПД, связанных с отсутствием электропитания на объектах Системы.

Общая картина причин простоя показана на рис. 11, динамика простоев каналов связи за весь период обследования — на рис. 12.

Такая картина (рис. 12) может говорить о недостаточности средств энергозащитенности объектов комплексов средств автоматизации. Таким образом, исключив основную причину простоя оборудования и каналов связи — отключение электропитания, можно повысить надежность Системы в целом и всего слоя ПСПД в частности.

1.6. Оценка показателей надежности комплекса средств автоматизации ЦИК

После проведенной технической модернизации КСА ЦИК, целью которой было повышение надежности его программно-технических средств, согласно существующей статистике, на новых серверах не было зафиксировано ни отказов, ни сбоев ПО или оборудования. Проведенные расчеты надежности КСА показали, что относительно предыдущих периодов надежность повысилась (рис. 13).



Рис. 14. Динамика затрат на ремонт ПТС КСА

Расчеты проводились согласно модели надежности КСА ЦИК [1]:

$$K_{\text{о.г. цик}} = K_{\text{о.г. сегм. пспд}} \cdot K_{\text{о.г. сегм. крипто}} \cdot K_{\text{о.г. ЭП}} \cdot K_{\text{о.г. сегм. серверов}} \times \\ \times K_{\text{о.г. сои}} \cdot K_{\text{о.г. сегм. администраторов}} \cdot K_{\text{о.г. сегм. пользователей}}$$

Однако, какой бы совершенной не была техника, необходимо принимать организационные меры по защите объектов КСА ЦИК от влияния человеческого фактора и нестандартных ситуаций, в том числе и катастрофического характера. Как показывает практика, влияние человеческого фактора способно нанести существенный урон безопасности оборудования и данных даже при самой совершенной технике [2, глава 5].

1.7. Статистика по ремонту оборудования

Анализ динамики затрат на ремонт оборудования, выходящего из строя в процессе эксплуатации, показывает, что за последние годы они заметно увеличились (рис. 14), что естественно, поскольку оборудование имеет свойство стареть, следовательно, чаще отказывать.

Диаграмма изменения затрат по отдельным классам ПТС представлена на рис. 15.

При этом динамики количества обращений и средней удельной стоимости одного ремонта по этим же классам имеют вид, показанный на рис. 16 и 17.

Из графиков (рис. 14–16) видно, что в последнее время имеется устойчивая тенденция роста затрат на ремонт ПТС (причем явно превышающая динамику официальной инфляции) и обращений в ремонтные службы, особенно по таким классам ПТС, как персональные компьютеры — авто-

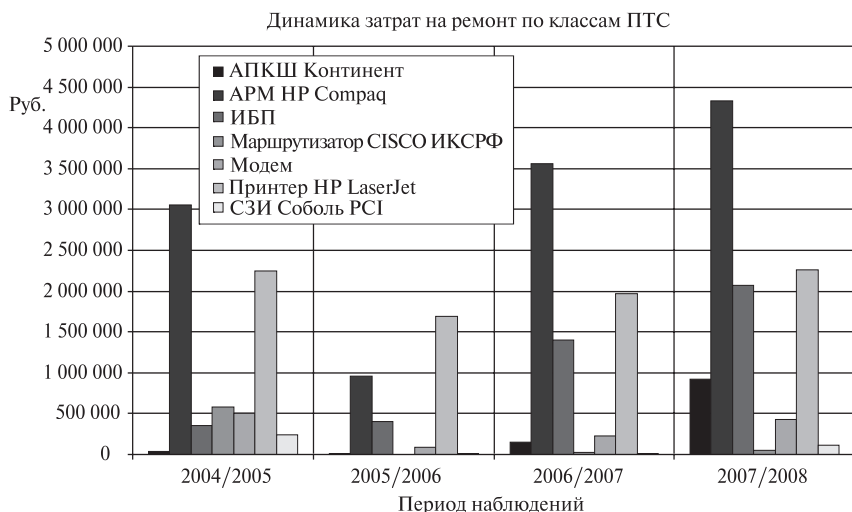


Рис. 15. Динамика затрат на ремонт по отдельным классам ПТС

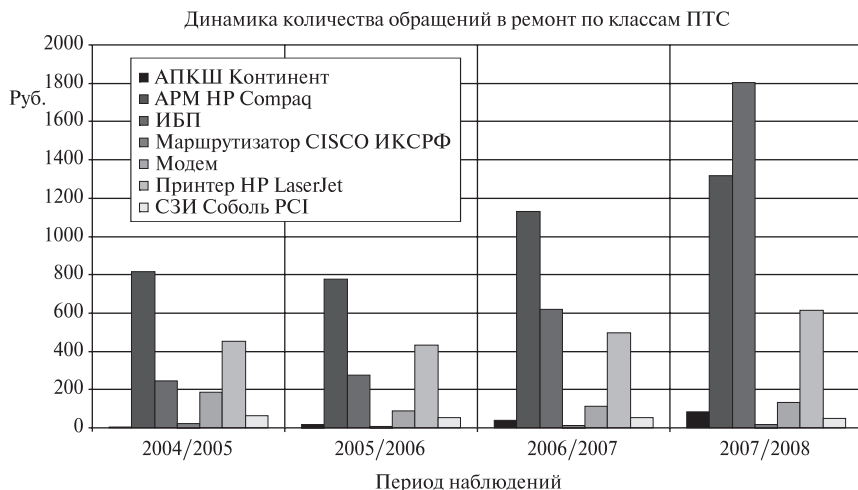


Рис. 16. Динамика количества обращений в ремонт по отдельным классам ПТС

материзированные рабочие места комплексов средств автоматизации ТИК и ИКСРФ, источники бесперебойного питания, принтеры, аппаратно-программные криптошлюзы «Континент», модемы.

Данная картина еще раз подтверждает необходимость изучения парка ПТС по вопросам его модернизации.

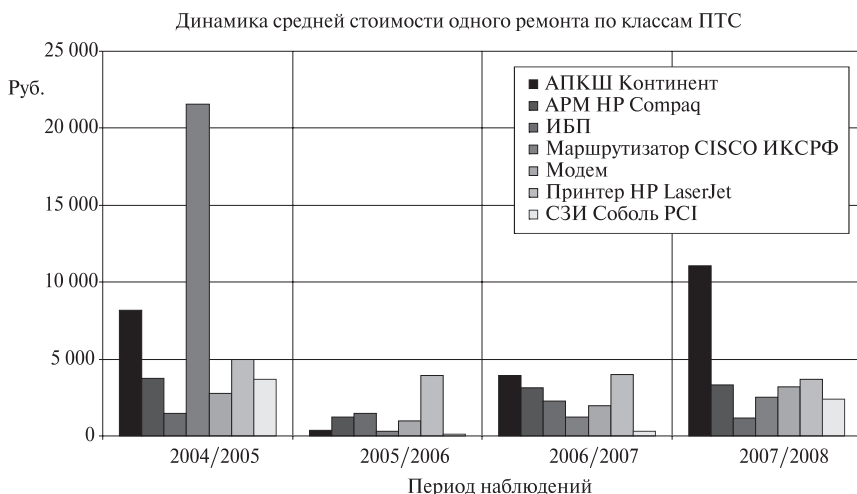


Рис. 17. Динамика средней стоимости одного ремонта по отдельным классам ПТС

Заключение

На основании проведенного факторного анализа надежности ГАС «Выборы» и ее отдельных узлов и уровней, выполненного с учетом межвыборного периода, были выработаны рекомендации, выполнение которых позволило бы провести работу по дополнительному выяснению причин снижения показателей надежности, а также осуществлению практических шагов для повышения надежности Системы в целом.

Основные положения по результатам проведенной работы:

- надежность ПТС ГАС «Выборы» снизилась. Одним из подтверждений этого утверждения является рост количества обращений в сервисные центры, особенно за период 2007–2008 годов, несмотря на то что частота проведения различного типа выборов и референдумов сократилась в связи с введением единого дня голосования;
- отмечено снижение показателей надежности КСА ТИК, что говорит о необходимости проведения исследований: парка ПТС, поскольку с достаточной большой вероятностью требуется его модернизация; влияния человеческого фактора на надежность ПТС КСА территориальной избирательной комиссии;
- все показатели надежности, кроме комплекса средств автоматизации ЦИК, прошедшего недавно модернизацию, имеют тенденцию к сниже-

нию, что требует разработки комплекса мер по повышению устойчивости Системы в целом к отказам и внешним воздействиям (энергозащищенность, влияние человеческого фактора и т. д.);

- необходимо провести обследование КСА ИКСРФ и разработать меры по повышению надежности ПТС, в частности, требуется изучение вопросов: влияние человеческого фактора на надежность техники; обновление серверов комплексов средств автоматизации и их автоматизированных рабочих мест; пересмотр состава резервируемых ПТС в сторону увеличения запасов резерва; энергозащищенность КСА ИКСРФ;
- необходимо разработать комплекс мер, направленных на снижение влияния внешних воздействий (отключение электропитания, влияние человеческого фактора) на надежность каналов связи и оборудования ПСПД.

Качественный скачок в сборе статистических данных по отказам и сбоям ПТС КСА произошел в 2005 году после принятия Федеральным центром информатизации при ЦИК России единой формы и порядка сбора данных статистики отказов, включающих возможность разделения отказов на отдельные потоки для проведения всестороннего анализа данных [1, 3]. Поэтому вероятность причины увеличения количества отказов, связанной с улучшением сбора данных, можно считать невысокой.

Из всего выше сказанного следует вывод о необходимости модернизации Системы в плане повышения ее надежности, особенно в части комплексов средств автоматизации ИКСРФ, а также исследования вопросов устойчивости Системы к внешним воздействиям, в частности к отключению электропитания и влиянию человеческого фактора.

Литература

1. Методика оценки надежности ГАС «Выборы» в целом (включая подсистему связи и передачи данных) при подготовке и проведении выборов и референдумов всех уровней, в том числе и совмещенных (п. 1.6 Календарного плана графика работ. Приложение № 3 к ДС № 04 от 05 июля 2005 г. к Контракту № 55/2П-2004 от 8 октября 2004 г.). ИСА РАН, 2005.
2. Анализ результатов научно-методологического сопровождения работ по электронному голосованию и информационному обеспечению подготовки и проведения выборов и референдумов в Российской Федерации с применением Государственной автоматизированной системы Российской Федерации «Выборы» в период с 2004 по 2008 г. (п. 1.7. Календарного плана работ. Приложение № 1 к ДС № 09 от 21 декабря 2007 г. к Контракту № 55/2П-2004 от 8 октября 2004 г.). ИСА РАН, 2008.
3. Оценка надежности и эффективности функционирования ГАС «Выборы» на основании разработанных методик с использованием новых статистических

- данных. Формирование предложений по развитию ГАС «Выборы» (п. 1.3. Календарного плана работ. Приложение № 1 к ДС № 06 от 30 июня 2006 г. к Контракту № 55/2П-2004 от 8 октября 2004 г.). ИСА РАН, 2006.
4. Сбор, обобщение и анализ данных (информации) о готовности ГАС «Выборы» к подготовке и проведению выборов депутатов ГД РФ, региональных выборов (п. 1.4 Календарного плана работ. Приложение № 1 к ДС № 07 от 22 декабря 2006 г. к Контракту № 55/2П-2004 от 8 октября 2004 г.). ИСА РАН, 2007.
 5. *Акимова Г. П., Соловьев А. В.* Методология оценки надежности иерархических информационных систем // Системный подход к управлению информацией / Труды ИСА РАН. М.: КомКнига/URSS, 2006. Т. 23. С. 18–47.
 6. Исследование влияния ручных операций на функционирование подсистем ГАС «Выборы», исследование влияния человеческого фактора на функционирование подсистем (п. 1.4. Календарного плана работ. Приложение № 1 к ДС № 05 от 22 декабря 2005 г. к Контракту № 55/2П-2004 от 8 октября 2004 г.). ИСА РАН, 2006.
 7. Методика оценки эффективности функционирования ГАС «Выборы» в целом (п. 1.6 Календарного плана графика работ. Приложение № 3 к ДС № 04 от 05 июля 2005 г. к Контракту № 55/2П-2004 от 8 октября 2004 г.). ИСА РАН, 2005.