

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ОБМЕНА ДАННЫМИ

*А.М. Усачев, Ю.И. Лосев, докт. техн. наук, О.А. Дробот*

*Харьковский институт Военно-Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба*

Статья посвящена вопросу оценки эффективности экспертной системы управления системой обмена данными специального назначения на основании анализа выбранных критериев в период ее создания.

\* \* \*

Стаття присвячена питанню оцінки ефективності експертної системи управління системою обміну даними спеціального призначення на підставі аналізу обраних критеріїв у період її створення.

\* \* \*

Clause is devoted to a question of an estimation of efficiency of an expert control system of system of an exchange of the data of special purpose on the basis of the analysis of the chosen criteria during its creation.

### Введение и постановка задачи

При создании реальной экспертной системы (ЭС), одним из важных вопросов является оценка ее эффективности на основании анализа выбранных критериев (среднего времени принятия решения и вероятности ошибки). Еще на этапе создания ЭС необходимо знать, как качество работы ЭС на различных этапах будет влиять на эффективность ее функционирования в целом. Для проведения такой оценки удобным представляется использование формализма вероятностно-временных графов [1].

### Разработка методики оценки эффективности ЭС управления СОД СН

Из анализа алгоритма работы ЭС системы обмена данными специального назначения (СОД СН) [2] можно выделить следующие ситуации. Начальное состояние  $O$  соответствующее поступлению диагностической информации о СОД СН в ЭС. В процессе функционирования алгоритма оценки ситуации, ЭС формируется заключение об одной из возможной сложившейся ситуации. При возникновении аномальной ситуации ЭС формирует альтернативы ликвидации возникших аномалий (согласно алгоритма принятия решения) в СОД СН. Так, ЭС за время  $t_1$  может выдвинуть с вероятностью  $P_1$  одну истинную или с вероятностью  $P_1'$  ложную альтернативу, с ве-

роятностью  $P_2$  выдвинуть две альтернативы, одна из которых истинная, или с вероятностью  $P_2'$  две ложные (вершины 2 и 2'), с вероятностью  $P_3$  выдвинуть три альтернативы, одна из которых истинная, или с вероятностью  $P_3'$  выдвинуть три ложные (вершины 3 и 3'). Для простоты возьмем число всех альтернатив равным 4, тогда ЭС с вероятностью  $P_4$  перейдет в вершину 4.

После первичной обработки ЭС может оказаться в одном из рассмотренных выше состояний. Процесс перехода в любое из вышеописанных состояний характеризует начало этапа отбраковки ложных альтернатив. Так, из вершины 4 за время  $t_2$  с вероятностью  $P_{43}$  ЭС может отбраковать ложную альтернативу и перейти в вершину 3 или с вероятностью  $1 - P_{43}$  забраковать истинную и перейти в вершину 3'. Аналогичным образом описываются переходы из вершин 3 и 2. Результатом данного этапа является одна оставшаяся после отбраковки альтернатива.

На этапе окончательного утверждения альтернативы ЭС за время  $t_3$  с вероятностью  $P_{nc}$  правильно согласовав фрейм и перейдет в вершину  $C$  (согласовано) или с вероятностью  $1 - P_{nc}$  перейти в вершину  $H$  (несогласованно), т.е. процесс согласования завершится неудачей и ЭС необходимо будет осуществить поиск более подходящего фрейма. В

результате поиска ЭС за время  $t_4$  с вероятностью  $P_{H\text{ БЗ}}$  (вероятность неполноты БЗ) перейдет в вершину  $I'$  или с вероятностью  $1 - P_{H\text{ БЗ}}$  ЭС обратится за помощью к оператору, который за время  $t_5$  введет дополнительные данные, которые позволят выдвинуть дополнительную альтернативу.

Если по результатам первичной обработки ЭС выдвинула ложную альтернативу, то с вероятностью  $1 - P_{np\ c}$  за время  $t_3$  ЭС поставит неправильный диагноз (переход в вершину  $C'$ ) или с вероятностью  $P_{np\ c}$  отбрасывает альтернативу и начнет поиск более подходящего фрейма (переход в вершину  $H$ ). В процессе поиска за время  $t_4$  с вероятностью  $P_{H\text{ БЗ}}$  ЭС найдет новый фрейм (вершина  $H\Phi$ ) или с вероятностью  $1 - P_{H\text{ БЗ}}$  ЭС обратится к оператору за помощью, что соответствует переходу в вершину  $O'$ . Если ЭС выдвинула новую альтернативу, то с вероятностью  $P_{H\Phi}$  (вероятность нахождения фрейма, адекватно описывающего ситуацию возникшую в сети) выдвинутая альтернатива будет верной, т.е. осуществится переход в вершину  $I$ , иначе переход в вершину  $I'$  с вероятностью  $(1 - P_{H\Phi})$ .

На работу ЭС СОД СН оказывает влияние вероятность возникновения в сети множественных отказов ( $P_{отк}$ ), поэтому на этапе окончательного принятия решения альтернатива может быть утверждена с вероятностью  $P_{отк}$  (переход от вершины  $C$  или  $C'$  соответственно в вершину  $\Pi_p$  или  $H_{np}$ ) или с вероятностью  $(1 - P_{отк})$  не утверждена (переход в вершину  $H$  или  $H'$ ), что приведет к поиску новой альтернативы согласно описанному выше.

Таким образом, предложенному ранее алгоритму соответствует ВВГ, изображенный на рис.1.

Введем обозначения для ВВГ на рис.1:

$$f_1 = P_1 Z^{t_1}; f_{1'} = P_{1'} Z^{t_1}; f_2 = P_2 Z^{t_1};$$

$$f_{2'} = P_{2'} Z^{t_1}; f_3 = P_3 Z^{t_1}; f_{3'} = P_{3'} Z^{t_1}; f_4 = P_4 Z^{t_1};$$

$$f_{4_3} = P_{4_3} Z^{t_2}; f_{4_3'} = (1 - P_{4_3}) Z^{t_2}; f_{3_2} = P_{3_2} Z^{t_2};$$

$$f_{3_2'} = (1 - P_{3_2}) Z^{t_2}; f_{2_1} = P_{2_1} Z^{t_2}; f_{2_1'} = (1 - P_{2_1}) Z^{t_2}$$

$$f_{3'2'} = f_{2_1'} = Z^{t_2}; f_{1_1} = f_{2_2} = (1 - P_{i\delta}) Z^{t_3};$$

$$f_{1_2} = f_{1_6} = (1 - P_{H\text{ БЗ}}) Z^{t_4+t_5}; f_{1_3} = f_{1_5} = P_{H\text{ БЗ}} Z^{t_4};$$

$$f_{1_4} = f_{2_5} = P_{np} Z^{t_3}; f_{1_7} = P_{H\Phi} Z^{t_1};$$

$$f_{1_8} = (1 - P_{H\Phi}) Z^{t_1}; f_{1_9} = P_{H\Phi} Z^{t_4}; f_{2_0} = (1 - P_{H\Phi}) Z^{t_4}$$

$$f_{2_3} = f_{2_4} = P_{отк}; f_{2_6} = f_{2_7} = (1 - P_{отк}).$$

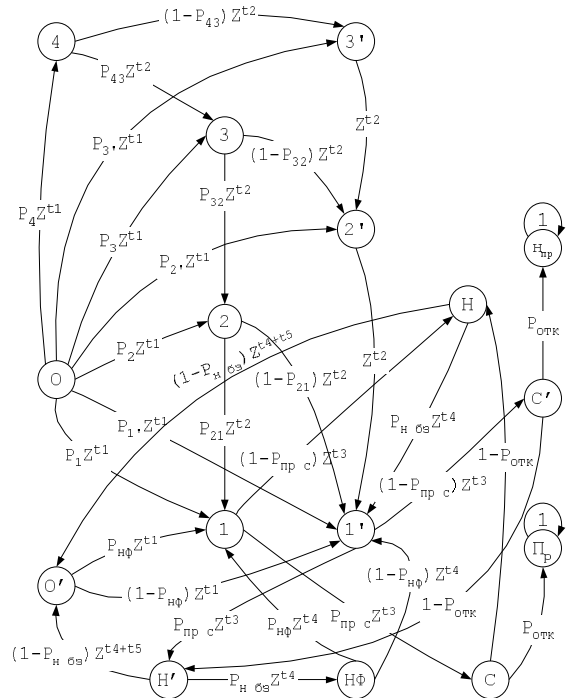


Рис.1. ВВГ оценки эффективности

После эквивалентных преобразований ВВГ будет иметь следующий вид (рис.2). На данном рисунке введены обозначения:

$$F_1 = f_4 f_{4_3'} f_{3_2'} f_{2_1'} + f_{3'} f_{3_2'} f_{2_1'} + f_4 f_{4_3} f_{3_2'} f_{2_1'} +$$

$$f_{2'} f_{2_1'} + f_{3'} f_{3_2'} f_{2_1'} + f_{3'} f_{3_2} f_{2_1'} + f_2 f_{2_1'} + f_1,$$

$$F_2 = f_4 f_{4_3} f_{3_2} f_{2_1} + f_3 f_{3_2} f_{2_1} + f_2 f_1 + f_1;$$

$$F_3 = f_1 f_{1_1} f_{1_3} + f_1 f_{1_1} f_{1_2} f_{1_8};$$

$$F_4 = f_1 f_{1_4} f_{1_5} f_{2_0} f_{2_6} + f_1 f_{1_4} f_{1_6} f_{1_8};$$

$$F_5 = f_1 f_{1_4} f_{1_6} f_{1_7} f_{2_7} + f_1 f_{1_4} f_{1_5} f_{1_7};$$

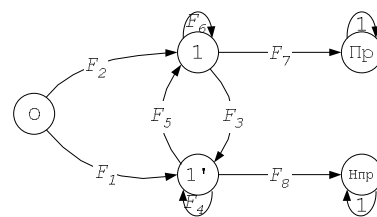


Рис.2. Промежуточное преобразование ВВГ

$$F_6 = f_1 f_{11} f_{12} f_{17} + f_1 f_{11} f_{13} f_{14} f_{16} f_{17} + f_1 f_{11} f_{13} f_{14} f_{15} f_{19}$$

$$F_7 = f_1 f_{25} f_{23};$$

$$F_8 = f_1 f_{22} f_{24}.$$

Окончательно преобразованный ВВГ изображен на рис.3.

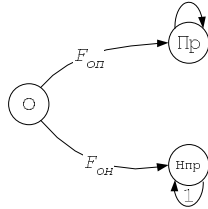


Рис.3.Окончательно преобразованный ВВГ

На данном рисунке введены обозначения:

$$F_{оп} = F_2 \frac{F_7}{1 - F_6} + F_1 \frac{F_5}{1 - F_4} \frac{F_7}{1 - F_6};$$

$$F_{он} = F_2 \frac{F_3}{1 - F_6} \frac{F_8}{1 - F_4} + F_1 \frac{F_8}{1 - F_4}.$$

Тогда среднее время работы ЭС можно найти по формуле 1, а вероятность ошибки по (2):

$$T_{cp} = \frac{d(F_{оп}(Z) + F_{он}(Z))}{dZ}, \text{ при } Z = 1, \quad (1)$$

$$P_{ош} = F_{он}(Z), \text{ при } Z = 1. \quad (2)$$

### Оценка эффективности экспертной системы

#### СОД СН

Работу ЭС СОД СН можно разбить на три этапа: выдвижения альтернатив, отбраковки ложных и принятия решения (утверждение альтернатив).

На первом этапе работу ЭС СОД СН определяют вероятности перехода из начальной вершины в вершины 1 (выдвинута одна истинная альтернатива), 1' (одна ложная), 2 (одна из двух истинная), 2' (две ложные), 3 (одна из трех истинная), 3' (три ложные), 4 (одна из четырех истинная) (соответственно  $P_1, P_1', P_2, P_2', P_3, P_3', P_4$ ). Если предположить, что ЭС СОД СН выдвигает альтернативу на основании хорошо изученной и ярко выраженной ситуации, то естественно предположить, что вероятности выдвижения одной из двух альтернатив включая истинную, будут велики. Если у рассматриваемой ситуации основные признаки соответствуют сразу нескольким различным состояниям контролируемых

объектов, то наибольшими будут вероятности выдвижения двух, трех или четырех альтернатив. Если ситуация, которая сложилась в СОД СН ранее не встречалась и знания о ней в БЗ не отражены, тогда вероятности выдвижения одной или двух альтернатив, включая истинную уменьшатся, остальные вероятности, в зависимости от выбранной стратегии выдвижения первичных альтернатив, также изменятся. Таким образом, не имея конкретной ситуации, разумнее всего было бы предположить, что возникновение всех вышеописанных ситуаций равновероятно, то есть  $P_1=P_1'=P_2=P_2'=P_3=P_3'=P_4$ . Однако необходимо знать, как влияет количество выдвинутых альтернатив, на эффективность функционирования ЭС. Поэтому, необходимо рассмотреть ситуации: более вероятное выдвижение одной альтернативы, т.е.  $P_1=P_1'=0,2$ , а остальные равновероятны, т.е. равны 0.1; более вероятное выдвижение двух альтернатив, т.е.  $P_2=P_2'=0,2$ , а остальные равны 0.1; более вероятное выдвижение трех альтернатив, т.е.  $P_3=P_3'=0,2$ , а остальные равны 0.1; более вероятное выдвижение четырех альтернатив, т.е.  $P_4=0,4$ , а остальные равны 0.1.

Второй этап характеризуют следующие вероятности переходов:  $P_{43}$  – вероятность отбраковки из четырех выдвинутых альтернатив ложной,  $P_{32}$  – вероятность отбраковки из трех имеющихся альтернатив одной ложной,  $P_{21}$  – вероятность отбраковки ложной альтернативы из двух имеющихся. Естественно предположить, что вероятности отбраковки ложных альтернатив ( $P_{43}, P_{32}, P_{21}$ ) должны быть больше 0,5. В противном случае можно сделать вывод, что эффективность алгоритма отбраковки будет ниже, чем отбрасывание ложной альтернативы по случайному закону. Предположим, что алгоритм выбора альтернатив не одинаково хорошо справляется с отбраковкой ложных альтернатив при разных возникших условиях. Тогда необходимо исследовать эффективность функционирования СОД СН при различных вероятностях ( $P_{43}, P_{32}, P_{21}$ ), но с вы-

шерассмотренной оговоркой. Поэтому, вероятности примем равными в пределах 0,6-0,9 (вероятность отбраковки ложных альтернатив не может быть равна 1, так как при отбраковке могут использоваться как неточные, так и неполные данные).

Третий этап характеризуется следующими вероятностями переходов: вероятность правильного согласования  $P_{пр\ c}$  и вероятность нахождения фрейма, адекватно описывающего ситуацию, возникшую в сети  $P_{нф}$ . Как и при анализе второго этапа, в данном случае естественно предположить, что вероятность  $P_{пр\ c}$  будет больше чем 0,5. Значения  $P_{пр\ c}$  определяются качественным и количественным составом признаков, используемых при утверждении альтернативы. Чем больше признаков, которые в большинстве случаев сопутствуют выдвинутой альтернативе, используются в процессе ее утверждения, тем выше  $P_{пр\ c}$ . И чем больше признаков, которые противоречат выдвинутой альтернативе, тем меньше  $P_{пр\ c}$ . Таким образом, если возникшая ситуация хорошо изучена и информация о ней содержится в БЗ ЭС СОД СН, то значение  $P_{пр\ c}$  будет довольно большим. Вероятность удачного завершения поиска верной альтернативой, вместо ранее выдвинутой ложной, определяется алгоритмом выдвижения альтернатив. Обычно вместо выдвинутой ложной альтернативы выдвигается следующая, которая имеет наибольшее число общих с ранее рассматриваемой альтернативой удачно согласованных признаков. Такой подход может обеспечить высокое значение. Таким образом, учитывая вышеизложенное и необходимость исследования влияния вероятностей  $P_{пр\ c}$  и  $P_{нф}$  на работу ЭС СОД СН примем равными их 0,6-0,9.

Кроме того, на работу ЭС СОД СН в целом влияет вероятность возникновения в сети множественных отказов ( $P_{отк}$ ), и вероятность неполноты БЗ ЭС ( $P_{н\ бз}$ ). Исходя из требований к надежности разрабатываемой системы и к полноте БЗ ЭС можно предположить, что вероятность возникновения множественных отказов  $P_{отк}$  и вероятность того, что

в БЗ возникшая ситуация не описана  $P_{н\ бз}$  очень малы. Поэтому примем значения этих вероятностей равными 0,1-0,4.

Задав время работы на отдельных этапах  $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$ , и используя формулы 4.1 и 4.2, можно определить среднее время работы ЭС и вероятность ошибки исходя из вышеизложенных допущений. Предположим, что весь рассматриваемый временной промежуток функционирования ЭС СОД СН состоящий из временных этапов рассмотренных выше, составляет  $T$ . Тогда можно записать, что  $t=C*T$ , где  $C$  – коэффициент отношения времени этапа функционирования ЭС к общему времени ее функционирования. Учитывая то, что этап отбраковки альтернатив (характеризуется  $t_2$ ) не сопряжен с поиском новых, в отличие от этапов выдвижения и утверждении альтернатив, то примем:  $t_1=0.3*T, t_2=0.1*T, t_3=0.3*T, t_4=0.3*T$ . Временной промежуток  $t_5$  гораздо больше других времен, т.к. характеризует процесс получения дополнительных данных либо от оператора либо из сети, поэтому примем  $t_5=1000*T$ .

Учитывая вышеизложенное и разработанные требования к ЭС (допустимое среднее время 62 с. и вероятность ошибки не более 0.1) рассмотрим влияние каждого из этапов на среднее время работы и вероятность ошибки. Используя математический пакет *MathCad* были построены зависимости  $T_{доп} > T_{ср} = f(T)$  и  $P_{ош}=f(P_{отк}, P_{н\ бз})$ .

Для первого этапа построенные зависимости отражены на рис.4 с учетом:  $P_{43}=P_{32}=P_{21}=0,6, P_{пр\ c}=P_{нф}=0,6$ . Из рис.4(а) видно, что наибольшее увеличение среднего времени происходит при выдвижении одной альтернативы, что связано с необходимостью досконального изучения возникшей ситуации в сети для выявления признаков, необходимых при ее поиске в БЗ. Учитывая допустимое время работы ЭС СОД СН и на основании построенной зависимости  $T_{ср} \leq 52$  с. Из рис.4(б) можно сделать вывод, что при увеличении  $P_{отк}$  и  $P_{н\ бз}$  увеличивается вероятность ошибки. Кроме того, уменьшение

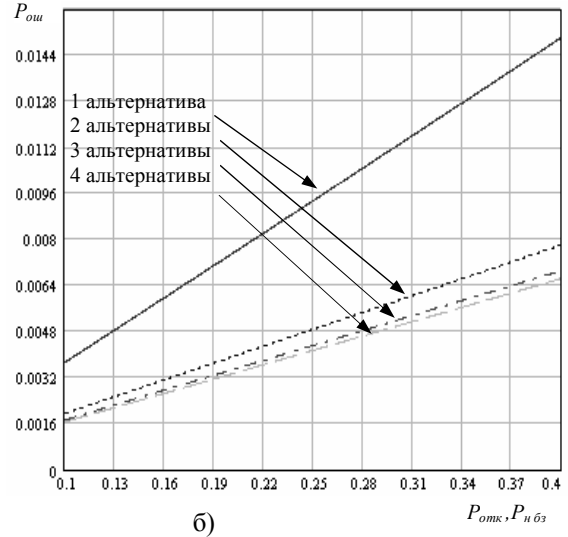
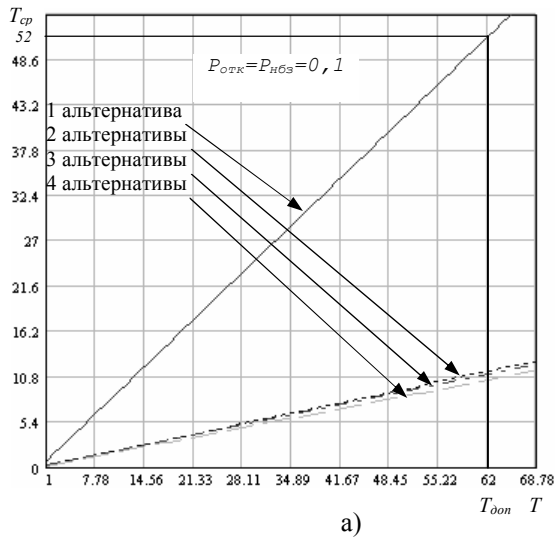


Рис.4. Зависимости влияния первого этапа

количества выдвигаемых альтернатив приводит к увеличению вероятности ошибки, что связано с достоверностью получаемых данных для их выдвижения. Однако при обоснованном выше интервале вероятностей  $P_{отк}$  и  $P_{нбз}$  вероятность ошибки не превышает допустимого для разного количества альтернатив.

Для второго этапа зависимости отражены на рис.5 с учетом:  $P_1=P_1'=P_2=P_2'=P_3=P_3'=P_4$ ,  $P_{прс}=P_{нф}=0,6$ . Зависимость на рис.5(а) и рис.5(б) отражают соответственно влияние вероятности отбраковки выдвинутых альтернатив на среднее время работы ЭС и вероятность ошибки. На рис.5(а) вид-

но, что увеличение среднего времени происходит при уменьшении вероятности отбраковки на всем временном промежутке работы ЭС. Учитывая ограничения и возможно худшее значение вероятности отбраковки выдвинутых альтернатив  $T_{cp} \leq 30$  с. Зависимость на рис.5(б) показывает увеличение вероятности ошибки (не превышающего допустимого значения) при уменьшении вероятности отбраковки на всем рассматриваемом промежутке изменения  $P_{отк}$  и  $P_{нбз}$ .

Для третьего этапа зависимости отражены на рис.6 с учетом:  $P_{43}=P_{32}=P_{21}=0,6$ ;  $P_1=P_1'=P_2=P_2'=P_3=P_3'=P_4$ . На данном этапе увели-

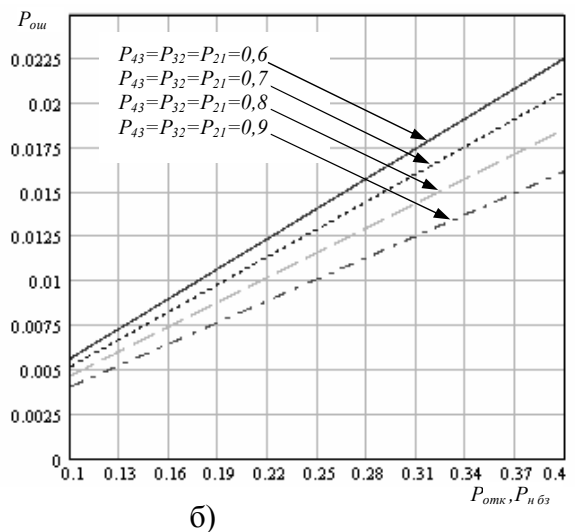
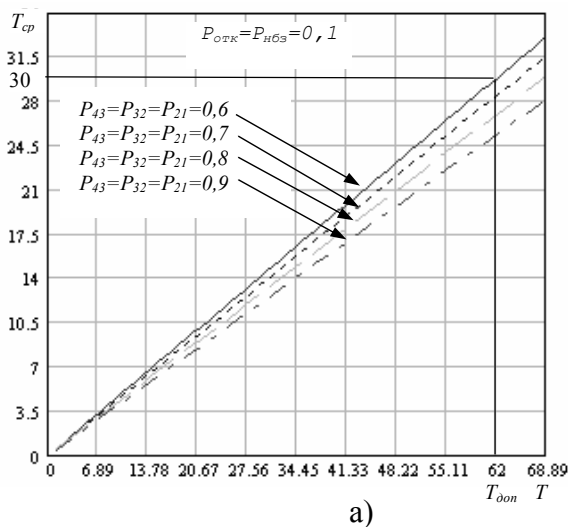


Рис.5. Зависимости влияния второго этапа

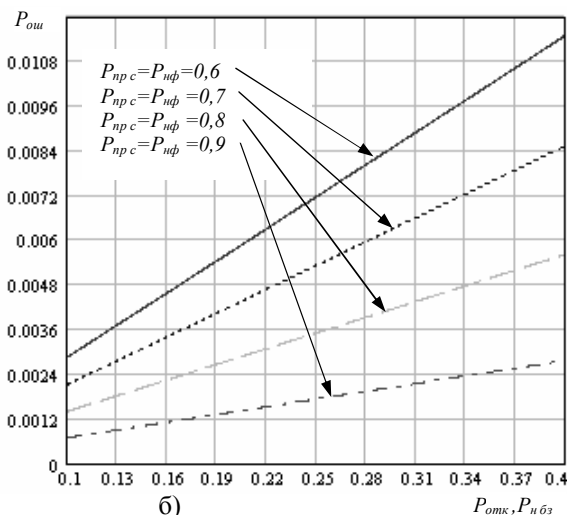
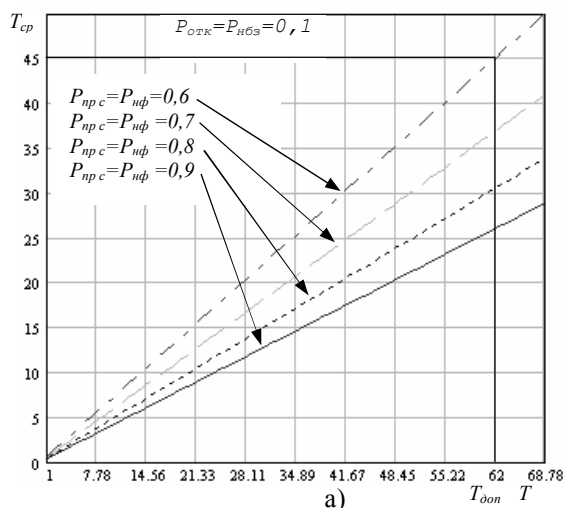


Рис.6.Зависимости влияния третьего этапа

чение среднего времени (рис.6(а)) и вероятности ошибки (рис.6(б)) происходит из-за уменьшения значений вероятностей  $P_{npc}$  и  $P_{nfb}$  в интервале обоснованном выше. Исходя из ограничения и возможно худших значений  $P_{npc}$  и  $P_{nfb}$ ,  $T_{cp} \leq 45$  с. Зависимость на рис.6(б) показывает увеличение вероятности ошибки, не превышающего допустимого значения, при возможно худших значениях  $P_{npc}$  и  $P_{nfb}$ .

### Вывод

1. В результате использования предложенной методики, можно оценить параметры характеризующие эффективность ЭС СОД СН на рассматриваемом этапе функционирования и сравнить с требованиями выдвигаемыми к ЭС в целом [3].

2. При соответствии ограничению по времени работы ЭС СОД СН ( $T_{дон} \leq 62$  с. [3]) среднее время работы будет не больше: при оценке влияния первого этапа 52 с., при оценке влияния второго этапа 30 с., при оценке влияния третьего этапа 45 с. Таким образом, наибольшее влияние на среднее время работы ЭС СОД СН оказывает этап выдвижения альтернатив и соответственно значение рассматриваемого параметра является истинным для ЭС в целом, т.е.  $T_{cp \text{ эс}} \leq 52$  с. Что касемо вероятности ошибки, то исходя из проведенного анализа влияния каждого из

этапов на данную вероятность она не будет хуже допустимого значения, т.е.  $P_{ош \text{ эс}} \leq 0.1$  [3].

### Литература

1. Адаптивная компенсация помех в каналах связи / Ю.И. Лосев, А.Г. Бердников, Э.Ш. Гойхман, Б. Д. Сизов; Под ред. Ю.И. Лосева. - М.: Радио и связь. 1988. - 208 с.: ил.

2. Усачев А.М. Методика оценки ситуации при управлении сетью обмена данными // Искусственный интеллект. - Донецк: Национальная академия наук Украины. Институт проблем искусственного интеллекта. - 2003. - С.91-102

3. Усачев А.М., Резцов В.Н. Разработка требований к экспертной системе поддержки принятия решения при управлении сетью обмена данными // Искусственный интеллект. - Донецк: Национальная академия наук Украины. Институт проблем искусственного интеллекта. - 2001. - С.27-34.

Поступила в редакцию 07.08.03

**Рецензент:** д-р техн. наук, профессор Бобыр Е.И., Харьковский институт Военно-Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, г. Харьков