

## Двухэтапная адаптивная экспертиза: анализ и оценка характеристик

М. А. М. Амран<sup>✉</sup>, Н. А. Назаренко, П. И. Падерно

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

✉ [mokhtar2011@gmail.com](mailto:mokhtar2011@gmail.com)

**Аннотация.** Рассмотрена двухэтапная экспертиза. Ее задачей служит отнесение изделия к одной из категорий: годных, негодных, а также имеющих устранимые недостатки (недочеты) – условно годных. Представлен общий алгоритм двухэтапной адаптивной экспертизы, на первом этапе которой проводится предварительная проверка, по результатам которой назначается еще одна (итоговая). При этом проверки второго этапа различны, так как зависят от решения, принятого в процессе проверки на первом этапе. Построен комплекс вероятностных матричных моделей, описывающих каждую отдельную проверку. Получен комплекс аналитических оценок, позволяющих характеризовать всю двухэтапную экспертизу в целом. Проведен анализ возможного варьирования характеристик отдельных проверок, в том числе исключения проверки второго этапа, проверяющей изделия, признанные негодными. Проведен анализ возможных рисков, обусловленных неправильным принятием решения, а также вызванных ими убытков. Приведена постановка задачи улучшения (некоторой локальной оптимизации) построения двухэтапного алгоритма экспертизы с учетом затрат ресурсов и возможных убытков. Проведена оценка стереотипности и логической сложности всего алгоритма реализации двухэтапной экспертизы. Полученные результаты позволяют сравнивать между собой различные методики проведения экспертизы, как двухэтапные, так и одноэтапные, с целью выбора наилучшей.

**Ключевые слова:** двухэтапная экспертиза, изделие, методики экспертизы, алгоритм, характеристики, вероятности, ошибки, годность, негодность, устранение, среднее время, ресурсы, убытки, стереотипность, логическая сложность, число операций

**Для цитирования:** Амран М. А. М., Назаренко Н. А., Падерно П. И. Двухэтапная адаптивная экспертиза: анализ и оценка характеристик // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2024. Т. 17, № 10. С. 68–79. doi: 10.32603/2071-8985-2024-17-10-68-79.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Original article

## Two-Stage Examination: Analysis and Evaluation of Characteristics

М. А. М. Amran<sup>✉</sup>, N. A. Nazarenko, P. I. Paderno

Saint Petersburg Electrotechnical University, Saint Petersburg, Russia

✉ [mokhtar2011@gmail.com](mailto:mokhtar2011@gmail.com)

**Abstract.** We consider a two-stage examination process, which is aimed at classifying products into one of the following categories: suitable, unsuitable, and conditionally suitable. The latter category includes products with removable deficiencies (shortcomings). A general algorithm for a two-stage adaptive examination is presented. The first stage involves a preliminary check, on which basis the subsequent (final) check is prescribed. In this case, the checks of the second stage can be different, depending on the decision made during the verification process at the first stage. A set of probabilistic matrix models is constructed to describe each individual test. A set of analytical assessments is obtained, making it possible to characterize the entire two-stage examination. An analysis of possible variations in the characteristics of individual checks is carried out, e. g., the exclusion of the second-stage check that examines products found unsuitable. An analysis of possible risks caused by incor-

rect decision making, as well as the resulting losses, is carried out. The problem of improving (local optimization) the construction of a two-stage examination algorithm, taking resource costs and possible losses into account, is formulated. An assessment of the stereotypicality and logical complexity of the entire algorithm for implementing a two-stage examination is carried out. The results obtained allow us to compare different examination methods, both two-stage and one-stage, in order to select the most optimal solution.

**Keywords:** two-stage examination, product, examination methods, algorithm, characteristics, probabilities, errors, suitability, unsuitability, elimination, average time, resources, losses, stereotypicality, logical complexity, number of operations

**For citation:** Amran M. A. M., Nazarenko N. A., Paderno P. I. Two-Stage Examination: Analysis and Evaluation of Characteristics // LETI Transactions on Electrical Engineering & Computer Science. 2024. Vol. 17, no. 10. P. 68–79. doi: 10.32603/2071-8985-2024-17-10-68-79.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflicts of interest.

**Введение.** Одна из основных проблем, как при производстве изделий различного назначения (Изделий), так при их проектировании, – проведение экспертиз по оценке соответствия комплекса некоторых частных показателей (метрологических, эргономических и др.) как требованиям (ожиданиям) Заказчика (потребителя), так и требованиям нормативно-технической документации (НТД). Такие экспертизы проводятся практически на всех этапах разработки (эскизный и технический проекты, разработка рабочей конструкторской и программной документации, опытного образца и т. д.), а также в процессе эксплуатации Изделия. При этом следует заметить, что недостатки проектирования (разработки), выявляемые при проведении экспертизы, могут быть как устранимыми на следующих стадиях разработки, так и неустраняемыми вследствие неправильных проектных и конструкторских решений. В то же время, экспертиза, проводимая в процессе эксплуатации Изделия, может быть направлена как на выявление недостатков (мелкие поломки, снижение эффективности или точности и др.) конкретного Изделия (диагностика), так и на выявление его неполного соответствия требованиям (ожиданиям) пользователей. В первом случае речь идет об оценке возможности (целесообразности) его восстановления, а во втором – о внесении изменений в проектную (возможно, в будущем) документацию. Таким образом, экспертиза направлена на всестороннюю оценку Изделия с целью принятия соответствующих решений о его дальнейшей судьбе (браковка, восстановление, развитие и др.) [1], [2].

При этом следует иметь в виду, что, несмотря на ряд объективных оценок отдельных характеристик Изделия (проекта), там всегда присутствует и некоторая субъективная составляющая, относящаяся к комплексной оценке всего вектора зна-

чений отдельных характеристик, а также к характеристикам, для которых отсутствуют объективные оценки. Таким образом, появляются различные риски, которые связаны как с неверным (неправильным) отнесением качественных (годных, исправных) Изделий к категории негодных (ложная браковка), так и риски, связанные с пропуском некачественного (негодного, неисправного) Изделия. Заметим, что в отличие от большинства контрольных операций с бинарным выходом (годен-негоден) в нашем случае по умолчанию закладывается и третья категория – условно годен – для Изделий, недочеты и недоработки, содержащиеся в которых, могут быть исправлены (устранены) в разумные сроки. Для снижения рисков и повышения качества процедуры контроля (экспертиз) необходимо правильно выбирать методику экспертизы. К сожалению, несмотря на различные подходы к оценке характеристик алгоритмов деятельности [3]–[6], на сегодняшний день для разных операций с тремя и более альтернативными выходами, о которых уже шла речь, аналитических выражений, определяющих отдельные характеристики экспертизы, не получено, а вопросы рисков и ущербов от неправильных решений при их проведении практически не поднимаются.

**Постановка задачи.** Рассмотрим многоступенчатую экспертизу, которая проводится после выполнения некоторой стадии создания Изделия. Если речь идет о стадии разработки, то процесс проектирования реализует заданный алгоритм создания некоторого Изделия (мало- или мелкосерийного) или Проекта, ошибка при выполнении которого может повлечь за собой весьма серьезные последствия [7]–[10]. Несмотря на ряд работ в области многоступенчатых экспертиз [2], [9]–[11], в настоящее время отсутствуют методы их объективного сравнения для выбора наилучшей в том или ином случае. При этом следует обратить особое внимание на те экспертизы, в которых ис-

пользование тех или иных проверок следующей ступени зависит от решения предыдущей (проведенной на предыдущем этапе), т. е. экспертизы в некотором смысле адаптивны.

*Замечание:* ввиду большого количества операций, выполняемых как рабочей, так и экспертной группами (измерительных, оценочных, принятия решений), кроме комплексных оценок безошибочности принятия решения в отдельных проверках и всей экспертизы в целом, для дальнейшего возможного улучшения (снижения вероятности ошибок) следует также проводить оценку не только среднего времени реализации и среднего затрачиваемого ресурса, но и показателей логической сложности и стереотипности всей многоэтапной экспертизы в целом.

**Общий случай (случай А).** Рассмотрим двухэтапную экспертизу Изделия. Эта экспертиза состоит из ряда диагностических процедур (проверок), по результатам каждой из которых анализируемое Изделие может быть отнесено к одной из следующих категорий:

1. Годно (Г) – исследуемое Изделие не только исправно, но и полностью соответствует требованиям НТД, техническому заданию (ТЗ) и ожиданиям конечных пользователей.

2. Условно годно (У) – Изделие имеет некоторые недочеты: не в полной мере удовлетворяет требованиям либо ТЗ, либо НТД, либо пользователей, но имеющиеся недоработки могут быть устранены в дальнейшем в разумные сроки.

3. Негодно (Н) – Изделие либо совершенно неисправно (брак), либо не только не удовлетворяет (частично или значительно) требованиям ТЗ, НТД или требованиям пользователей, но и не может быть улучшено (неисправности и недоработки не могут быть устранены) в разумные сроки.

Предполагается, что двухэтапная экспертиза, реализуемая, в том числе, и в процессе создания Изделия, позволит более точно и объективно оценить качество не только Изделия, но и отдельных реализованных технических, программно-информационных, организационных и других решений [7], [8].

*Замечание:* Изделие, отнесенное по результатам первого этапа экспертизы к определенной категории (Г, У или Н), независимо проходит еще одну проверку на втором этапе. При этом каждая из проверок второго этапа может меняться в зависимости от принятых первоначальных решений, что и характеризует *адаптивность* рассматриваемой двухэтапной экспертизы. По результатам второго этапа принимается окончательное решение по отнесению Изделия (проекта) к конкретной категории.

Модель алгоритма (структуры) двухэтапной адаптивной экспертизы, содержащей соответствующие частные проверки, в обозначениях обобщенного структурного метода [3], [4] представлена на рис. 1.

Наличие различных частных проверок  $\mathcal{E}_{A1}$ ,  $\mathcal{E}_{A2}$ ,  $\mathcal{E}_{A3}$ ,  $\mathcal{E}_{A4}$  в двухэтапной экспертизе обусловлено целесообразностью проведения проверок первого и второго этапов различными способами для повышения качества полученных результатов, а также снижения вероятности ошибочной браковки нормальных (годных) Изделий, а также признания годными негодных Изделий.

При проведении проверок  $\mathcal{E}_{A2}$ ,  $\mathcal{E}_{A3}$ ,  $\mathcal{E}_{A4}$  на втором этапе предполагается, что принадлежность Изделия к категории «годные», «условно годные», «негодные» не изменилась в результате проверки первого этапа, и проверки второго этапа тестируют Изделие (проект), невзирая на результаты проверки, проведенной на первом этапе.

Однако в действительности проверки второго этапа по умолчанию различаются по своим целям:

– проверка  $\mathcal{E}_{A2}$  должна в основном проверить действительно ли Изделие относится к категории *годных*, т. е. практически не имеет недостатков (недоработки, недочеты, мелкие нарушения требований и т. п.);

– проверка  $\mathcal{E}_{A3}$  должна установить, правильно ли выявлены недостатки и могут ли эти недо-

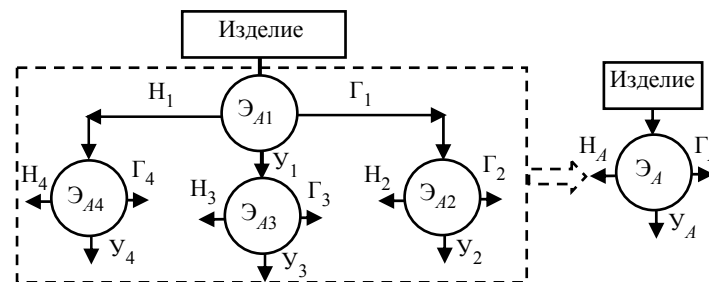


Рис. 1. Двухэтапная экспертиза (общее представление)  
Fig. 1. Two-stage examination (general presentation)

статки (недоработки) быть устранены в дальнейшем в разумные сроки;

– проверка  $\mathcal{E}_{A4}$  должна провести тщательный анализ выявленных недостатков с целью установить, правильно ли они определены и нельзя ли их устранить (может быть в дальнейшем) в разумные сроки и с учетом возрастания расхода различных ресурсов.

Штриховая стрелка и укрупненная экспертиза  $\mathcal{E}_A$  на рис. 1 означают прогнозируемую возможность сведения анализируемого алгоритма двухэтапной экспертизы к некоторой укрупненной экспертизе с последующим вычислением ее вероятностных характеристик [3], [4].

*Замечание:* ввиду того, что все проверки, входящие в экспертизу, выполняются по определенным алгоритмам (методикам), включающим как рутинные (выполняемые рабочей группой), так и творческие (выполняемые экспертами) операции, то для укрупненной операции (алгоритма) понадобятся также оценки стереотипности и логической сложности.

К исходным данным для оценки эффективности, ресурсоемкости и других характеристик двухэтапной экспертизы качества Изделия относятся следующие:

1. Вероятностные характеристики – вектор вероятностей  $\beta = (\beta_1, \beta_2, \beta_3)$ , с которыми в реальности Изделие принадлежит к одной из перечисленных категорий: с вероятностью  $\beta_1$  – к категории годных  $\Gamma_0$ , с вероятностью  $\beta_2$  – к категории условно годных  $Y_0$ , с вероятностью  $\beta_3$  – к категории негодных  $H_0$ ,  $\left( \sum_{i=1}^3 \beta_i = 1, \beta_i \geq 0 \right)$ .

2. Вероятностные характеристики проверок  $\mathcal{E}_{A1}, \mathcal{E}_{A2}, \mathcal{E}_{A3}, \mathcal{E}_{A4}$  (вероятностные матрицы  $\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \mathbf{P}_3, \mathbf{P}_4$ ), реализующих проверку Изделия на принадлежность к определенной категории:

$$\mathbf{P}_{A1} = \begin{pmatrix} p_{A1}^{11} & p_{A1}^{12} & p_{A1}^{13} \\ p_{A1}^{21} & p_{A1}^{22} & p_{A1}^{23} \\ p_{A1}^{31} & p_{A1}^{32} & p_{A1}^{33} \end{pmatrix}; \mathbf{P}_{A2} = \begin{pmatrix} p_{A2}^{11} & p_{A2}^{12} & p_{A2}^{13} \\ p_{A2}^{21} & p_{A2}^{22} & p_{A2}^{23} \\ p_{A2}^{31} & p_{A2}^{32} & p_{A2}^{33} \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{P}_{A3} = \begin{pmatrix} p_{A3}^{11} & p_{A3}^{12} & p_{A3}^{13} \\ p_{A3}^{21} & p_{A3}^{22} & p_{A3}^{23} \\ p_{A3}^{31} & p_{A3}^{32} & p_{A3}^{33} \end{pmatrix}; \mathbf{P}_{A4} = \begin{pmatrix} p_{A4}^{11} & p_{A4}^{12} & p_{A4}^{13} \\ p_{A4}^{21} & p_{A4}^{22} & p_{A4}^{23} \\ p_{A4}^{31} & p_{A4}^{32} & p_{A4}^{33} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $p_{Ai}^{jm}$  – вероятность того, что проверка  $\mathcal{E}_{Ai}$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) отнесла Изделие к категории  $S_m$ , хотя на самом деле Изделие принадлежит категории  $S_j$  ( $j, m = 1, 2, 3$ );

3. Ресурсные характеристики каждой из проверок как первого, так и второго этапов  $\mathcal{E}_{A1}, \mathcal{E}_{A2}, \mathcal{E}_{A3}, \mathcal{E}_{A4}$  (соответствующее затрачиваемое время на проверку ( $T_{A1}, T_{A2}, T_{A3}, T_{A4}$ ) и ресурсоемкость (может быть, стоимость) ( $R_{A1}, R_{A2}, R_{A3}, R_{A4}$ )).

4. Число операций в каждой из проверок  $\mathcal{E}_{A1}, \mathcal{E}_{A2}, \mathcal{E}_{A3}, \mathcal{E}_{A4} - n_{A1}, n_{A2}, n_{A3}, n_{A4}$ , а также соответствующие показатели стереотипности ( $Z_{A1}, Z_{A2}, Z_{A3}, Z_{A4}$ ) и логической сложности ( $L_{A1}, L_{A2}, L_{A3}, L_{A4}$ ).

**Вывод общих формул для двухэтапной экспертизы. Этап 1.** По алгоритму двухэтапной экспертизы (см. рис. 1) с использованием вероятностных характеристик (1) составляется дерево вероятностей для общего случая. Ввиду отсутствия достаточного места на рис. 2 представлен

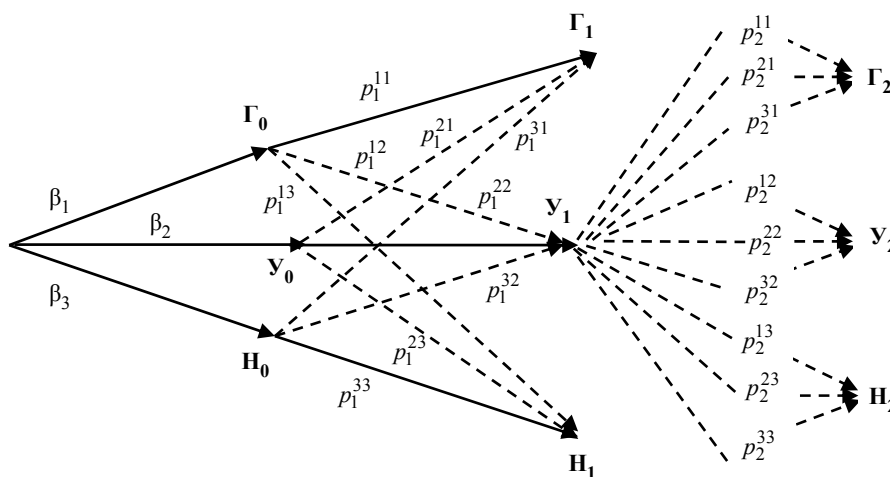


Рис. 2. Фрагмент дерева вероятностей для двухэтапной экспертизы  
Fig. 2. Fragment of a probability tree for two-stage examination

фрагмент дерева вероятностей, в котором отсутствуют переходы из состояний  $\Gamma_1$  и  $H_1$ , а также привязка соответствующих вероятностей к общему случаю (отсутствует индекс  $A$ ).

*Этап 2.* Составляется таблица возможных ситуаций по результатам экспертизы на основе полученного дерева вероятностей (рис. 2, табл. 1).

*Замечание:* обозначение  $X/Y$  означает отнесение Изделия к категории  $X$ , хотя на самом деле Изделие принадлежит категории  $Y$ .

*Этап 3. Получение расчетных зависимостей.*

3.1. Формирование матрицы укрупненной экспертизы  $\mathbf{P}_A$

$$\mathbf{P}_A = \begin{pmatrix} p_A^{11} & p_A^{12} & p_A^{13} \\ p_A^{21} & p_A^{22} & p_A^{23} \\ p_A^{31} & p_A^{32} & p_A^{33} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

элементы которой могут быть вычислены по следующим формулам:

*Табл. 1.* Возможные ситуации по результатам экспертиз  
*Tab. 1.* Possible situations based on examination results

№ п/п	Реальная категория	Категория по результатам	Ситуация (траектория результатов экспертиз)	Результаты экспертизы	Вероятность
1	Г	Г	$\Gamma_0\Gamma_1\Gamma_2$	Г/Г	$\beta_1 p_1^{11} p_2^{11}$
2	Г	Г	$\Gamma_0\Upsilon_1\Gamma_3$	Г/Г	$\beta_1 p_1^{12} p_3^{11}$
3	Г	Г	$\Gamma_0H_1\Gamma_4$	Г/Г	$\beta_1 p_1^{13} p_4^{11}$
4	У	Г	$\Upsilon_0\Gamma_1\Gamma_2$	Г/У	$\beta_2 p_1^{21} p_2^{21}$
5	У	Г	$\Upsilon_0\Upsilon_1\Gamma_3$	Г/У	$\beta_2 p_1^{22} p_3^{21}$
6	У	Г	$\Upsilon_0H_1\Gamma_4$	Г/У	$\beta_2 p_1^{23} p_4^{21}$
7	Н	Г	$H_0\Gamma_1\Gamma_2$	Г/Н	$\beta_3 p_1^{31} p_2^{31}$
8	Н	Г	$H_0\Upsilon_1\Gamma_3$	Г/Н	$\beta_3 p_1^{32} p_3^{31}$
9	Н	Г	$H_0H_1\Gamma_4$	Г/Н	$\beta_3 p_1^{33} p_4^{31}$
10	Г	У	$\Gamma_0\Gamma_1\Upsilon_2$	У/Г	$\beta_1 p_1^{11} p_2^{22}$
11	Г	У	$\Gamma_0\Upsilon_1\Upsilon_3$	У/Г	$\beta_1 p_1^{12} p_3^{12}$
12	Г	У	$\Gamma_0H_1\Upsilon_4$	У/Г	$\beta_1 p_1^{13} p_4^{12}$
13	У	У	$\Upsilon_0\Gamma_1\Upsilon_2$	У/У	$\beta_2 p_1^{21} p_2^{22}$
14	У	У	$\Upsilon_0\Upsilon_1\Upsilon_3$	У/У	$\beta_2 p_1^{22} p_3^{22}$
15	У	У	$\Upsilon_0H_1\Upsilon_4$	У/У	$\beta_2 p_1^{23} p_4^{22}$
16	Н	У	$H_0\Gamma_1\Upsilon_2$	У/Н	$\beta_3 p_1^{31} p_2^{32}$
17	Н	У	$H_0\Upsilon_1\Upsilon_3$	У/Н	$\beta_3 p_1^{32} p_3^{32}$
18	Н	У	$H_0H_1\Upsilon_4$	У/Н	$\beta_3 p_1^{33} p_4^{32}$
19	Г	Н	$\Gamma_0\Gamma_1H_2$	Н/Г	$\beta_1 p_1^{11} p_2^{13}$
20	Г	Н	$\Gamma_0\Upsilon_1H_3$	Н/Г	$\beta_1 p_1^{12} p_3^{13}$
21	Г	Н	$\Gamma_0H_1H_4$	Н/Г	$\beta_1 p_1^{13} p_4^{13}$
22	У	Н	$\Upsilon_0\Gamma_1H_2$	Н/У	$\beta_2 p_1^{21} p_2^{23}$
23	У	Н	$\Upsilon_0\Upsilon_1H_3$	Н/У	$\beta_2 p_1^{22} p_3^{23}$
24	У	Н	$\Upsilon_0H_1H_4$	Н/У	$\beta_2 p_1^{23} p_4^{23}$
25	Н	Н	$H_0\Gamma_1H_2$	Н/Н	$\beta_3 p_1^{31} p_2^{33}$
26	Н	Н	$H_0\Upsilon_1H_3$	Н/Н	$\beta_3 p_1^{32} p_3^{33}$
27	Н	Н	$H_0H_1H_4$	Н/Н	$\beta_3 p_1^{33} p_4^{33}$

$$\begin{aligned}
 p_A^{11} &= p_1^{11} p_2^{11} + p_1^{12} p_3^{11} + p_1^{13} p_4^{11}, & p_A^{12} &= p_1^{11} p_2^{12} + p_1^{12} p_3^{12} + p_1^{13} p_4^{12}, & p_A^{13} &= p_1^{11} p_2^{13} + p_1^{12} p_3^{13} + p_1^{13} p_4^{13}, \\
 p_A^{21} &= p_1^{21} p_2^{21} + p_1^{22} p_3^{21} + p_1^{23} p_4^{21}, & p_A^{22} &= p_1^{21} p_2^{22} + p_1^{22} p_3^{22} + p_1^{23} p_4^{22}, & p_A^{23} &= p_1^{21} p_2^{23} + p_1^{22} p_3^{23} + p_1^{23} p_4^{23}, \\
 p_A^{31} &= p_1^{31} p_2^{31} + p_1^{32} p_3^{31} + p_1^{33} p_4^{31}, & p_A^{32} &= p_1^{31} p_2^{32} + p_1^{32} p_3^{32} + p_1^{33} p_4^{32}, & p_A^{33} &= p_1^{31} p_2^{33} + p_1^{32} p_3^{33} + p_1^{33} p_4^{33}.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Покажем, что матрица  $\mathbf{P}_A$  из (2) и (3) – вероятностная, т. е. сумма элементов каждой строки равна 1, так как неотрицательность элементов следует из (3):

$$\begin{aligned}
 p_A^{11} + p_A^{12} + p_A^{13} &= p_1^{11} p_2^{11} + p_1^{12} p_3^{11} + p_1^{13} p_4^{11} + \\
 &+ p_1^{11} p_2^{12} + p_1^{12} p_3^{12} + p_1^{13} p_4^{12} + p_1^{11} p_2^{13} + p_1^{12} p_3^{13} + \\
 &+ p_1^{13} p_4^{13} = p_1^{11} (p_2^{11} + p_2^{12} + p_2^{13}) + \\
 &+ p_1^{12} (p_3^{11} + p_3^{12} + p_3^{13}) + p_1^{13} (p_4^{11} + p_4^{12} + p_4^{13}) = \\
 &= p_1^{11} + p_1^{12} + p_1^{13} = 1; \\
 p_A^{21} + p_A^{22} + p_A^{23} &= p_1^{21} p_2^{21} + p_1^{22} p_3^{21} + p_1^{23} p_4^{21} + \\
 &+ p_1^{21} p_2^{22} + p_1^{22} p_3^{22} + p_1^{23} p_4^{22} + p_1^{21} p_2^{23} + p_1^{22} p_3^{23} + \\
 &+ p_1^{23} p_4^{23} = p_1^{21} (p_2^{21} + p_2^{22} + p_2^{23}) + \\
 &+ p_1^{22} (p_3^{21} + p_3^{22} + p_3^{23}) + p_1^{23} (p_4^{21} + p_4^{22} + p_4^{23}) = \\
 &= p_1^{21} + p_1^{22} + p_1^{23} = 1; \\
 p_A^{31} + p_A^{32} + p_A^{33} &= p_1^{31} p_2^{31} + p_1^{32} p_3^{31} + p_1^{33} p_4^{31} + \\
 &+ p_1^{31} p_2^{32} + p_1^{32} p_3^{32} + p_1^{33} p_4^{32} + p_1^{31} p_2^{33} + p_1^{32} p_3^{33} + \\
 &+ p_1^{33} p_4^{33} = p_1^{31} (p_2^{31} + p_2^{32} + p_2^{33}) + \\
 &+ p_1^{32} (p_3^{31} + p_3^{32} + p_3^{33}) + p_1^{33} (p_4^{31} + p_4^{32} + p_4^{33}) = \\
 &= p_1^{31} + p_1^{32} + p_1^{33} = 1.
 \end{aligned}$$

Вычислим ресурсные характеристики, а также показатели стереотипности и логической сложности [5], [12] всего алгоритма двухэтапной экспертизы. Для упрощения получения перечисленных характеристик представим рис. 1 в виде рис. 3.

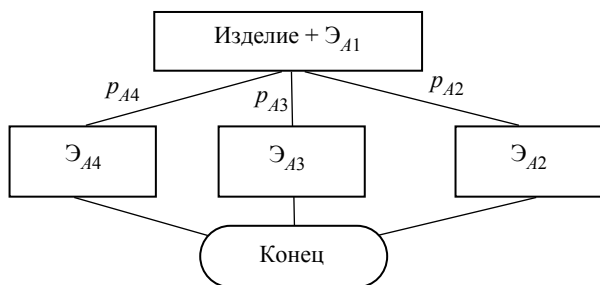


Рис. 3. Двухэтапная экспертиза  
Fig. 3. Two-stage examination

Значения вектора вероятностей  $\mathbf{p} = (p_{A2}, p_{A3}, p_{A4})$  можно получить в матричном  $\mathbf{p} = \beta \mathbf{P}_{A1}$  или в явном виде:

$$\begin{aligned}
 p_{A2} &= \beta_1 p_1^{11} + \beta_2 p_1^{21} + \beta_3 p_1^{31}, \\
 p_{A3} &= \beta_1 p_1^{12} + \beta_2 p_1^{22} + \beta_3 p_1^{32}, \\
 p_{A4} &= \beta_1 p_1^{13} + \beta_2 p_1^{23} + \beta_3 p_1^{33}.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Исходя из (4), среднее время и средний ресурс (стоимость), затрачиваемые на всю двухэтапную экспертизу, могут быть вычислены по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
 T_A &= T_{A1} + T_{A2} p_{A2} + T_{A3} p_{A3} + T_{A4} p_{A4}; \\
 R_A &= R_{A1} + R_{A2} p_{A2} + R_{A3} p_{A3} + R_{A4} p_{A4}.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

В свою очередь, среднее число выполняемых операций при двухэтапной экспертизе может быть найдено по формуле

$$n_A = n_{A1} + n_{A2} p_{A2} + n_{A3} p_{A3} + n_{A4} p_{A4}. \tag{6}$$

Используя соотношение (6), можно получить значения коэффициентов стереотипности и логической сложности для всего алгоритма реализации двухэтапной адаптивной экспертизы общего вида:

$$\begin{aligned}
 Z_A &= (Z_{A1} n_{A1} + Z_{A2} n_{A2} p_{A2} + Z_{A3} n_{A3} p_{A3} + \\
 &+ Z_{A4} n_{A4} p_{A4}) / n_A; \\
 L_A &= (L_{A1} n_{A1} + L_{A2} n_{A2} p_{A2} + L_{A3} n_{A3} p_{A3} + \\
 &+ L_{A4} n_{A4} p_{A4}) / n_A.
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

По результатам оценки коэффициентов стереотипности и логической сложности укрупненного алгоритма экспертизы, полученные по (7), в соответствии с НТД проводят сравнение полученных значений коэффициентов с критическими значениями  $Z_M \leq 0.85$ ,  $L_M \leq 0.2$ , по результатам которого принимается решение о соответствии/несоответствии всего алгоритма двухступенчатой экспертизы требованиям соответствующих НТД.

**Анализ полученных соотношений.** Ошибка вида Н/Г, т. е. браковка хорошего изделия, обуславливает потерю стоимости Изделия (цена данного риска), в то время как ошибка вида Г/Н, т. е. пропуск негодного Изделия, может обойтись значительно дороже.

Для случаев, когда при проверке возможны любые ошибки, при формировании состава и структуры двухэтапной экспертизы, следует принимать во внимание не только средний расход

ресурсов, но и возможные убытки от принятия неправильных решений. Для этого следует оценивать не только средний риск, но и некоторый средний доход.

Введем в рассмотрение следующие характеристики доходов (от правильного отнесения Изделия к некоторой категории) –  $D_{\Gamma/\Gamma}$ ,  $D_{\Upsilon/\Upsilon}$ ,  $D_{\text{H}/\text{H}}$ , а также штрафы за неправильное определение категории изделия, т. е. расходы, связанные с возможными последствиями различных ошибок –  $R_{\Gamma/\Upsilon}$ ,  $R_{\Gamma/\text{H}}$ ,  $R_{\Upsilon/\Gamma}$ ,  $R_{\Upsilon/\text{H}}$ ,  $R_{\text{H}/\Gamma}$ ,  $R_{\text{H}/\Upsilon}$ .

Из табл. 1 для общего случая (случай А) можно получить вероятности реальных категорий (соответствующих событий), исключая из соответствующей суммы вероятности истинных категорий:

$$\begin{aligned} p_{\Gamma/\Gamma} &= p_1^{11} p_2^{11} + p_1^{12} p_3^{11} + p_1^{13} p_4^{11} = p_A^{11}, \\ p_{\Upsilon/\Upsilon} &= p_1^{21} p_2^{22} + p_1^{22} p_3^{22} + p_1^{23} p_4^{22} = p_A^{22}, \\ p_{\text{H}/\text{H}} &= p_1^{31} p_2^{33} + p_1^{32} p_3^{33} + p_1^{33} p_4^{33} = p_A^{33}, \\ p_{\Gamma/\Upsilon} &= p_1^{21} p_2^{21} + p_1^{22} p_3^{21} + p_1^{23} p_4^{21} = p_A^{21}, \\ p_{\Gamma/\text{H}} &= p_1^{31} p_2^{31} + p_1^{32} p_3^{31} + p_1^{33} p_4^{31} = p_A^{31}, \\ p_{\Upsilon/\Gamma} &= p_1^{11} p_2^{12} + p_1^{12} p_3^{12} + p_1^{13} p_4^{12} = p_A^{12}, \\ p_{\Upsilon/\text{H}} &= p_1^{31} p_2^{32} + p_1^{32} p_3^{32} + p_1^{33} p_4^{32} = p_A^{32}, \\ p_{\text{H}/\Gamma} &= p_1^{11} p_2^{13} + p_1^{12} p_3^{13} + p_1^{13} p_4^{13} = p_A^{13}, \\ p_{\text{H}/\Upsilon} &= p_1^{21} p_2^{23} + p_1^{22} p_3^{23} + p_1^{23} p_4^{23} = p_A^{23}. \end{aligned} \quad (8)$$

Используя вероятности, приведенные в (8), можно оценить как средний доход:

$$D_A = p_{\Gamma/\Gamma} D_{\Gamma/\Gamma} + p_{\Upsilon/\Upsilon} D_{\Upsilon/\Upsilon} + p_{\text{H}/\text{H}} D_{\text{H}/\text{H}}, \quad (9)$$

так и средний убыток:

$$\begin{aligned} \hat{R}_A &= p_{\Gamma/\Upsilon} R_{\Gamma/\Upsilon} + p_{\Gamma/\text{H}} R_{\Gamma/\text{H}} + p_{\Upsilon/\Gamma} R_{\Upsilon/\Gamma} + \\ &+ p_{\Upsilon/\text{H}} R_{\Upsilon/\text{H}} + p_{\text{H}/\Gamma} R_{\text{H}/\Gamma} + p_{\text{H}/\Upsilon} R_{\text{H}/\Upsilon} \end{aligned} \quad (10)$$

от проведения двухэтапной экспертизы.

Таким образом, используя (9) и (10), можно оценить некоторый условный средний доход от реализации двухступенчатой экспертизы для общего случая (случай А):

$$\begin{aligned} W_A &= D_A - R_A - \hat{R}_A = (p_{\Gamma/\Gamma} D_{\Gamma/\Gamma} + p_{\Upsilon/\Upsilon} D_{\Upsilon/\Upsilon} + \\ &+ p_{\text{H}/\text{H}} D_{\text{H}/\text{H}}) - (R_{A1} + R_{A2} p_{A2} + R_{A3} p_{A3} + \\ &+ R_{A4} p_{A4}) - (p_{\Gamma/\Upsilon} R_{\Gamma/\Upsilon} + p_{\Gamma/\text{H}} R_{\Gamma/\text{H}} + p_{\Upsilon/\Gamma} R_{\Upsilon/\Gamma} + \\ &+ p_{\Upsilon/\text{H}} R_{\Upsilon/\text{H}} + p_{\text{H}/\Gamma} R_{\text{H}/\Gamma} + p_{\text{H}/\Upsilon} R_{\text{H}/\Upsilon}). \end{aligned} \quad (11)$$

Сравнительный анализ значений выражений (5), (9), (10) и (11) и их отдельных компонентов позволит не только оценить эффективность двухэтапной экспертизы в целом, но и обнаружить недостатки и слабые места отдельных входящих в нее проверок.

Предлагаемый подход позволяет достаточно объективно и всесторонне проводить сравнительную оценку различных экспертиз с целью последующего выбора наилучшей в данном конкретном случае.

*Замечание:* наибольшие убытки вызывают, принципиальные (грубые) ошибки в экспертизах, т. е. ошибки Н/Г, и, в особенности, ошибка вида Г/Н.

Рассмотрим два частных случая с исключением таких ошибок.

**Случай В. Отсутствие грубых ошибок на первом этапе.** Проверка, проводимая на первом этапе, может быть реализована достаточно эффективно, т. е. по ее результатам годное Изделие не может быть признано негодным, а негодное – годным (невозможность *принципиальной* ошибки в принятии решения, элементы  $p_{13}$  и  $p_{31}$  матрицы  $\mathbf{P}_{B1}$  равны 0):

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{B1} &= \begin{pmatrix} p_{B1}^{11} & p_{B1}^{12} & 0 \\ p_{B1}^{21} & p_{B1}^{22} & p_{B1}^{23} \\ 0 & p_{B1}^{32} & p_{B1}^{33} \end{pmatrix}; \\ \mathbf{P}_{B2} &= \begin{pmatrix} p_{B2}^{11} & p_{B2}^{12} & p_{B2}^{13} \\ p_{B2}^{21} & p_{B2}^{22} & p_{B2}^{23} \\ p_{B2}^{31} & p_{B2}^{32} & p_{B2}^{33} \end{pmatrix}; \\ \mathbf{P}_{B3} &= \begin{pmatrix} p_{B3}^{11} & p_{B3}^{12} & p_{B3}^{13} \\ p_{B3}^{21} & p_{B3}^{22} & p_{B3}^{23} \\ p_{B3}^{31} & p_{B3}^{32} & p_{B3}^{33} \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (12)$$

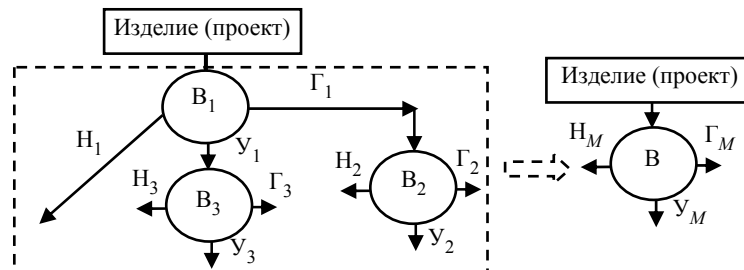


Рис. 4. Двухэтапная экспертиза, модифицированный вариант  
Fig. 4. Two-stage examination, a modified version

Тогда, если первоначальная проверка признает Изделие негодным, то это Изделие бракуется (рис. 4). Таким образом, в соответствии с (12), из числа проверок, проводимых на втором этапе, исключается проверка  $B_4$  (рис. 4).

Для этого случая табл. 1 принимает скорректированный вид табл. 2.

Формирование матрицы укрупненной экспертизы  $\mathcal{E}_B$ :

$$\mathbf{P}_B = \begin{pmatrix} p_B^{11} & p_B^{12} & p_B^{13} \\ p_B^{21} & p_B^{22} & p_B^{23} \\ p_B^{31} & p_B^{32} & p_B^{33} \end{pmatrix}. \quad (13)$$

По аналогии с (8) для случая  $B$  из табл. 2 для компонент матрицы  $\mathbf{P}_B$  из (13) можно получить вероятности событий, исключая из соответствующей суммы вероятности истинных категорий:

$$p_B^{11} = p_{\Gamma/\Gamma} = p_{B1}^{11} p_{B2}^{11} + p_{B1}^{12} p_{B3}^{11};$$

$$p_B^{21} = p_{\Gamma/\Upsilon} = p_{B1}^{21} p_{B2}^{21} + p_{B1}^{22} p_{B3}^{21};$$

$$p_B^{22} = p_{\Upsilon/\Upsilon} = p_{B1}^{21} p_{B2}^{22} + p_{B1}^{22} p_{B3}^{22};$$

$$p_B^{12} = p_{\Upsilon/\Gamma} = p_{B1}^{11} p_{B2}^{12} + p_{B1}^{12} p_{B3}^{12};$$

$$\begin{aligned} p_B^{13} &= p_{\text{Н}/\Gamma} = p_{B1}^{11} p_{B2}^{13} + p_{B1}^{12} p_{B3}^{13}; \\ p_B^{23} &= p_{\text{Н}/\Upsilon} = p_{B1}^{21} p_{B2}^{23} + p_{B1}^{22} p_{B3}^{23} + p_{B1}^{23}; \\ p_B^{31} &= p_{\Gamma/\text{Н}} = p_{B1}^{32} p_{B3}^{31}; \quad p_B^{32} = p_{\Upsilon/\text{Н}} = p_{B1}^{32} p_{B3}^{32}; \\ p_B^{33} &= p_{\text{Н}/\text{Н}} = p_{B1}^{32} p_{B3}^{33} + p_{B1}^{33}. \end{aligned} \quad (14)$$

Вычислим ресурсные характеристики, а также показатели стереотипности и логической сложности всего алгоритма двухэтапной экспертизы  $\mathcal{E}_B$ . По аналогии с рис. 3 для упрощения получения перечисленных характеристик представим рис. 4 в следующем виде (рис. 5).

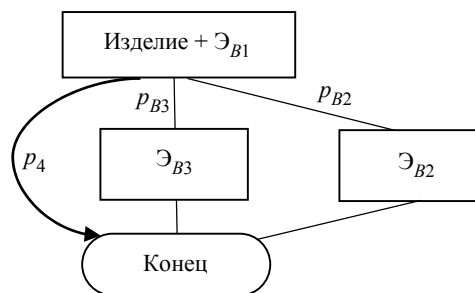


Рис. 5. Двухэтапная экспертиза (случай  $B$ )  
Fig. 5. Two-stage examination (case  $B$ )

Табл. 2. Возможные ситуации по результатам двухэтапной экспертизы (случай  $B$ )  
Tab. 2. Possible situations based on the results of a two-stage examination (case  $B$ )

№ п/п	Реальная категория	Категория по результатам	Ситуация (траектория результатов экспертиз)	Результаты экспертизы	Вероятность
1	Г	Г	$\Gamma_0 \Gamma_1 \Gamma_2$	Г/Г	$\beta_1 p_{B1}^{11} p_{B2}^{11}$
2	Г	Г	$\Gamma_0 \Upsilon_1 \Gamma_3$	Г/Г	$\beta_1 p_{B1}^{12} p_{B3}^{11}$
3	У	Г	$\Upsilon_0 \Gamma_1 \Gamma_2$	Г/У	$\beta_2 p_{B1}^{21} p_{B2}^{21}$
4	У	Г	$\Upsilon_0 \Upsilon_1 \Gamma_3$	Г/У	$\beta_2 p_{B1}^{22} p_{B3}^{21}$
5	У	Н	$\Upsilon_0 \text{Н}_1$	Н/У	$\beta_2 p_{B1}^{23}$
6	Н	Г	$\text{Н}_0 \Upsilon_1 \Gamma_3$	Г/Н	$\beta_3 p_{B1}^{32} p_{B3}^{31}$
7	Н	Н	$\text{Н}_0 \text{Н}_1$	Н/Н	$\beta_3 p_{B1}^{33}$
8	Г	У	$\Gamma_0 \Gamma_1 \Upsilon_2$	У/Г	$\beta_1 p_{B1}^{11} p_{B2}^{12}$
9	Г	У	$\Gamma_0 \Upsilon_1 \Upsilon_3$	У/Г	$\beta_1 p_{B1}^{12} p_{B3}^{12}$
10	У	У	$\Upsilon_0 \Gamma_1 \Upsilon_2$	У/У	$\beta_2 p_{B1}^{21} p_{B2}^{22}$
11	У	У	$\Upsilon_0 \Upsilon_1 \Upsilon_3$	У/У	$\beta_2 p_{B1}^{22} p_{B3}^{22}$
12	Н	У	$\text{Н}_0 \Upsilon_1 \Upsilon_3$	У/Н	$\beta_3 p_{B1}^{32} p_{B3}^{32}$
13	Г	Н	$\Gamma_0 \Gamma_1 \text{Н}_2$	Н/Г	$\beta_1 p_{B1}^{11} p_{B2}^{13}$
14	Г	Н	$\Gamma_0 \Upsilon_1 \text{Н}_3$	Н/Г	$\beta_1 p_{B1}^{12} p_{B3}^{13}$
15	У	Н	$\Upsilon_0 \Gamma_1 \text{Н}_2$	Н/У	$\beta_2 p_{B1}^{21} p_{B2}^{23}$
16	У	Н	$\Upsilon_0 \Upsilon_1 \text{Н}_3$	Н/У	$\beta_2 p_{B1}^{22} p_{B3}^{23}$
17	Н	Н	$\text{Н}_0 \Upsilon_1 \text{Н}_3$	Н/Н	$\beta_3 p_{B1}^{32} p_{B3}^{33}$



По аналогии с формулами (4)–(7) можно получить:

– значение вектора вероятностей  $\mathbf{p} = (p_{B2}, p_{B3}, p_4)$  в матричном  $\mathbf{p} = \beta P_{B1}$  или в явном виде (4):

$$\begin{aligned} p_{B2} &= \beta_1 p_{B1}^{11} + \beta_2 p_{B1}^{21}; \\ p_{B3} &= \beta_1 p_{B1}^{12} + \beta_2 p_{B1}^{22} + \beta_3 p_{B1}^{32}; \\ p_4 &= \beta_2 p_{B1}^{23} + \beta_3 p_{B1}^{33}; \end{aligned}$$

– среднее время и средний ресурс (стоимость), затрачиваемые на всю двухэтапную экспертизу  $\mathcal{E}_B$ :

$$\begin{aligned} T_B &= T_{B1} + T_{B2} p_{B2} + T_{B3} p_{B3}; \\ R_B &= R_{B1} + R_{B2} p_{B2} + R_{B3} p_{B3}; \end{aligned}$$

– среднее число выполняемых операций при двухэтапной экспертизе для случая  $B$ :

$$n_B = n_{B1} + n_{B2} p_{B2} + n_{B3} p_{B3}. \quad (15)$$

Используя соотношение (15), можно получить значения коэффициентов стереотипности и логической сложности для всего комплекса диагностических процедур:

$$Z_B = (Z_{B1} n_{B1} + Z_{B2} n_{B2} p_{B2} + Z_{B3} n_{B3} p_{B3}) / n_B;$$

$$L_B = (L_{B1} n_{B1} + L_{B2} n_{B2} p_{B2} + L_{B3} n_{B3} p_{B3}) / n_B.$$

Повторяя рассуждения (9), (10) и (11), можно аналогично вычислить соответствующие: средний доход от правильного распознавания  $D_B$ , средний убыток от ошибочного распознавания  $\hat{R}_B$ , а также условный средний доход  $W_B = D_B - R_B - \hat{R}_B$  от реализации двухэтапной экспертизы  $\mathcal{E}_B$ .

*Замечание:* уменьшение вероятностей рисков  $p_{Г/Н}$  и  $p_{Н/Г}$  для случая двухэтапной экспертизы  $\mathcal{E}_B$  вызвано повышением эффективности экспертизы, проводимой на первом этапе (устранения возможностей грубых ошибок). При этом следует принимать во внимание, что стоимость (расход ресурсов) проведения такой экспертизы на первом этапе значительно возрастает, что вообще может нивелировать возможный выигрыш от устранения грубых ошибок. Для каждого конкретного случая комбинации исходных данных подобный анализ следует проводить отдельно,

Табл. 3. Возможные ситуации по результатам двухэтапной экспертизы (случай С)

Tab. 3. Possible situations based on the results of a two-stage examination (case C)

№ п/п	Реальная категория	Категория по результатам	Ситуация (траектория результатов экспертиз)	Результаты экспертизы	Вероятность
1	Г	Г	$\Gamma_0 \Gamma_1 \Gamma_2$	Г/Г	$\beta_1 p_{C1}^{11} p_{C2}^{11}$
2	Г	Г	$\Gamma_0 \Upsilon_1 \Gamma_3$	Г/Г	$\beta_1 p_{C1}^{12} p_{C3}^{11}$
3	У	Г	$\Upsilon_0 \Gamma_1 \Gamma_2$	Г/У	$\beta_2 p_{C1}^{21} p_{C2}^{21}$
4	У	Г	$\Upsilon_0 \Upsilon_1 \Gamma_3$	Г/У	$\beta_2 p_{C1}^{22} p_{C3}^{21}$
5	У	Г	$\Upsilon_0 \text{H}_1 \Gamma_4$	Г/У	$\beta_2 p_{C1}^{23} p_{C4}^{21}$
6	Г	У	$\Gamma_0 \Gamma_1 \Upsilon_2$	У/Г	$\beta_1 p_{C1}^{11} p_{C2}^{22}$
7	Г	У	$\Gamma_0 \Upsilon_1 \Upsilon_3$	У/Г	$\beta_1 p_{C1}^{12} p_{C3}^{12}$
8	У	У	$\Upsilon_0 \Gamma_1 \Upsilon_2$	У/У	$\beta_2 p_{C1}^{21} p_{C2}^{22}$
9	У	У	$\Upsilon_0 \Upsilon_1 \Upsilon_3$	У/У	$\beta_2 p_{C1}^{22} p_{C3}^{22}$
10	У	У	$\Upsilon_0 \text{H}_1 \Upsilon_4$	У/У	$\beta_2 p_{C1}^{23} p_{C4}^{22}$
11	Н	У	$\text{H}_0 \Upsilon_1 \Upsilon_3$	У/Н	$\beta_3 p_{C1}^{32} p_{C3}^{32}$
12	Н	У	$\text{H}_0 \text{H}_1 \Upsilon_4$	У/Н	$\beta_3 p_{C1}^{33} p_{C4}^{32}$
13	У	Н	$\Upsilon_0 \Gamma_1 \text{H}_2$	Н/У	$\beta_2 p_{C1}^{21} p_{C2}^{23}$
14	У	Н	$\Upsilon_0 \Upsilon_1 \text{H}_3$	Н/У	$\beta_2 p_{C1}^{22} p_{C3}^{23}$
15	У	Н	$\Upsilon_0 \text{H}_1 \text{H}_4$	Н/У	$\beta_2 p_{C1}^{23} p_{C4}^{23}$
16	Н	Н	$\text{H}_0 \Upsilon_1 \text{H}_3$	Н/Н	$\beta_3 p_{C1}^{32} p_{C3}^{33}$
17	Н	Н	$\text{H}_0 \text{H}_1 \text{H}_4$	Н/Н	$\beta_3 p_{C1}^{33} p_{C4}^{33}$

тщательно фиксируя как ожидаемую доходную часть, так и требуемые ресурсы, и возможные убытки, связанные с рисками.

**Случай С.** Все проверки, входящие в двухэтапную адаптивную экспертизу, высоконадежны, т. е. в них принципиальная ошибка в принятии решения практически невозможна. Таким образом, соответствующие элементы  $p_{13}$  и  $p_{31}$  всех матриц  $\mathbf{P}_{C1}$ ,  $\mathbf{P}_{C2}$ ,  $\mathbf{P}_{C3}$ ,  $\mathbf{P}_{C4}$ , отражающие вероятностные характеристики принципиальных ошибок в соответствующих проверках, как на первом, так и на втором этапах, равны 0:

$$\mathbf{P}_{C1} = \begin{pmatrix} p_{C1}^{11} & p_{C1}^{12} & 0 \\ p_{C1}^{21} & p_{C1}^{22} & p_{C1}^{23} \\ 0 & p_{C1}^{32} & p_{C1}^{33} \end{pmatrix}; \mathbf{P}_{C2} = \begin{pmatrix} p_{C2}^{11} & p_{C2}^{12} & 0 \\ p_{C2}^{21} & p_{C2}^{22} & p_{C2}^{23} \\ 0 & p_{C2}^{32} & p_{C2}^{33} \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{P}_{C3} = \begin{pmatrix} p_{C3}^{11} & p_{C3}^{12} & 0 \\ p_{C3}^{21} & p_{C3}^{22} & p_{C3}^{23} \\ 0 & p_{C3}^{32} & p_{C3}^{33} \end{pmatrix}; \mathbf{P}_{C4} = \begin{pmatrix} p_{C4}^{11} & p_{C4}^{12} & 0 \\ p_{C4}^{21} & p_{C4}^{22} & p_{C4}^{23} \\ 0 & p_{C4}^{32} & p_{C4}^{33} \end{pmatrix}.$$

Такая особенность значительно уменьшает число возможных траекторий (исходов) (с 27 до 17, табл. 3).

Сформируем матрицу укрупненной экспертизы  $\mathcal{E}_C$

$$\mathbf{P}_C = \begin{pmatrix} p_C^{11} & p_C^{12} & p_C^{13} \\ p_C^{21} & p_C^{22} & p_C^{23} \\ p_C^{31} & p_C^{32} & p_C^{33} \end{pmatrix}.$$

По аналогии с (8) и (14) для случая С также получим вероятности соответствующих событий:

$$p_C^{11} = p_{\Gamma/\Gamma} = p_{C1}^{11} p_{C2}^{11} + p_{C1}^{12} p_{C3}^{11};$$

$$p_C^{22} = p_{\Upsilon/\Upsilon} = p_{C1}^{21} p_{C2}^{22} + p_{C1}^{22} p_{C3}^{22} + p_{C1}^{23} p_{C4}^{22};$$

$$p_C^{33} = p_{\text{Н}/\text{Н}} = p_{C1}^{32} p_{C3}^{33} + p_{C1}^{33} p_{C4}^{33};$$

$$p_C^{21} = p_{\Gamma/\Upsilon} = p_{C1}^{21} p_{C2}^{21} + p_{C1}^{22} p_{C3}^{21} + p_{C1}^{23} p_{C4}^{21};$$

$$p_C^{31} = p_{\Gamma/\text{Н}} = 0;$$

$$p_C^{12} = p_{\Upsilon/\Gamma} = p_{C1}^{11} p_{C2}^{12} + p_{C1}^{12} p_{C3}^{12};$$

$$p_C^{13} = p_{\text{Н}/\Gamma} = 0;$$

$$p_C^{32} = p_{\Upsilon/\text{Н}} = p_{C1}^{32} p_{C3}^{32} + p_{C1}^{33} p_{C4}^{32};$$

$$p_C^{23} = p_{\text{Н}/\Upsilon} = p_{C1}^{21} p_{C2}^{23} + p_{C1}^{22} p_{C3}^{23} + p_{C1}^{23} p_{C4}^{23}.$$

Нулевые значения  $p_C^{31} = p_{\Gamma/\text{Н}} = 0$  и  $p_C^{13} = p_{\text{Н}/\Gamma} = 0$  указывают на то, что в рассматриваемой экспертизе  $\mathcal{E}_C$  не будет грубых ошибок.

По аналогии с предыдущими случаями можем найти:

– значения необходимого времени  $T_C$  и необходимого ресурса  $R_C$  для реализации рассматриваемой двухэтапной экспертизы  $\mathcal{E}_C$ ;

– среднее число выполняемых операций  $n_C$ , а также значения коэффициентов стереотипности  $Z_C$  и логической сложности  $L_B$  для рассматриваемой экспертизы  $\mathcal{E}_C$ .

Повторяя рассуждения предыдущих случаев, можно также вычислить средний доход от правильного распознавания  $D_C$ , средний убыток от ошибочного распознавания  $\hat{R}_C$ , а также условный средний доход  $W_C = D_C - R_C - \hat{R}_C$  от реализации двухэтапной экспертизы  $\mathcal{E}_C$ .

*Замечания:*

1. Устранение рисков грубых ошибок ( $p_{\Gamma/\text{Н}}$  и  $p_{\text{Н}/\Gamma}$ ), безусловно, значительно повышает эффективность экспертизы. Однако стоимость (расход ресурсов) проведения такой экспертизы значительно возрастает, что может компенсировать возможный выигрыш от устранения грубых ошибок. Для конкретных Изделий (проектов) при планировании экспертиз следует тщательно анализировать возможные убытки и ресурсы, необходимые для их устранения.

2. Идеальна экспертиза, у которой соответствующая матрица единичная, но, к сожалению, такой идеал на практике недостижим. В идеальной экспертизе не может быть ошибок.

**Заключение.** Предложена модель двухэтапной адаптивной экспертизы. Разработан способ сведения модели двухэтапной адаптивной экспертизы к модели укрупненной экспертизы. Выведен комплекс аналитических зависимостей для оценки вероятностных характеристик двухэтапной экспертизы. Обосновано использование ресурсного подхода для сравнительного анализа различных экспертиз и получены соответствующие аналитические зависимости. Рассмотрено несколько частных случаев экспертиз.

Предложенный комплекс моделей и способ оценки характеристик двухэтапной адаптивной экспертизы служат методологической основой для создания программно-информационного модуля для сравнительной оценки экспертиз по выбранному критерию.

### Список литературы

1. Нефедович А. В. Практическая эргономика при создании кораблей ВМФ / НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА». СПб., 2019. 176 с.
2. Амран М. А. М., Падерно П. И. Оценка характеристик фрагмента контроля и устранения дефектов (ошибок), допущенных при реализации технологического процесса // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2024. Т. 17, № 4. С. 21–29. doi: 10.32603/2071-8985-2024-17-4-21-29.
3. Губинский А. И., Евграфов В. Г. Эргономическое проектирование судовых систем управления. Л.: Судостроение, 1977. 224 с.
4. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: исследование, проектирование, испытания: справочник / А. Н. Адаменко, А. Т. Ашеро-ров, И. Л. Бердников, А. И. Губинский, В. Г. Евграфов. М.: Машиностроение, 1993. 528 с.
5. Военная инженерная психология / Б. Ф. Ломов, А. А. Васильев, В. В. Офицеров, В. Ф. Рубахин. М.: Воен-издат, 1970. 401 с.
6. Суходольский Г. В. Структурно-алгоритмический анализ и синтез деятельности. Л.: ЛГУ, 1976. 120 с.
7. Назаренко Н. А., Падерно П. И. Методика эргономической экспертизы автоматизированных систем управления // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021. № 7. С. 28–35.
8. Анохин А. Н. Применение методов описания взаимодействия человека с системой в задачах эргономической оценки // Вестн. кибернетики, 2017. № 2(26). С. 15–23.
9. Литвак Б. Г. Экспертные технологии в управлении. М.: Дело, 2006. 400 с.
10. Эргономическая экспертиза при проектировании кораблей / В. И. Гольтраф, В. В. Кобзев, А. И. Курило, А. В. Нефедович // Судостроение, 2003. № 5 (750). С. 19–23.
11. Кобзев В. В., Нефедович А. В. Эргономическая экспертиза корабельных тренажеров // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики, 2009. № 4(51). С. 12–15.
12. Назаренко Н. А., Падерно П. И. Табличный метод оценки логической сложности и стереотипности алгоритмов деятельности оператора // Системы управления и обработки информации: науч.-техн. сб. 2023. Вып. 2(57). С. 70–76.

---

### Информация об авторах

**Амран Мухтар Ахмед Мохаммед** – аспирант кафедры информационных систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ».  
E-mail: mokhtar2011@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0006-5045-9778>

**Назаренко Николай Александрович** – канд. техн. наук, доцент кафедры информационных систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Заслуженный деятель науки РФ.  
E-mail: nicolas@ergoit.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1032-3650>

**Падерно Павел Иосифович** – д-р техн. наук, профессор кафедры информационных систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Заслуженный деятель науки РФ.  
E-mail: pipaderno@list.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-9032-5084>

### References

1. Nefedovich A. V. Prakticheskaja jergonomika pri sozdanii korablej VMF / NII korablestroenija i vooruzhenija VMF VUNC VMF «VMA». SPb., 2019. 176 s. (In Russ.).
2. Amran M. A. M., Paderno P. I. Ocenka harakteristik fragmenta kontrolja i ustraneniya defektov (oshibok), dopushhennyh pri realizacii tehnologicheskogo processa // Izv. SPbGJeTU «LJeTI». 2024. T. 17, № 4. S. 21–29. doi: 10.32603/2071-8985-2024-17-4-21-29. (In Russ.).
3. Gubinskij A. I., Evgrafov V. G. Jergonomicheskoe proektirovanie sudovyh sistem upravlenija. L.: Sudostroenie, 1977. 224 s. (In Russ.).
4. Informacionno-upravljajushhie cheloveko-mashinnye sistemy: issledovanie, proektirovanie, ispytaniya: spravochnik / A. N. Adamenko, A. T. Asherov, I. L. Berdnikov, A. I. Gubinskij, V. G. Evgrafov. M.: Mashinostroenie, 1993. 528 s. (In Russ.).
5. Voennaja inzhenernaja psihologija / B. F. Lomov, A. A. Vasil'ev, V. V. Oficerov, V. F. Rubahin. M.: Voenizdat, 1970. 401 s. (In Russ.).
6. Suhodol'skij G. V. Strukturno-algoritmicheskij analiz i sintez dejatel'nosti. L.: LGU, 1976. 120 s. (In Russ.).
7. Nazarenko N. A., Paderno P. I. Metodika jergonomicheskoy jekspertizy avtomatizirovannyh sistem upravlenija // Izv. SPbGJeTU «LJeTI», 2021. № 7. S. 28–35. (In Russ.).
8. Anohin A. N. Primenenie metodov opisaniya vzaimodejstvija cheloveka s sistemoj v zadachah jergonomicheskoy ocenki // Vestn. kibernetiki, 2017. № 2(26). S. 15–23. (In Russ.).
9. Litvak B. G. Jekspertnye tehnologii v upravlenii. M.: Delo, 2006. 400 s. (In Russ.).
10. Jergonomicheskaja jekspertiza pri proektirovanii korablej / V. I. Gol'traf, V. V. Kobzev, A. I. Kurilo, A. V. Ne-

fedovich // Sudostroenie, 2003. № 5(750). S. 19–23. (In Russ.).

11. Kobzev V. V., Nefedovich A. V. Jergonomicheskaja jekspertiza korabel'nyh trenazherov // Chelovecheskij faktor: problemy psihologii i jergonomiki, 2009. № 4(51). S. 12–15. (In Russ.).

12. Nazarenko N. A., Paderno P. I. Tablichnyj metod ocenki logicheskoj slozhnosti i stereotipnosti algoritmov dejatel'nosti operatora // Sistemy upravlenija i obrabotki informacii: nauch.-tehn. sb. 2023. Vyp. 2(57). S. 70–76. (In Russ.).

---

#### Information about the authors

**Mokhtar A. M. Amran** – postgraduate student of the Department of Information Systems of Saint Petersburg Electrotechnical University.

E-mail: [mokhtar2011@gmail.com](mailto:mokhtar2011@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0006-5045-9778>

**Nikolay A. Nazarenko** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Information Systems of Saint Petersburg Electrotechnical University. Honored Worker of Science of the Russian Federation.

E-mail: [nicolas@ergoit.ru](mailto:nicolas@ergoit.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-1032-3650>

**Pavel I. Paderno** – Dr Sci. (Eng.), Professor of the Department of Information Systems of Saint Petersburg Electrotechnical University. Honored Worker of Science of the Russian Federation.

E-mail: [pipaderno@list.ru](mailto:pipaderno@list.ru)

<https://orcid.org/0000-0001-9032-5084>

Статья поступила в редакцию 12.07.2024; принята к публикации после рецензирования 25.10.2024; опубликована онлайн 25.12.2024.

Submitted 12.07.2024; accepted 25.10.2024; published online 25.12.2024.

---