

УДК 519.72

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.31.4.029](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.31.4.029)

## Исследование практичности программного обеспечения вычислительных комплексов экспертно-статистическим методом

**В.В. Конобеевских, М.В. Питолин**  
*Воронежский институт МВД России,  
Воронеж, Российская Федерация*

**Резюме:** Современное программное обеспечение достаточно широко представлено в различных сферах жизнедеятельности общества в нашей стране. При этом программное обеспечение характеризуется множеством параметров и признаков. Если сравнивать заявленные характеристики программного обеспечения вычислительных комплексов от разных фирм-производителей, окажется, что большинство элементов сравнения, особенно количественные параметры, достаточно близки к друг другу, а объекты сравнения практически идентичны. Возникает актуальная задача выбора из нескольких идентичных объектов исследования лучшего образца для последующего использования. Данное обстоятельство особенно актуально, если сравнение количественных параметров программного обеспечения не дает нужных результатов. Тогда задача должна решаться с привлечением экспертов для оценки качественных характеристик, с использованием соответствующего математического аппарата, обосновывающего научность выбранного подхода. В данной работе предлагается исследовать качественные метрики программного обеспечения. В частности, одной из качественных характеристик программного обеспечения, которая может быть оценена пользователями без особых сложностей является практичность. Для исследования подхарактеристик и метрик практичности в работе предлагается использовать экспертные и статистические процедуры, которые объединены в экспертно-статистическом методе. Освещены вопросы организации опроса экспертов на предмет оценки подхарактеристик практичности, представлена методика статистической обработки экспертных данных, исследована процедура выбора и анализа математической модели комплексного показателя качества практичности программного обеспечения. Дальнейшим развитием идей, изложенных в указанной статье, будет являться разработка программного обеспечения для экспертных и статистических процедур при оценке качественных метрик программного обеспечения.

**Ключевые слова:** практичность, программное обеспечение вычислительных комплексов, экспертно-статистический метод, метрика качества, комплексный показатель качества.

**Для цитирования :** Конобеевских В.В., Питолин М.В. Исследование практичности программного обеспечения вычислительных комплексов экспертно-статистическим методом. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020;8(4). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=875> DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.029

## The research of software practicality of computing complexes by using expert statistical method

**V.V. Konobeevskikh, M.V. Pitolin**  
*Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation,  
Voronezh, the Russian Federation*

**Abstract:** Modern software is quite widely presented in various spheres of life in our country. The software is characterized by many features. If we compare the stated characteristics of software of

computing complexes from different producers, the most of the elements of comparison, especially quantitative characteristics, are turned out to be quite close to each other, and the objects of comparison are almost identical. There is an urgent task to select the best object from several identical ones for further researches. This is especially actual if the comparison of the quantitative characteristics of the software does not produce the desired results. Then the problem should be solved with the help of experts to evaluate the qualitative characteristics and using the appropriate mathematical methods that justifies the scientific meaning of the chosen approach. In this work, high-quality software metrics are proposed to investigate. In particular, one of the qualitative characteristics of the software that can be evaluated by users without much difficulty is practicality. To study the characteristics and metrics of practicality, the work proposes to use expert and statistical procedures, which are combined in the expert statistical method. Questions of organization of expert survey for assessment of practical characteristics are covered, method of statistical processing of expert data is presented, procedure of selection and analysis of mathematical model of complex indicator of software practicality quality is investigated. The further development of the ideas set out in this article will be the development of software for expert and statistical procedures in assessing the quality metrics of software.

**Keywords:** practicality, software of computing complexes, expert and statistical method, quality metric, complex quality indicator.

**For citation:** Konobeevskikh V.V., Pitolin M.V. The research of software practicality of computing complexes by using expert statistical method. *Modeling, optimization and information technology*. 2020;8(4). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=875> DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.029 (In Russ).

## Введение

Современные возможности науки и техники предоставляют огромные возможности по автоматизации различных процессов в деятельности человека, организации или даже целого ведомства. На рынке информационных технологий представлено множество видов программного обеспечения вычислительных комплексов, позволяющего совершенствовать практически все сферы деятельности человека и общества. В настоящее время программное обеспечение вычислительных комплексов характеризуется множеством параметров. Часть из них относится к количественным характеристикам, а часть к качественным. Если сравнивать заявленные характеристики программного обеспечения вычислительных комплексов от разных фирм-производителей, окажется, что большинство элементов сравнения, особенно количественные параметры, достаточно близки к друг другу, а объекты сравнения практически идентичны. Возникает актуальная задача выбора из нескольких идентичных объектов исследования лучший образец для последующего использования. Данное обстоятельство особенно актуально, если сравнение количественных параметров программного обеспечения не дает нужных результатов. Тогда задача должна решаться с привлечением экспертов для оценки качественных характеристик и использованием соответствующего математического аппарата, обосновывающего научность выбранного подхода. В ситуации, когда большинство характеристик сравниваемых объектов идентичны и не позволяют принять необходимое решение относительно выбора, определяется качественная характеристика, которая может быть исследована как комплексный показатель качества, позволяющая сделать научно обоснованный выбор программного обеспечения вычислительного комплекса[1].

В частности, в качестве такой характеристики, по ряду причин, может быть выбрана практичность (применимость) программного обеспечения различных вычислительных комплексов. Во-первых, практичность характеризуется достаточной совокупностью подхарактеристик и метрик, позволяющих привлекать экспертов. Во-

вторых, оценка практичности позволяет учитывать мнения опытных специалистов, которые непосредственно осуществляли в течение определенного времени эксплуатацию исследуемого программного обеспечения.

Следует заметить, что в научной литературе недостаточно внимания уделяется вопросу исследования указанной выше качественной характеристики.

Для устранения указанного недостатка в данной статье предлагается рассмотреть вопрос исследования практичности программного обеспечения вычислительных комплексов с использованием экспертно-статистического метода. Данный метод обладает некоторыми существенными преимуществами. Во первых, рассматриваемый метод не требует наличия большой выборки. Во вторых, способен качественно применить мощный математический аппарат.

Предположим необходимо решить задачу выбора лучшего программного обеспечения двух вычислительных комплексов, осуществляя оценку их практичности экспертно-статистическим методом. При этом целесообразнее использовать прямые процедуры опроса экспертов. Решение рассматриваемой задачи будет предусматривать реализацию трех стадий. Представляется целесообразным рассмотреть данные стадии более подробно.

### **Первая стадия**

Автоматическое вычисление практичности является наиболее трудным по сравнению с другими характеристиками качества, так как обуславливает сложность понимания программного обеспечения, его изучения, использования и привлекательность для пользователя при применении в заданных условиях.

Применение прямой процедуры опроса экспертов предполагает, что если специалистам предоставить выборку метрик практичности программного обеспечения двух комплексов одного назначения и сформулировать цель опроса, то эксперты, проанализировав единичные показатели практичности, смогут на основе опыта их эксплуатации в течение определенного периода, дать комплексную оценку, которая будет характеризовать меру соответствия каждого программного обеспечения цели его назначения и определить лучший программный продукт. Далее эта информация подвергается статистической обработке. В результате в повседневной работе можно получать достоверные комплексные оценки качества, не прибегая каждый раз к опросу экспертов.

Практичность программного обеспечения вычислительных комплексов может включать в себя различные подхарактеристики, которые отражают специфику их функционирования. К таким, наиболее известным подхарактеристикам практичности программного обеспечения можно отнести понятность, простоту использования, удобство обучения и т.д.

В рамках данной статьи предлагается рассмотреть метрики практичности, которые представлены в Таблице 1 для экспертного оценивания. Безусловно, для решения разных задач метрики практичности могут быть расширены или изменены.

В процессе экспертного опроса специалистам предоставляется информация из представленной ниже таблицы. Эксперты на основе знания, личного опыта эксплуатации соответствующего программного обеспечения выставляют оценки единичным показателям (метрикам) практичности.

Если метрика для рассматриваемого программного обеспечения, по мнению эксперта, принимает оптимальное значение и соответствует своему функциональному назначению, то в графе «оценка эксперта» для рассматриваемого параметра эксперт выставляет оценку по 10 бальной шкале, при этом число 10 соответствует максимальной

степени удовлетворенности эксперта оцениваемой характеристикой, число 0 – минимальной.

Суммируя выставленные по всем метрикам оценки, получаем значение, характеризующее практическую программную обеспеченность, определенную  $j$ -м экспертом, где  $j = 1 - E$ .

Так как рассматривается решение задачи выбора лучшего программного обеспечения двух вычислительных комплексов, эксперт выставляет оценки по всем метрикам и для второго программного обеспечения вычислительного комплекса.

Таблица 1 – Метрики практичности программного обеспечения  
 Table 1 – Software Practicality Metrics

Подхарактеристики	Единичные показатели (метрики)	Оценка эксперта
1. Простота использования	1.1. Простота управления программой	
	1.2. Удобство эксплуатации	
	1.3. Информативность сообщений пользователю	
	1.4. Наглядность и унифицированность управления экраном	
	1.5. Доступность изменения функций в соответствии с квалификацией пользователя	
	1.6. Число операций, необходимых для запуска определенного задания и анализа результатов	
	1.7. Время ввода и отклика на задание	
	1.8. Длительность решения типовых задач	
2. Обучаемость	2.1. Легкость обучения	
	2.2. Быстрота изучения функционала программы	
	2.3. Продолжительность обучения	
3. Понятность	3.1. Демонстрационные возможности	
	3.2. Четкость концепции программного обеспечения	
	3.3. Наглядность и полнота документации	
4. Эстетичность пользовательского интерфейса	4.1. Изящность внешнего вида программы	
5. Защита пользователя от совершения ошибок	5.1. Информативность предупреждающих сообщений	
	5.2. Полезное время работы	

Подобные операции осуществляют все эксперты [6]. Используя полученные совокупности величин  $Q_{ij}$ , рассчитывают значения комплексных показателей

$$\widehat{Q}_i = \frac{1}{E} \sum_{j=1}^E Q_{ij} \quad (1)$$

где  $Q_{ij}$  — оценка комплексного показателя качества  $j$ -м экспертом программного обеспечения  $S_i$ , где  $i = 1 - k$ . В зависимости от количества объектов исследования данные комплексных показателей качества программного обеспечения могут заноситься в специальную таблицу. В том случае, если количество показателей, которые важны с точки зрения оценки качества программного обеспечения достаточно велико, некоторые показатели могут оказаться незначимыми в экспертных оценках. Данные показатели

необходимо выявлять при анализе экспертных данных. В частности, полученные значения экспертных оценок по каждому единичному показателю необходимо ранжировать и те показатели, которые получили существенно меньшие оценки экспертов исключаются. Таким образом, остается список единичных показателей наиболее полно характеризующих практичность программного обеспечения. Проверка воспроизводимости экспертных данных заключается в решении вопроса согласованности экспертных данных. Необходимо отметить, что согласованность мнений экспертов, может определяться различными методами. Например, используя шкалу отношений, согласованность экспертных оценок может определяться проверкой гипотезы о принадлежности экспертных данных одной генеральной совокупности по критерию Смирнова-Колмогорова. В тоже время для определения согласованности мнений группы экспертов, как правило, применяется коэффициент конкордации Кендалла или метрический коэффициент [8].

### Вторая стадия

На второй стадии исследования практичности вычислительных комплексов необходимо выяснить являются ли экспертные данные достоверными. Для этого следует определить две величины. Первая из них  $\delta_j^3 \max$  характеризует максимальные погрешности экспертов. Вторая величина  $\delta_\alpha^i$  связана с половиной длины доверительных интервалов. Расчет рассматриваемых величин потребует использования формул (2) и (3)

$$\delta_\alpha^i = t_\alpha \sigma[\hat{p}_i] \quad (2)$$

$$\delta_j^3 \max = \max\{|\Delta p_j^3 + t_\alpha \hat{\sigma}[\Delta p_j^3]|, |\Delta p_j^3 - t_\alpha \hat{\sigma}[\Delta p_j^3]|\} \quad (3)$$

где  $\sigma[\hat{p}_i]$  — среднеквадратическая погрешность оценки  $\hat{p}_i$   $i$ -го коэффициента весомости;  $t_\alpha$  — коэффициент, определяемый из соответствующих статистических таблиц [3]. Формула (2) показывает, что для расчета  $\delta_\alpha^i$  необходимо вычислить  $\sigma[\hat{p}_i]$ , а для этого целесообразно использовать нижеприведенную формулу

$$\sigma[\hat{p}_i] = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^E (p_{ij} - \hat{p}_i)^2}{(E-1)E}} \quad (4)$$

где оценки коэффициентов  $\hat{p}_i$  весомости находятся с помощью следующего выражения

$$\hat{p}_i = \frac{\sum_{j=1}^E p_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^E p_{ij}} \quad (5)$$

где  $p_{ij}$  — оценка  $j$ -м экспертом  $i$ -го коэффициента весомости.

Максимальная погрешностей экспертов  $\delta_j^3 \max$  характеризуется математическим ожиданием  $\Delta p_j^3$  и среднеквадратической погрешностью  $\hat{\sigma}[\Delta p_j^3]$

$$\Delta p_j^3 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( p_{ij} - \frac{1}{E} \sum_{j=1}^E p_{ij} \right) \quad (6)$$

$$\hat{\sigma}[\Delta p_j^3] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \left( p_{ij} - \frac{1}{E} \sum_{j=1}^E p_{ij} \right)^2}{m-1}} \quad (7)$$

Если величины  $\delta_{\alpha}^i$  и  $\delta_{j \max}^{\alpha}$  существенно меньше соответствующих коэффициентов весомости  $p_{ij}$ , то оценки признаются значимыми, а если – больше или соизмеримы с коэффициентами весомости, то соответствующие экспертные оценки следует признать недостоверными и провести повторно процедуру экспертного опроса.

### Третья стадия исследования практичности программного обеспечения

Последняя стадия исследования практичности программного обеспечения вычислительных комплексов является достаточно трудоемкой. Она предполагает исследование математических зависимостей на предмет выбора адекватной модели, которая будет характеризовать комплексный показатель качества программного обеспечения вычислительных комплексов. Третья стадия включает процедуру использования метода наименьших квадратов. Данный метод позволит определить оценки параметров выбранной математической модели. В завершении следует выяснить правильно ли полученные данные отражают физический смысл комплексного показателя качества практичности программного обеспечения [7]. Основные зависимости, которые могут рассматриваться в качестве предполагаемой математической модели практичности программного обеспечения вычислительных комплексов представлены формулами (8) – (12)

$$S = \sum_{i=1}^m p_i V_i \quad (8)$$

$$S = \sum_{i=1}^m p_i \log V_i \quad (9)$$

$$S = p_0 + \sum_{i=1}^m p_i V_i + \sum_{i=1}^m p_{ij} V_i^2 \quad (10)$$

$$S = p_0 + \sum_{i=1}^m p_i V_i + \sum_{i=1}^m p_{ij} \log V_i \log V_j \quad (11)$$

$$S = p_0 \prod_{i=1}^m V_i^{p_i} \quad (12)$$

Формулу (12) целесообразнее преобразовать к следующему виду

$$\log S = p_0 + \sum_{i=1}^m p_i \log V_i \quad (13)$$

Как видно из представленных выше выражений используются комбинации линейных и нелинейных зависимостей по вектору параметров  $p$  и вектору единичных показателей  $V$ . На данном этапе следует исследовать адекватность выбранной математической зависимости. Для рассматриваемого в статье случая необходимо, чтобы с улучшением показателей практичности программного обеспечения увеличивался комплексный показатель качества. Для определения параметров выбранной математической зависимости используем метод наименьших квадратов (14)

$$J = \sum_{i=1}^k [\widehat{Q}_i - f(V_{1i}, V_{2i}, \dots, V_{mi}, p_1, p_2, \dots, p_x)]^2, k > x \quad (14)$$

При исследовании математической модели важно выяснить значимость ее параметров. Для этого можно использовать несколько направлений. В первом случае рассчитываются коэффициенты корреляции между единичными и комплексными показателями. Другое направление предполагает использование дисперсионного анализа. Коэффициенты корреляции определяются из нижеприведенного выражения

$$r_h = \frac{\sum_{i=1}^k (V_{ih} - \widehat{V}_h)(Q_{ih} - \widehat{Q}_i)}{\sum_{i=1}^k (V_{ih} - \widehat{V}_h)^2 \sum_{i=1}^k (Q_{ih} - \widehat{Q}_i)^2} \quad (15)$$

Следует заметить, что последняя формула актуальна для математических зависимостей (8) и (9). Использование других математических моделей предполагает проведение процедуры пере обозначения. Тогда для выражения (10) проведем следующие пере обозначения, которое будут представлены ниже

$$P_1, P_2, \dots, P_m; c'_1, c'_2, \dots, c'_x$$

$$P_1 = V_1, P_2 = V_2, \dots, P_m = V_m, P_{m+1} = V_1^2, \dots, P_x = V_m^2$$

$$c'_1 = p_1, c'_2 = p_2, \dots, c'_m = p_m, \dots, c'_x = p_{mm}$$

Коэффициенты корреляции, относительно параметров  $P_1, P_2, \dots, P_m$ , будут, по-прежнему, вычисляться по формуле (15). После вычисления данных коэффициентов необходимо проверить гипотезу о равенстве нулю каждого из коэффициентов и соответствующего ему параметра  $p_i$ . Для линейных по вектору  $P$  моделей проверка значимости их параметров может проводиться с использованием методов дисперсионного анализа. Особенность использования дисперсионного аппарата состоит в том, что последовательно исключаются из модели комплексного показателя качества переменные  $P_1, P_2, \dots, P_x$ . На первом этапе исключается показатель  $P_x$ , полагая  $c'_x = 0$ , определяют остаточную сумму квадратов  $J^{(1)}$ . В качестве операции необходимо рассчитать чистый вклад  $\Delta J_1$  и  $J^{(1)}$  после исключения показателя  $P_x$  ( $\Delta J_1 = J^{(1)} - J$ ) проверяют гипотезу  $H_0^1: c'_x = 0$  против гипотезы  $H_1^1: c'_x \neq 0$ . На втором этапе исключают два показателя  $P_x$  и  $P_{x-1}$ , подчитывают остаточную сумму квадратов  $J^{(2)}$ . Далее определяют чистый вклад  $\Delta J_2$  и  $J^{(2)}$  и тогда после исключения второго слагаемого: ( $\Delta J_2 = J^{(2)} - J^{(1)}$ ), проверяют гипотезу  $H_0^2: c'_x = 0, c'_{x-1} = 0$ , против гипотезы  $H_1^2: c'_x \neq 0, c'_{x-1} \neq 0$ . Отметим, что аналогичным образом проверяются гипотезы  $H_0^3, H_0^4, \dots, H_0^l$ . На  $l$ -м шаге для проверки гипотезы  $H_0^l$  рассчитывается величина  $F^l$ , которая в свою очередь определяется из выражения

$$F^l = \frac{\Delta J_l}{J_l^l} \quad (16)$$

где  $l$  — число исключенных показателей.

При этом если  $F^l < F_\alpha$ , где величина  $F_\alpha$  определяется из соответствующих таблиц для уровня значимости  $\alpha$  с  $l$  и  $x - l$  степенями свободы, то принимается гипотеза  $H_0^l: c'_x = 0, c'_{x-1} = 0, \dots, c'_{x-l+1} = 0$ , и подлежит проверке следующая гипотеза  $H_0^{l+1}: c'_x = 0, c'_{x-1} = 0, \dots, c'_{x-l} = 0$ . Иначе принимается во внимание гипотеза  $H_1^l: c'_x = 0, c'_{x-1} = 0, \dots, c'_{x-l+1} \neq 0$ , и далее используется модель

$$S = f(P_1, P_2, \dots, P_{m-l+1}, c'_1, c'_2, \dots, c'_{m-l+1}) \quad (17)$$

Следует заметить, что все незначимые показатели необходимо исключить из модели и произвести ее корректировку. Поэтому методом наименьших квадратов находятся оценки параметров  $c'_1, c'_2, \dots, c'_x$  уточненной математической модели комплексного показателя. В тоже время статистический разброс экспертных оценок комплексных показателей качества на множестве объектов исследования данного назначения характеризует погрешность определения данных параметров модели, т.е.  $\Delta c'_i = \widehat{c}'_i - c'_i$  где  $i = 1, 2, \dots, x$ . Как правило, предполагается, что для погрешности  $\Delta Q$  экспертных оценок комплексных показателей справедливы выражения:  $\overline{\Delta Q}_i = 0$   $\overline{\Delta Q}_i \overline{\Delta Q}_j = 0$   $i \neq j, i, j = 1 - k$ . Тогда для математических ожиданий погрешностей  $\Delta c'_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, x$  и их ковариационной матрицы  $\sum$  справедливы следующие выражения:

$$\overline{\Delta c}'_i = 0; \quad \sum = \widehat{\sigma}^2 [\Delta Q] (P^T P)^{-1} \quad (18)$$

где  $\widehat{\sigma}^2 [\Delta Q]$  — оценка дисперсии погрешности  $\Delta Q$ .

$$\widehat{\sigma} [\Delta Q] = \sqrt{\frac{J}{k - x}} \quad (19)$$

Очевидно, что погрешность определения  $i$ -го параметра, характеризуемая значением  $\sigma [\Delta c'_i] \cdot t_\alpha$  ( $t_\alpha = 2$  для нормального закона распределения случайной величины  $\Delta c'_i$  и  $\alpha = 0,95$ ), должна быть меньше оценки  $\widehat{c}'_i$  этого параметра. Если это условие не выполняется, то параметр следует признать не значимым. Для математических моделей (10) и (11), комплексный показатель качества может иметь физический смысл не во всей области изменения единичных показателей. В целях определения допустимых границ изменения значений комплексного показателя в выражении (10) приравнивают нулю частные производные:

$$\frac{\partial Q}{\partial V_h} = 0, \quad h = 1, 2, \dots, m. \quad (20)$$

Таким образом, уравнения (20) определяют некоторые точки  $V_1^\circ, \dots, V_m^\circ$  в пространстве единичных показателей, «подозрительные» на экстремум. В том случае если значение данных единичных показателей больше значения точки, подозрительной на экстремум ( $V_h > V_h^\circ$ ) (в случае максимума) или  $V_h < V_h^\circ$  (в случае минимума), то может быть нарушено смысловое содержание модели. Данное обстоятельство возможно, если единичный показатель  $V_h$  улучшается ( $V_h > V_h^\circ$ ), а комплексный показатель уменьшается. С целью определения допустимой области изменения единичных показателей качества в модели (11) проводятся непосредственные просчеты значений комплексных показателей для всевозможных наборов единичных показателей качества:  $V_1^{min} + g_1 \Delta V_1, V_2^{min} + g_2 \Delta V_2, \dots, V_m^{min} + g_m \Delta V_m$  где  $g_1, g_2, \dots, g_m$  — целые числа от 1 до  $w$ ;  $\Delta V_h$  — значение шага по  $h$ -му показателю качества,  $V_h^{min}$  — минимальное значение  $h$ -го показателя. При этом число шагов  $w$  выбирается таким, чтобы была исследована вся область изменения единичных показателей.

Завершающий этап построения модели предполагает сравнение полученных ранее регрессионных моделей и определение лучшей из них. Для более корректного сравнения линейных по вектору  $V$  уравнений регрессии используют критерий, предложенный Уилксом. В данном критерии все уравнения регрессии рассматриваются на равных основаниях. Кроме того, этот критерий сформулирован на основе

однородности остаточных сумм квадратов для различных уравнений регрессии. В качестве основного недостатка данного метода можно выделить его большую трудоемкость. Следовательно, при выборе модели достаточно сравнить оценки среднеквадратических отклонений для разных моделей. Для определения оценок среднеквадратических отклонений необходимо использовать выражение (19). Полученные таким образом оценки будут характеризовать статистический разброс значений комплексных показателей относительно полученных регрессионных зависимостей. Очевидно, что лучшей будет та модель, у которой значение этой величины  $\hat{\sigma}[\Delta Q]$  минимально. На основе данных, представленных в Таблице 1, был проведен эксперимент, в котором экспертами были оценены характеристики практичности программного обеспечения двух вычислительных комплексов. Экспертные данные были обработаны: погрешности экспертных оценок признаны незначительными, экспертные оценки согласованными. Среди наиболее значимых единичных показателей практичности программного обеспечения по результатам эксперимента экспертами были выбраны пять: «удобство эксплуатации», «простота управления программой», «легкость обучения», «четкость концепции программного обеспечения» и «информативность предупреждающих сообщений». Проверка указанных показателей показала их значимость в экспертных оценках. С учетом полученных данных в эксперименте были проведены расчеты параметров трех математических моделей комплексного показателя качества практичности и оценок среднеквадратических отклонений, которые представлены в Таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета параметров комплексного показателя практичности  
 Table 2 – Results of calculation of parameters of the complex practical measure

Вид математической модели комплексного показателя	Среднеквадратическое отклонение	
	$\sigma[\hat{p}_i]$	$\hat{\sigma}[\Delta Q]$
$S = 45,36 + 28,93V_1 + 21,12V_2 + 18,54V_3 + 12,71V_4 + 7,03V_5$	$\sigma[\hat{p}_1] = 2,02$ $\sigma[\hat{p}_2] = 4,56$ $\sigma[\hat{p}_3] = 5,36$ $\sigma[\hat{p}_4] = 3,34$ $\sigma[\hat{p}_5] = 1,98$	,457
$S = 99,47 + 15,52lgV_1 + 38,11lgV_2 + 12,22lgV_3 + 14,62lgV_4 + 4,83lgV_5$	$\sigma[\hat{p}_1] = 3,54$ $\sigma[\hat{p}_2] = 9,89$ $\sigma[\hat{p}_3] = 0,87$ $\sigma[\hat{p}_4] = 4,93$ $\sigma[\hat{p}_5] = 6,15$	,264
$S = 2,976V_1^{0,077}V_2^{0,253}V_3^{0,047}V_4^{0,135}V_5^{0,078}$	$\sigma[\hat{p}_1] = 0,033$ $\sigma[\hat{p}_2] = 0,52$ $\sigma[\hat{p}_3] = 0,017$ $\sigma[\hat{p}_4] = 0,027$ $\sigma[\hat{p}_5] = 0,022$	7,842

Параметры  $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5$  представляют собой соответственно оценки единичных показателей качественных метрик практичности представленных ранее.

Анализ данных Таблицы 2 позволяет утверждать, что представленные математические модели правильно отражают физический смысл комплексного показателя качества практичности программного обеспечения. При этом для расчета значений комплексного показателя качества по характеристикам практичности программного обеспечения двух сравниваемых вычислительных комплексов следует выбрать первую математическую модель, так как она имеет минимальное значение  $\hat{\sigma}[\Delta Q]$

Таким образом, используя выбранную математическую модель рассчитываются значения комплексных показателей и по максимальному значению последнего выбирается лучшее программное обеспечение вычислительного комплекса.

### Заключение

В работе представлен подход, позволяющий проводить оценку качественных характеристик программного обеспечения, в том числе практичности, с использованием экспертных и статистических процедур. Дальнейшим развитием идей, изложенных в указанной статье, будет являться разработка программного обеспечения для экспертных и статистических процедур при оценке метрик программного обеспечения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ажмухамедов И.М., Князева О.М. Комплексный критерий оценки качества информационных систем. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2017;4-6:14-17.
2. Atanov G., Pustynnikova I. Learning by constructing knowledge bases for expert systems. *Proc. International Conf. on Computers in Education*. 1999:555-558.
3. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. *Математико-статистические методы экспертных оценок*. Москва: Статистика. 1980.
4. Бухарин С.В., Конобеевских В.В. Комбинированный метод выявления знаний экспертов. *Вестник Воронежского института МВД России*. 2005;2:22-25.
5. Бухарин С.В., Конобеевских В.В. Статистические методы оценки качества радиотехнических систем. *Охрана, безопасность и связь – 2005: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции*. (Воронеж, 24-25 ноября 2005 г.) – Воронеж, 2005:37-39.
6. Литвак Б. Г. *Экспертная информация. Методы получения и анализа*. Москва: Радио и связь. 1982.
7. Бухарин С.В., Забияко, Е. С., Конобеевских В.В. *Экспертные системы оценки качества и цены товаров (работ, услуг): монография*. Воронеж: Воронежский институт маркетинга и финансов. 2006.
8. Кендэлл М. Дж. *Ранговые корреляции*. Москва: Статистика. 1975.

### REFERENCES

1. Azhmuamedov I.M., Knyazeva O.M. A comprehensive criterion for assessing the quality of information systems. *Actual problems of the humanities and natural sciences*. 2017;4-6:14-17.
2. Atanov G., Pustynnikova I. Learning by constructing knowledge bases for expert systems. *Proc. International Conf. on Computers in Education*. 1999:555-558.

3. Beshelev S.D., Gurvich F.G. Mathematical and statistical methods of expert assessments. Moscow: Statistics. 1980.
4. Bukharin, S.V., Konobeevskikh V.V. A Combined method of identifying knowledge experts. The bulletin of Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2005;2:22-25.
5. Bukharin, S.V., Konobeevskikh V.V. Statistical methods of evaluation of quality of radio engineering systems. *Safety, security and communications – 2005. Collection of materials of the All-Russian scientific-practical conference.* (Voronezh, November 24-25, 2005). 2005:37-39.
6. Litvak B.G. *Expert information. Methods of obtaining and analysis.* Moscow: Radio and communications. 1982.
7. Bukharin S.V., Subiaco E.S., Konobeevskikh V.V. *Expert systems for evaluating the quality and price of goods (works, services): a monograph.* Voronezh: Voronezh Institute of management marketing and finance. 2006.
8. Kendall M. J. *Rank correlations.* Moscow: Statistics. 1975.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Конобеевских Владимир Валерьевич**, к.т.н, доцент кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел Воронежского института МВД России, Воронеж, Российская Федерация  
*e-mail:* [vkonobeevskikh@mail.ru](mailto:vkonobeevskikh@mail.ru)

**Konobeevskikh Vladimir Valerievich**, Candidate of Science Engineering, Associate Professor of Chair of Automated information systems of law enforcement agencies of Voronezh Institute of the Ministry of the Internal Affairs of the Russian Federation, Voronezh, Russian Federation

**Питолин Михаил Владимирович**, к.т.н, доцент, доцент кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел Воронежского института МВД России, Воронеж, Российская Федерация  
*e-mail:* [pmv\\_m@mail.ru](mailto:pmv_m@mail.ru)

**Pitolin Mikhail Vladimirovich**, Candidate of Science Engineering, Associate Professor, Associate Professor of Chair of Automated information systems of law enforcement agencies of Voronezh Institute of the Ministry of the Internal Affairs of the Russian Federation, Voronezh, Russian Federation