

УДК 519.72

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.31.4.028](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.31.4.028)

## Оценка качества программного обеспечения вычислительных комплексов на основе экспертных данных

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

**Резюме:** Программное обеспечение уже давно стало неотъемлемой частью жизнедеятельности любого общества. В современном мире функционирование любых сложных систем и комплексов сопровождается взаимодействием с соответствующим программным обеспечением. Для решения этой комплексной задачи, даже в рамках одного ведомства, производители предлагают идентичные, на первый взгляд, варианты программного обеспечения вычислительных комплексов. Так как выбор оптимального программного обеспечения сопряжен со значительными финансовыми затратами, то данная задача не может быть эффективно решена без привлечения экспертов в данной области. Кроме того, актуальность рассматриваемой проблемы заключается в том, что в настоящее время не учитываются мнения экспертов, осуществляющих эксплуатацию программного обеспечения, с использованием научного подхода, особенно при оценке качественных метрик, характеризующих практичность его использования. В данной работе предлагается рассмотреть альтернативный подход к оценке качественных характеристик программного обеспечения в процессе его эксплуатации и к выбору оптимального программного продукта из некоторой совокупности аналогов, основанный на исследовании экспертных данных. Для решения данной задачи в работе предложена методика формирования группы экспертов, представлен альтернативный способ оценки согласованности мнений экспертов на основе метрического коэффициента, изложена методика формирования системы качественных показателей программного обеспечения на основе критерия знаков, представлен алгоритм оценки качества программного обеспечения вычислительных комплексов на основе анализа экспертных данных. Дальнейшим развитием идей, изложенных в указанной статье, будет являться разработка программного обеспечения для реализации представленного алгоритма.

**Ключевые слова:** программное обеспечение вычислительных комплексов, оценка качества, качественная характеристика, согласованность мнений экспертов, комплексный показатель качества.

**Для цитирования:** Конобеевских В. В., Питолин М. В. Оценка качества программного обеспечения вычислительных комплексов на основе экспертных данных. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020;8(4). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=874> DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.028

## Quality assessment of software of computing complexes based on expert data

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

**Abstract:** Software has already become an integral part of the life of any society. In the modern world, the functioning of any complex systems and complexes means interaction with the corresponding software. To solve this complex problem in one department manufacturers sometimes offer identical software options for computing complexes. Since the selection of optimal software involves considerable financial costs, the problem cannot be effectively solved without the involvement of

experts in this field. In addition, the views of experts operating the software using a scientific approach are not currently taken into account, especially when assessing qualitative metrics that characterize its practicality. In this work, it is proposed to consider an alternative approach to assessing the quality characteristics of software during its operation and choosing the optimal software product from a certain set of analogues, based on the study of expert data. To solve this problem, the work proposes a method of forming a group of experts, presents an alternative method of assessing the consistency of expert opinions based on a metric coefficient, presents a method of forming a system of qualitative indicators of software based on the sign criterion, presents an algorithm for evaluating the quality of software of computer systems based on the analysis of expert data. The development of software for the implementation of the presented algorithm will be the development of the ideas set in this article.

**Keywords:** software of computing complexes, quality assessment, quality characteristics, consistency of expert opinions, integrated quality indicator.

**For citation:** V.V. Konobeevskikh, M.V. Pitolin Quality assessment of software of computing complexes based on expert data. *Modeling, optimization and information technology*. 2020;8(4). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=874> DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.028 (In Russ).

## Введение

К программному обеспечению современных вычислительных комплексов предъявляются повышенные требования. Данное обстоятельство связано с тем, что конкуренция технологий в современном мире также важна, как и конкуренция за пользователя. Поэтому основные усилия производителей направлены на повышение уровня практичности программного обеспечения вычислительных комплексов, включающие повышение эффективности в использовании, сокращении времени на выполнение конкретных задач, повышения качества и легкости изучения программной среды в процессе эксплуатации. При этом успешность внедрения программного обеспечения вычислительных комплексов зависит в основном от удовлетворенности конечных пользователей, а не только от технологических решений.

Следовательно, необходимо отметить, что вопрос оценки качества программного обеспечения вычислительных комплексов в настоящее время является одним из наиболее актуальных вопросов в области информационных технологий. Тем более, если речь идет о тех атрибутах качества, которые могут быть исследованы только на основе экспертных данных.

На практике часто встречаются ситуации, когда для внедрения больших, в том числе территориально распределенных, вычислительных комплексов в какое-либо ведомство, особенно в правоохранительной сфере, проводятся конкурсы с участием одного или двух аналогов. По результатам конкурса выбирают один программный комплекс и поставляют его в несколько «пилотных» регионов страны для апробации практическими подразделениями. Далее составляются необходимые документы по результатам эксплуатации «пилотных» проектов вычислительных комплексов, в том числе и программного обеспечения, и принимается решение о внедрении рассматриваемой системы в деятельность соответствующего ведомства.

Однако данный подход является недостаточно эффективным по ряду причин. Во-первых, при проведении конкурсов для выбора программных комплексов во главу угла ставится финансовый аспект и оцениваются количественные характеристики, а качественным метрикам уделяется незначительное внимание. Во-вторых, количество пилотных проектов, как правило, не превышает пяти. В-третьих, при оценке качества вычислительных комплексов и их программного обеспечения привлекается малое количество экспертов, эксперты из разных регионов могут давать разные, иногда совсем противоположные, оценки об исследуемом объекте. Данное обстоятельство говорит об

отсутствии методики подбора численности группы экспертов и оценке их согласованности. В-четвертых, у экспертов отсутствует возможность сравнения функционирования программного обеспечения, так как они оценивают количественные и качественные характеристики одного вычислительного комплекса. В-пятых, при оценке качества программного обеспечения вычислительных комплексов, в процессе привлечения экспертов, достаточно редко используется какой-либо научный подход.

Таким образом, можно сказать, что в настоящее время при оценке качества программного обеспечения вычислительных комплексов уделяется незначительное внимание анализу качественных характеристик, исследуемых в процессе эксплуатации.

В данной статье предлагается рассмотреть альтернативный подход к оценке качества программного обеспечения вычислительных комплексов на основе анализа экспертных данных.

Предлагаемый подход к рассматриваемой проблеме будет заключаться в определении комплексных показателей программного обеспечения вычислительных комплексов на основе экспертного анализа их качественных метрик. Данный подход можно будет считать успешным при качественной и полной реализации следующих этапов:

- 1) выбор совокупности программного обеспечения вычислительных комплексов для исследования;
- 2) определение численности и состава экспертных групп;
- 3) оценка согласованности мнений экспертов в группе;
- 4) выбор вида комплексного показателя качества программного обеспечения вычислительных комплексов;
- 5) формирование системы качественных метрик;
- 6) выбор и оценка весовых коэффициентов;
- 7) определение комплексных показателей качества программного обеспечения вычислительных комплексов.

На первом этапе необходимо выбрать объекты исследования, как отмечалось выше в соответствии нормативными актами, как правило, должны участвовать не менее трех объектов из которых надлежит выбрать лучший для последующего применения. Достаточно важно заметить, что целесообразно осуществлять организацию «пилотных» проектов с одновременным изучением не менее трех вычислительных комплексов с соответствующим программным обеспечением. Кроме того, количество регионов страны где осуществляется исследование программного обеспечения должно быть увеличено, в идеальном случае стремиться к количеству регионов в стране. При соблюдении описанных выше условий эффективность анализа экспертных данных о качестве программного обеспечения вычислительных комплексов несомненно возрастет.

### **Обработка экспертных данных**

Профессионалы в рассматриваемой области из которых будет формироваться экспертная группа, должны выполнить многогранный анализ исследуемых данных. Процесс формирования рассматриваемой группы является не простым. Кандидаты в группу должны быть объективны и заинтересованы в предстоящей работе. Перед началом работы предстоит определить предельно допустимую ошибку в группе экспертов (пороговое значение дисперсии ошибки  $\sigma_n^2$ ), необходимо провести опрос экспертов. По результатам опроса вычисляются значения дисперсии погрешности каждого эксперта.

$$\hat{\sigma}^2[\Delta u_j^3] = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k \left( u_{ij} - \frac{1}{E} \sum_{j=1}^E u_{ij} \right)^2 \quad (1)$$

где  $u_i$  — случайная величина, реализации которой  $u_{ij}$  при  $j = 1 - E, i = 1 - k$  являются экспертными оценками  $k$  (количества программного обеспечения вычислительных комплексов), назначенными  $E$  экспертами независимо друг от друга.

Данное выражение характеризует сходимость результатов отдельных наблюдений, т.е. степень их концентрации относительно среднего арифметического. Так как погрешности экспертов представляют собой случайные величины, то достаточно важно отметить, что их среднее арифметическое, будучи вычисленным на основе ограниченного числа опытов, само является случайной величиной с математическим ожиданием, равным истинному значению, и дисперсией определяемой выражением

$$\hat{\sigma}^2[\Delta \bar{u}^3] = \frac{\hat{\sigma}^2[\Delta u^3]}{E} \quad (2)$$

Анализируя последнее выражение можно прийти к выводу, что дисперсия среднего арифметического погрешностей экспертов убывает с увеличением их количества. Левая часть выражения (2) характеризует среднюю групповую ошибку.

Затем производится ранжирование полученных результатов в порядке убывания значений погрешности. По полученным значениям определяются средние групповые ошибки, и строится зависимость между количеством экспертов в группе и средней групповой ошибкой в ней. Проекция точки пересечения полученной зависимости и прямой, определяющей пороговое (допустимое) значение дисперсии ошибки, на ось абсцисс будет характеризовать достаточное для проведения той или иной экспертизы количество экспертов  $E_\partial$ .

Следует заметить, что при этом можно определить какие именно эксперты попадут в экспертную группу, численность которой определяется величиной  $E_\partial$ . В данном случае возможны различные варианты. Однако в качестве наиболее оптимальных можно рассмотреть следующие два. В первом случае в экспертную группу включаются те эксперты, оценки которых будут характеризовать величину  $E_\partial$ . Во втором случае в группу включаются те эксперты, дисперсия погрешности которых минимальна по сравнению с остальными экспертами. Следует заметить, что первый случай характеризуется гораздо большей информативностью, чем второй. Это объясняется тем, что в группе экспертов присутствуют различные точки зрения решения поставленной задачи. Однако во втором случае согласованность мнений экспертов в группе выше, чем в первом. Достаточно важно заметить, что выбор того или иного варианта формирования группы экспертов зависит от особенностей проводимой экспертизы и определяется ее организаторами в соответствии с поставленными ими целями и задачами.

Важно заметить, что информация, которую получают от группы экспертов имеет значение и может быть использована в дальнейшем, если мнения экспертов согласованы. Оценка согласованности мнений экспертов может быть реализована различными способами, но представляется целесообразным рассмотреть два наиболее перспективных из них. Рассмотрим оценку согласованности мнений экспертов с помощью коэффициента конкордации Кендалла и метрического коэффициента [7].

Коэффициент конкордации Кендалла, рассчитывается по следующей формуле

$$W = \frac{12R}{E^2(k^3 - k)} \quad (3)$$

где  $k$  – количество объектов, которые необходимо оценить. Они обладают определенным качеством  $Y$  и упорядочены  $E$  экспертами в отношении этого качества. А величина  $R$  определяет сумму квадратов отклонений и характеризуется следующим выражением  $R$

$$R = \sum_{i=1}^k \left\{ \sum_{j=1}^E u_{ij} - \frac{1}{2} E(k+1) \right\}^2 \quad (4)$$

Отметим, что коэффициент  $W$  изменяется в диапазоне от 0 до 1 [7]. При этом если эксперты дают одинаковые оценки, то данный коэффициент равен 1, а если связи между рядами экспертных оценок не существует, то  $W$  равен 0. Значения экспертов следует признавать согласованными, если выполняется условие  $W \geq 0,5$ .

Существует и другая формула расчета коэффициента конкордации, которую используют в том случае, если какой-либо эксперт не способен установить ранговое отличие между двумя объектами и присваивает им одинаковые ранги. Данная формула имеет следующий вид

$$W = \frac{R}{\frac{1}{12} E^2 (k^3 - k) - E \sum_{j=1}^E F_j} \quad (5)$$

где величина  $F_j$  определяется как

$$F_j = \frac{1}{12} \sum_{f_j} f_j (f_j^2 - 1) \quad (6)$$

$f_j$  — количество одинаковых рангов в  $j$ -м ряду

Следует заметить, что параметр, определенный формулой (5) должен быть оценен с помощью другого критерия. Например, можно использовать критерий Пирсона ( $X^2$ ). При этом необходимо выбрать уровень значимости  $0,005 \div 0,05$  [5]. В том случае, если справедливо условие  $X_{\text{расч}}^2 > X_{\text{табл}}^2$ , то экспертные данные в итоге следует считать согласованными. Правая часть условия характеризуется числом степеней свободы  $L$ , рассчитываемое по следующей формуле

$$L = k - 1 \quad (7)$$

Левая часть, представленного выше неравенства определяется из выражения

$$X_{\text{расч}}^2 = W \cdot E(k - 1) \quad (8)$$

Если вышеуказанное условие не выполняется и расчетная величина меньше или равна табличной, то процедуру экспертного опроса следует осуществить повторно.

В практической деятельности постоянно приходится сталкиваться с ситуацией, когда необходимо оценить ряд объектов, которые по своим характеристикам почти не отличаются друг от друга. Для решения данной задачи в процессе исследования мнений экспертов следует использовать метрический коэффициент. Данный параметр определяется из выражения [6]

$$V_{\text{МК}} = \frac{R_m - R}{R_m} \quad (9)$$

Как видно из представленной выше формулы метрический коэффициент, определяющий согласованность мнений экспертов зависит от двух параметров,

характеризующих расстояния между векторами оценок экспертов в евклидовом пространстве. Первый параметр вычисляется экспериментально и определяет максимально возможное расстояние между векторами оценок экспертов, при этом зависит от количества объектов исследования и шкалы оценок. Второй параметр определяется выражением, представленным ниже

$$R = \sum_{i=1}^{E-1} \sum_{j=i+1}^E d_{ij} \quad (10)$$

Анализируя последнюю формулу, можно заметить, что рассчитываемый параметр зависит от суммы расстояний попарно сравниваемых векторов оценок двух экспертов. Для определения расстояния между оценками двух экспертов наиболее целесообразнее использовать метрику в евклидовом пространстве, тогда его можно будет рассчитать по формуле (11)

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2} \quad (11)$$

где  $x_i$  и  $y_i$  — векторы оценок  $i$ -го признака экспертов  $x$  и  $y$  соответственно.

Таким образом, если выполняется условие  $V_{МК} > 0,6$ , то мнения экспертов признаются согласованными.

Работа экспертной группы предполагает использование критерия знаков, т.е. признаки объекта исследования оцениваются символами «+» или «-». Первый символ ставится если эксперт считает, что признак повышает качество объекта, второе если понижает. Далее символы складываются и определяют оценку объекта экспертов. Оценки эксперта по всем объектам характеризуют вектор его оценок.

Исходя из представленной выше формулы очевидно, что чем меньше значение, тем больше согласованность двух экспертов. Величина  $R_m$  максимально возможного расстояния между векторами оценок экспертов при максимальном значении шкалы оценок, равном единице определяется из следующей таблицы, данные которой представлены применительно к особенностям рассматриваемой в статье задачи. В частности, имеет смысл сравнивать как минимум два вычислительных комплекса с программным обеспечением, а более трех объектов на практике, как правило, в тендере не участвуют, то соответствующие данные представлены в таблице

Таблица 1 – Максимальные расстояния между векторами оценок экспертов

Table 1 – Maximum distances between expert assessment vectors

Количество экспертов	Количество вычислительных комплексов с программным обеспечением	
	2	3
3	3,41	4,24
4	6,83	8,49
5	10,24	13,22
6	15,07	19,68
7	20,49	26,92
8	27,31	35,90
9	34,14	44,87
10	42,38	55,58

Данные в представленной выше таблице рассчитаны экспериментальным путем[6]. Эксперимент проводился для нескольких объектов, а количество экспертов менялось от трех до десяти (т.е.  $E = 3..10$  и  $k = 2..5$ , в таблице выше представлены данные для  $k = 2..3$ ). В начале эксперимента максимальное значение шкалы оценок было равно единице и рассчитывалось значение  $R_m$  двумя методами: последовательного перебора и покоординатного спуска. В методе последовательного перебора рассчитывались значения величины  $R_m$  для всех возможных комбинаций экспертных оценок при фиксированных  $E$  и  $k$ . Потом выбиралось максимальное значение рассчитываемой величины. Необходимо отметить, что при использовании второго метода вначале выбиралась в качестве начала отсчета случайная точка. Используя алгоритм покоординатного спуска находился локальный максимум. В результате получалась некоторая совокупность локальных максимумов, из которой в последствии выбирался локальный максимум с наибольшим значением. После оценки согласованности мнений экспертов с помощью одного из или обоих коэффициентов, рассмотренных выше, необходимо приступать к следующему этапу сравнения программного обеспечения нескольких вычислительных комплексов.

Для исследования качества программного обеспечения вычислительных комплексов целесообразно определить вид комплексного показателя. В многих источниках литературы общий вид комплексного показателя качества определяется как некоторая функция коэффициентов весомости  $p_1, p_2, \dots, p_m$  и оценок единичных показателей  $v_1, v_2, \dots, v_m$  [6]:

$$Z = f(v_1, v_2, \dots, v_m, p_1, p_2, \dots, p_m) \quad (12)$$

Однако на практике, в целях определения комплексных показателей качества, чаще всего пользуются средневзвешенными арифметическими и геометрическими зависимостями.

$$Z = \sum_{i=1}^m p_i v_i \quad , \quad Z = \prod_{i=1}^m v_i^{p_i} \quad (13)$$

Средневзвешенная геометрическая зависимость характеризуется гораздо большей чувствительностью, чем средневзвешенная арифметическая зависимость. При этом данная зависимость характеризуется некоторым недостатком, который заключается в том, что комплексный показатель качества может принять нулевое значение. Чтобы данное обстоятельство не возникло некоторые единичные показатели приравнивают единице. Поэтому выбор вида зависимости комплексного показателя должен также учитывать специфику решаемой задачи. Определившись с арифметической или геометрической зависимостью комплексного показателя следует приступить к формированию системы качественных метрик программного обеспечения исследуемых вычислительных комплексов. В соответствии нормативными документами оценка качества программного обеспечения вычислительных комплексов осуществляется с помощью категорийных, количественных и качественных метрик.

В рамках данной статьи будут рассмотрены качественные метрики программного обеспечения. В качестве примера для оценки программного обеспечения вычислительных комплексов можно привести такие атрибуты качества как практичность, сопровождаемость, мобильность, подхарактеристики и метрики которых, описываются: понятностью, наглядностью, полнотой документации, доступностью для понимания, четкостью концепции программного обеспечения, легкостью управления функциями программного обеспечения, комфортностью эксплуатации, временем ввода и отклика на задание, длительностью решения типовых задач, временем регистрации

результатов и т.д. Из представленных выше качественных метрик составляется исходный список показателей программного обеспечения вычислительных комплексов и раздается экспертам. Далее возможны различные варианты обработки результатов работы экспертов. Один из них заключается в том, что эксперты вычеркивают из списка все незначимые показатели. Потом в ходе открытой беседы эксперты обмениваются мнениями и утверждают список показателей. Другой способ обработки результатов работы экспертов основан на использовании критерия знаков [7].

Данный критерий применяется для того, чтобы отличить один однородный объект от другого и представляет собой простой непараметрический метод проверки. Эксперты, используя критерий знаков, оценивают исходный список знаками «+» и «-». При этом если показатель значим, то напротив него в графе оценка эксперта ставится знак «+» [4]. В том случае, если показатель незначим, то ставится оценка «-». Далее предполагается, что имеется два списка показателей, на основе которых будет производиться оценка качества программного обеспечения вычислительных комплексов (исходный и гипотетический списки). Эксперты, сравнивая их между собой, производят оценку исходного списка. Для двух списков исходного и гипотетического определяют функции распределения генеральной совокупности  $F_i(x)$  и  $G_i(x)$  соответственно. Данные функции характеризуются выборочными значениями  $x_i$  и  $x_i'$ . Произведение количества экспертов на количество показателей в списке характеризует объем выборки. Далее формулируют гипотезу (нулевую)  $H_0$ . Если выполняется условие  $F_i(x) = G_i(x)$  абсолютно для всех  $x$ , то рассматриваемые списки одинаковы и существенного различия между ними нет. Проверка гипотезы предполагает непрерывность функции распределения. Необходимо учитывать, что вероятность предпочтения показателя исходного списка  $x_i$  (т.е. когда показатель значим и его необходимо включить в список) равна вероятности предпочтения значения  $x_i'$  (т.е. когда показатель незначим и его необходимо исключить из списка). Нулевая гипотеза может быть отвергнута, если истинно следующее выражение  $k^+ \geq k_\alpha$ . Левая часть выражения определяется параметром, который представляет собой количество полученных символов «+». Данный параметр должен удовлетворять биномиальному закону распределения с  $p_0 = 0,5$ . Правую часть выражения можно определить из соответствующих статистических таблиц для критерия знаков [7].

Таким образом, если отвергается нулевая гипотеза и отсутствует информация от экспертов о включении в список дополнительных показателей (или исключении из него каких-либо показателей), то утверждается исходный список показателей, по которым будет производиться оценка качества программного обеспечения вычислительных комплексов. Если же нулевая гипотеза отвергается и определены дополнительные показатели, то формируется новый список, состоящий из показателей исходного списка и вновь сформированных. Новый список раздается экспертам, которые по известной методике производят его оценку. При этом если отвергается нулевая гипотеза, то утверждается новый список, а если данная гипотеза не отвергается, то принимается исходный список. При необходимости включения других дополнительных показателей, формируется другой список, учитывающий новые дополнения, который также раздается экспертам, и процедура проводится заново, пока в предыдущие списки не будут вноситься дополнения и сформируется окончательный список, при оценке которого нулевая гипотеза будет отвергнута. После формирования окончательного списка показателей качества программного обеспечения вычислительных комплексов, следует определиться с экспертной оценкой весовых коэффициентов.

Необходимо выполнить ранжирование данных. При этом данную процедуру можно осуществить, используя метод предпочтения или метод попарного

сопоставления. Первый метод целесообразнее применять, когда число показателей в рассматриваемом списке не более пяти. Так как показателей, как правило больше пяти, как и в нашем примере, целесообразнее всего использовать метод попарного сравнения. Далее экспертами определяются весовые коэффициенты (коэффициенты весомости) для ранжированных единичных показателей качества методом непосредственного оценивания. Так коэффициент весомости  $p_{max}$  присваивается первому в упорядоченном списке показателю, а последнему –  $p_{min}$ . Значения остальных весовых коэффициентов должно находиться между данными величинами. Диапазон изменения весовых коэффициентов изменяется, как правило, от 0,1 до 1. После определения весовых коэффициентов проверяется согласованность экспертных данных и рассчитываются погрешности определения весовых коэффициентов. Погрешность экспертных данных следует выражать длиной интервала

$$\delta_{\alpha}^i = t_{\alpha} \sigma[\hat{p}_i] \quad (14)$$

где  $\sigma[\hat{p}_i]$  — среднеквадратическая погрешность оценки  $\hat{p}_i$   $i$ -го коэффициента весомости;  $t_{\alpha}$  — коэффициент, определяемый из соответствующих статистических таблиц. Среднеквадратическую погрешность оценки величины  $\hat{p}_i$  можно определить из нижеприведенной формулы

$$\sigma[\hat{p}_i] = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^E (p_{ij} - \hat{p}_i)^2}{(E - 1)E}} \quad (15)$$

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

$$\hat{p}_i = \frac{\sum_{j=1}^E p_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^E p_{ij}} \quad (16)$$

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

Кроме того, следует рассчитать максимальную погрешность определения  $j$ -м экспертом коэффициентов весомости  $\delta_{j \max}^3$

$$\delta_{j \max}^3 = \max \left\{ \left| \Delta p_j^3 + t_{\alpha} \hat{\sigma} [\Delta p_j^3] \right|, \left| \Delta p_j^3 - t_{\alpha} \hat{\sigma} [\Delta p_j^3] \right| \right\} \quad (17)$$

где  $\Delta p_j^3$  — погрешность  $j$ -го эксперта в оценке всей совокупности коэффициентов весомости. Данная величина характеризуется математическим ожиданием  $\Delta p_j^3$  и среднеквадратической погрешностью  $\hat{\sigma} [\Delta p_j^3]$ . Данные характеристики определяются, соответственно, из следующих формул

$$\Delta p_j^3 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( p_{ij} - \frac{1}{E} \sum_{j=1}^E p_{ij} \right) \quad (18)$$

$$\hat{\sigma} [\Delta p_j^3] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \left( p_{ij} - \frac{1}{E} \sum_{j=1}^E p_{ij} \right)^2}{m - 1}} \quad (19)$$

Обработка экспертных данных по указанным выше формулам должна установить отношение весовых коэффициентов  $p_{ij}$  с одной стороны и интервальные оценки погрешности  $\delta_{\alpha}^i$  с оценкой погрешностей экспертов  $\delta_{j \max}^3$  с другой. Если при анализе экспертных данных определяется, что величины  $\delta_{\alpha}^i$  и  $\delta_{j \max}^3$  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. Завершающий этап оценки качества программного обеспечения вычислительных комплексов предполагает использование полученных ранее вида функциональной зависимости комплексного показателя качества, весовых коэффициентов, значений единичных показателей, определенных экспертами с помощью соответствующей шкалы оценки. После вычисления комплексного показателя качества каждого из исследуемых аналогов программного обеспечения вычислительных комплексов, выбирается то программное обеспечение, чей показатель оказался больше.

Далее представлен алгоритм оценки качества программного обеспечения трех вычислительных комплексов на основе анализа экспертных данных. В представленном ниже алгоритме необходимо оценить качество программного обеспечения трех вычислительных комплексов  $Q_1, Q_2, Q_3$  и выбрать лучший из них  $Q_{\text{опт}}$ . Как отмечалось ранее, количество объектов сравнения определяется из особенности практики применения различных конкурсов и тендеров для выбора оптимального образца. Согласно представленному выше алгоритму, на следующем шаге необходимо сформировать группу экспертов. При этом необходимо определить состав группы, зависящий от специфики решаемой задачи и численность группы  $E_{\partial}$ , задав предварительно пороговое значение дисперсии ошибки  $\sigma_n^2$  (среднегрупповой ошибки). Решив задачу с составом и численностью группы экспертов следует оценить согласованность мнений экспертов с помощью метрического коэффициента и коэффициента конкордации Кендэла, причем если значения первого будут больше 0,6, а второго более 0,5, то данные можно признать согласованными. В противном случае необходимо вернуться на предыдущий этап и изменить качественный или количественный состав группы экспертов. После признания согласованности мнений экспертов выбирается комплексный показатель качества для рассматриваемых объектов исследования, в частности в качестве примера выбрана средневзвешенная арифметическая математическая модель показателя качества программного обеспечения. Используя критерий знаков, далее формируется система качественных метрик, т.е. пока не будет выполнено условие  $k^+ \geq k_{\alpha}$  не сформируется окончательный список показателей качества программного обеспечения вычислительных комплексов, который будут оценивать эксперты. На следующем шаге, согласно алгоритму, по приведенной ранее методике эксперты расставляют весовые коэффициенты, оценивается согласованность экспертов в группе и далее проверяется погрешность экспертных данных при определении весовых коэффициентов. Если погрешность относительно весовых коэффициентов существенно меньше, то ею можно пренебречь и приступить к расчету комплексных показателей качества программного обеспечения трех рассматриваемых вычислительных комплексов в соответствии с указанной выше математической моделью. На последнем шаге осуществляется выбор  $Q_{\text{опт}}$  того программного обеспечения вычислительного комплекса, чей комплексный показатель качества оказался больше.

### Заключение

В работе представлен альтернативный подход и алгоритм оценки качества программного обеспечения вычислительных комплексов на основе анализа экспертных данных. Дальнейшим развитием идей, изложенных в указанной статье, будет являться разработка программного обеспечения для реализации представленного ниже алгоритма.

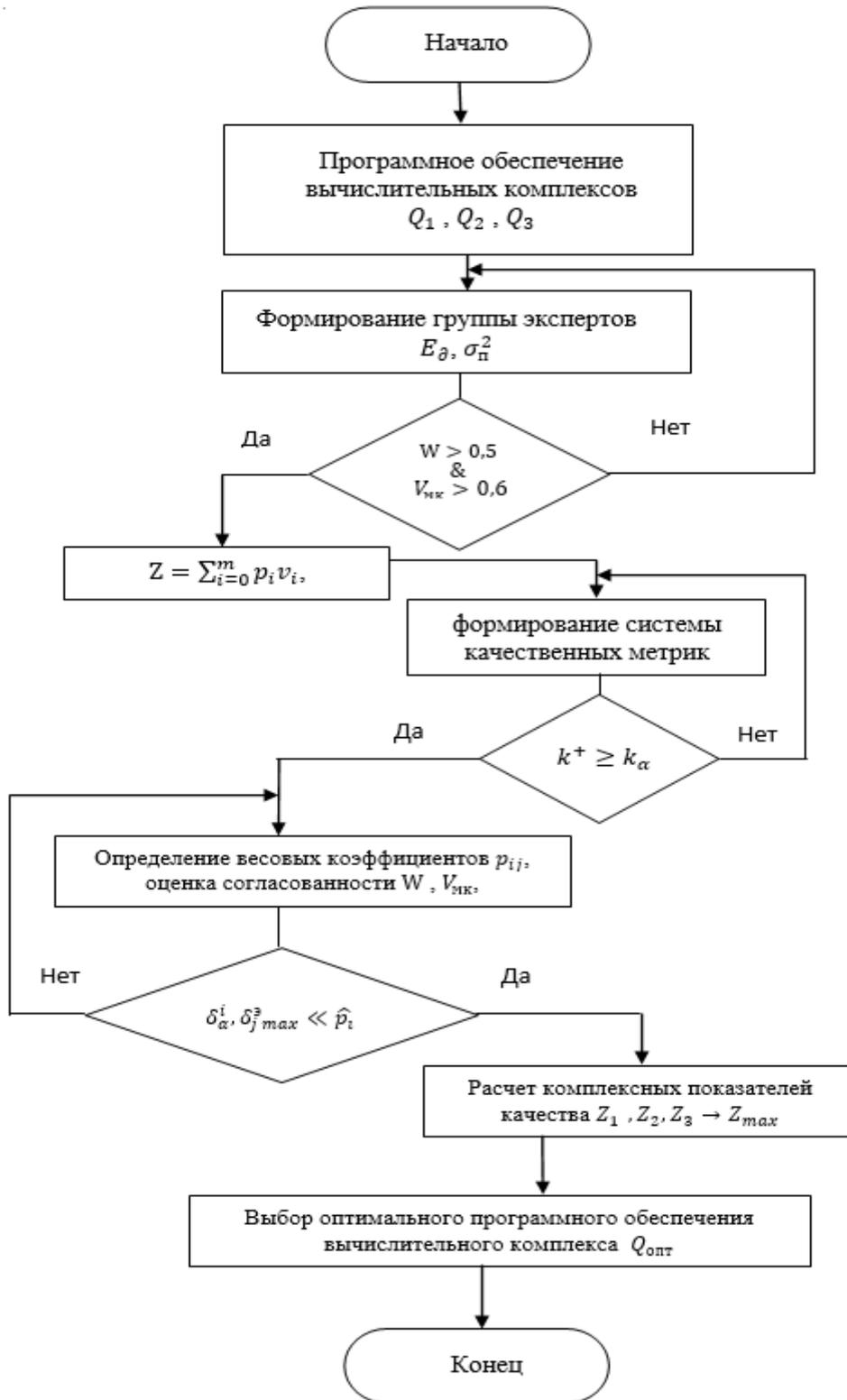


Рисунок 1 – Алгоритм оценки качества программного обеспечения вычислительных комплексов на основе анализа экспертных данных  
Figure 1 – Algorithm for evaluation of software quality of computing systems based on expert data analysis

## ЛИТЕРАТУРА

1. Atanov G., Pustynnikova I. Learning by constructing knowledge bases for expert systems. *Proc. International Conf. on Computers in Education*. 1999:555-558.
2. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. *Математико-статистические методы экспертных оценок*. Москва: Статистика. 1980.
3. Бухарин С.В., Конобеевских В.В. Комбинированный метод выявления знаний экспертов. *Вестник Воронежского института МВД России*. 2005;2:22-25.
4. Бухарин С.В., Конобеевских В.В. Методика исследования взаимозависимости мнений экспертов в технических и экономических приложениях *Современные проблемы борьбы с преступностью: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции*. (Воронеж, 19-20 марта 2005 г.) – Воронеж, 2005:12-14.
5. Бухарин С.В., Конобеевских В.В. Обобщенный критерий Пирсона в объединении разнородных таблиц экономической статистики. *Современные проблемы борьбы с преступностью: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции*. (Воронеж, 19-20 марта 2005 г.) – Воронеж, 2005:14-16.
6. 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.
7. Кендэлл М. Дж. *Ранговые корреляции*. Москва: Статистика. 1975.
8. Князева О.М., Мустафаева Н.Н. Методика оценки качества систем обработки данных вуза. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика*. 2017;2:69-79.

## REFERENCES

1. Atanov G., Pustynnikova I. Learning by constructing knowledge bases for expert systems. *Proc. International Conf. on Computers in Education*. 1999:555-558.
2. Beshelev S.D., Gurvich F.G. *Mathematical and statistical methods of expert assessments*. Moscow: Statistics. 1980:240.
3. 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.
4. Bukharin S.V., Konobeevskikh V.V. Methods for studying the interdependence of expert opinions in technical and economic applications. *Modern problems of fighting crime. Collection of materials of the All-Russian scientific-practical conference*. (Voronezh, March 19-20, 2005). 2005:12-14.
5. Bukharin S.V., Konobeevskikh V.V. Generalized Pearson criterion in combining heterogeneous tables of economic statistics. *Modern problems of fighting crime. Collection of materials of the All-Russian scientific-practical conference*. (Voronezh, March 19-20, 2005). 2005:14-16.
6. 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.
7. Kendall M. J. *Rank correlations*. Moscow: Statistics. 1975.
8. Knyazeva O.M., Mustafaeva N.N. The techniques of assessment of quality of university data processing systems. *The bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2017;2:69-79

## 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