

УДК 519.72

DOI: [10.26102/2310-6018/2021.32.1.023](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.32.1.023)

Выбор программного обеспечения вычислительных комплексов обработки данных административных материалов нарушений правил дорожного движения

В.В. Конобеевских, М.В. Питолин

*Воронежский институт МВД России, Воронеж,
Российская Федерация*

Резюме. Эмпирические исследования показали четкую зависимость уровня аварийности в регионе от качества и эффективности работы программного обеспечения вычислительных комплексов обработки данных административных материалов нарушений правил дорожного движения. В связи с чем возникла актуальная задача выбора оптимального программного обеспечения вычислительных комплексов обработки данных административных материалов нарушений правил дорожного движения. В данной работе предлагается исследование качественных характеристик программного обеспечения вычислительных комплексов обработки данных административных материалов нарушений правил дорожного движения на основе компонентного анализа. Для исследования качественной составляющей программного обеспечения в работе представлены 15 характеристик и их количественные показатели, полученные от экспертов в области организации безопасности дорожного движения. Освещены вопросы компонентного анализа объекта исследования, показаны результаты анализа трех групп качественных характеристик, позволяющих осуществлять выбор программного обеспечения как по определенной группе характеристик, так и на основе комплексного показателя качества. Дальнейшим развитием идей, изложенных в указанной статье, будет являться разработка пакета прикладных программ по оптимальному выбору программного обеспечения вычислительных комплексов обработки данных административных материалов нарушений правил дорожного движения.

Ключевые слова: компонентный анализ, программное обеспечение вычислительных комплексов, административные материалы, нарушения правил дорожного движения, главная компонента, комплексы фотовидеофиксации, комплексный показатель качества.

Для цитирования: Конобеевских В.В., Питолин М.В. Выбор программного обеспечения вычислительных комплексов обработки данных административных материалов нарушений правил дорожного движения. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021;9(1). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=946> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.32.1.023

Selection of computing complex for processing data of administrative materials of traffic violations software

V.V. Konobeevskikh, M.V. Pitolin

*Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation,
Voronezh, Russian Federation*

Abstract: Empirical studies have shown a clear dependence of the accident rate in the region on the quality and efficiency of software for processing data of administrative materials of traffic violations. Choosing the optimal software for computing systems for administrative materials of traffic violation processing is an urgent problem nowadays. This paper proposes a study of the characteristics of software of computer systems for processing data of administrative materials of qualitative analysis of traffic

rules based on component mining. Fifteen characteristics and their quantitative indicators were presented for the study of the qualitative component of the software. They were received from experts in the field of road safety management. The issues of component analysis of the research object are covered. Analysis results of three groups of qualitative characteristics allowing to make a selection of software are shown, both based on a specific group of properties and the basis of a complex quality indicator. Further development of the ideas set out in this article will be the design of an application package for the optimal choice of software for computer systems for processing data of administrative materials of traffic violations.

Keywords: componential analysis, software of computing complexes, administrative materials, traffic offenses, main component, photo and video recording complexes, integrated quality indicator.

For citation: Konobeevskikh V.V., Pitolin M.V. Selection of software of computing complexes for processing data of administrative materials of traffic violations. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2021;9(1). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=946> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.32.1.023 (In Russ).

Введение

Согласно статистическим данным за последние два десятилетия в нашей стране существенно возросло количество транспортных средств, осуществляющих движение по автомобильным дорогам. Следует заметить, что пропускная способность многих дорог существенно меньше транспортных потоков, двигающихся по ним автомобилей. Пропускная способность, нарушение скоростного режима и множество других факторов приводят к тому, что, к сожалению, ежегодно приходится констатировать, негативную статистику по пострадавшим и погибшим в дорожно-транспортных происшествиях на дорогах нашей страны. В последнее время, в целях нормализации дорожной обстановки, повышения культуры управления транспортными средствами, уменьшения количества нарушений правил дорожного движения стали интенсивно внедряться комплексы и системы фотовидеофиксации с соответствующим программным обеспечением (ПО). Данные комплексы и системы работают круглосуточно как в автоматическом, так и в автоматизированном режимах. Ключевым элементом в рассматриваемых структурно-распределенных системах, осуществляющих фотовидеофиксацию нарушений правил дорожного движения, является программное обеспечение, предназначенное для обработки данных административных материалов.

Важным обстоятельством является тот факт, что применение указанных комплексов и систем фотовидеофиксации позволяет существенно снизить аварийность на опасных участках дорог. Эмпирические исследования показали четкую зависимость уровня аварийности в регионе от качества и эффективности работы программного обеспечения вычислительных комплексов обработки данных административных материалов нарушений правил дорожного движения. Другими словами, чем эффективнее программное обеспечение, тем больше возможностей по купированию аварийных и потенциально аварийных участков в регионе применения ПО.

Современное развитие науки и техники позволило представить на рынке товаров и услуг достаточно большое количество образцов программного обеспечения вычислительных комплексов обработки данных административных материалов нарушений правил дорожного движения, характеризующихся достаточно большим количеством параметров. Если количественные характеристики ПО достаточно легко сравнить, то с качественными не так все однозначно.

Таким образом, поставлена цель работы – построение математических зависимостей, на основе компонентного анализа, позволяющих осуществить оптимальный выбор программного обеспечения вычислительных комплексов, как по

определенной группе характеристик, так и на основе комплексного показателя качества. При этом решались задачи анализа, группировки характеристик программного обеспечения вычислительных комплексов и выбора главных компонент, которые влияют на качество программного обеспечения. Учитывая представленные выше обстоятельства, следует констатировать, что возникает актуальная задача выбора оптимального программного обеспечения вычислительных комплексов обработки данных административных материалов нарушений правил дорожного движения. Один из научно обоснованных подходов решения представленной выше задачи будет представлен в данной статье.

Материалы и методы

В рассматриваемой статье предлагается решить задачу выбора оптимального программного обеспечения вычислительных комплексов обработки данных административных материалов нарушений правил дорожного движения. Для решения задачи будут использованы статистические процедуры, основанные на использовании математического аппарата компонентного анализа. Данное обстоятельство обусловлено несколькими причинами. Во-первых, компонентный анализ способен исследовать одновременно несколько параметров. Во-вторых, появляется возможность выражать один показатель через остальные. В-третьих, можно связать воедино систему единичных показателей качества. В-четвертых, представляется возможным выбрать оптимальные решение, если несколько главных компонент вносят одинаковый вклад в суммарную дисперсию. В-пятых, точность компонентного метода больше по сравнению с регрессионным. Рассматриваемый математический аппарат позволяет обнаружить связь между показателями качества программного обеспечения, в частности применительно к вычислительным комплексам обработки данных административных материалов нарушений правил дорожного движения. При этом применяется переход от m единичных показателей качества Z_1, Z_2, \dots, Z_m рассматриваемых образцов ПО к главным компонентам T_1, T_2, \dots, T_m . Зависимость главных компонент от единичных показателей может характеризоваться линейной зависимостью.

$$T_i = \sum_{j=1}^m f_{ij} Z_j, i = 1 - m \quad (1)$$

Компонентный анализ включает в себя несколько направлений. В частности, первое из них предполагает анализ последней главной компоненты, так как последняя компонента определяется минимальной дисперсией.

$$T_m = f_{m1} Z_1 + f_{m2} Z_2 + \dots + f_{mm} Z_m \quad (2)$$

Достаточно важно заметить, что если исследуемые образцы программного обеспечения достаточно близки по уровню качества, то дисперсия последней компоненты $\sigma^2[T_m]$ примет минимальное значение. Реализация другого направления рассматриваемого аппарата направлено на анализ компонент, которые имеют наибольшую дисперсию. В таком случае исследуется информативность компонент, применительно к наличию и характеристикам взаимосвязи между показателями качества. Количество компонент обладающих значительной долей дисперсии мало. Следовательно представляется возможным замена m единичных показателей качества l компонентами ($l < m$). В данной работе в качестве объекта исследования выбрано 15 качественных характеристик программного обеспечения вычислительных комплексов обработки данных административных материалов нарушений правил дорожного

движения по которым будет оцениваться 7 образцов ПО. В целях эффективного использования компонентного метода необходимо перейти от качественной интерпретации характеристик программного обеспечения к количественным показателям[1]. Поэтому в работе использовались оценки экспертов в области эксплуатации программного обеспечения вычислительных комплексов обработки данных административных материалов нарушений правил дорожного движения. Каждая характеристика всех образцов ПО оценивалась экспертом по десятибалльной шкале[2]. Результаты оценок экспертов представлены в Таблице 1. Для удобства исследования 15 характеристик были разделены на 3 группы качеств. Каждая группа качеств представлена отдельно (Таблица 2, Таблица 3, Таблица 4).

Таблица 1 – Количественные характеристики программного обеспечения
Table 1 – Software Quantities

№ п/п	Качественная характеристика	ПО 1	ПО 2	ПО 3	ПО 4	ПО 5	ПО 6	ПО 7
1.	1.1.	48	35	38	25	15	43	30
2.	1.2.	50	25	35	30	28	33	20
3.	1.3.	45	15	38	20	32	24	33
4.	1.4.	39	35	30	22	34	28	15
5.	1.5.	47	42	28	35	14	29	36
6.	2.1.	38	43	34	36	40	29	30
7.	2.2.	45	49	41	26	42	37	16
8.	2.3.	40	45	39	33	29	44	36
9.	2.4.	41	48	35	23	36	41	27
10.	2.5.	36	42	20	35	26	27	30
11.	3.1.	41	25	27	39	32	28	19
12.	3.2.	48	29	26	45	40	42	38
13.	3.3.	50	35	37	41	29	34	27
14.	3.4.	30	34	20	25	30	41	40
15.	3.5.	35	47	37	27	45	25	17

Таблица 2 – Первая группа качеств программного обеспечения
Table 2 – First group of software qualities

№ п/п	Сравниваемый параметр	ПО 1	ПО 2	...	ПО 7
1.	1.1. Стабильность / скорость работы	Бывают зависания/сбои. Максимальное время неработоспособности ПО 12 часов.	Бывают зависания. Максимальное время неработоспособности ПО 20 часов.	...	Бывают зависания. Максимальное время неработоспособности ПО 34 часа
2.	1.2. Техническая поддержка	Тех поддержку осуществляют, специалисты и опытные программисты. Для связи мессенджеры, телефон. Обратная связь в течение 1 часа.	Обращения в тех. поддержку осуществляются через интерфейс ПО. Обратная связь по обращениям дается в течение суток.	...	Есть колл-центр с единым телефоном и мессенджерами по разделам ПО. Обратная связь в течение нескольких часов.
3.	1.3. Резервное копирование	Настраиваемое бэкапирование в зависимости от серверной конфигурации ЦАФАП	Не настраиваемое бэкапирование	...	Не настраиваемое бэкапирование

4.	1.4. Безопасность	Аудит действий пользователей, подпись ЭП, разграничение прав доступа в т.ч. к персональным данным	Аудит действий пользователей, подпись ЭП, разграничение прав доступа	...	Аудит действий пользователей, подпись ЭП, разграничение прав доступа
5.	1.5. Хранение данных	Децентрализованное. На серверных мощностях, размещенных в регионе. Возможен переход на централизованное хранение данных	Децентрализованное. На серверных мощностях, размещенных в регионе.	...	Децентрализованное. На серверных мощностях в регионе. Возможен переход на централизованное хранение данных

Таблица 3 – Вторая группа качеств программного обеспечения
Table 3 – Second group of software qualities

№ п/п	Сравниваемый параметр	ПО 1	ПО 2	...	ПО 7
1.	2.1. Документация	Документация и ПО при поставке оборудования	Документация выложена на web ресурсе	...	Документация выложена на web ресурсе
2.	2.2. Доработки ПО под потребности заказчика	Новые доработки выходят 1 раз в месяц вместе с обновлением ПО	Доработки не согласовываются	...	Новые доработки после долгого согласования.
3.	2.3. Интеграции со сторонним ПО и внешними источниками	Интеграция со сторонним ПО на основе технологий web-сервисов	Интеграция со сторонним ПО не осуществляется	...	Осуществляется интеграция с определенными сторонними ПО
4.	2.4. Варианты запуска	Толстый клиент 1С Тонкий клиент 1С Web-браузер	Web-браузер	...	Web-браузер
5.	2.5. Анализ аварийности	Да	Нет	...	Нет

Таблица 4 – Третья группа качеств программного обеспечения
Table 4 – Third group of software qualities

№ п/п	Сравниваемый параметр	ПО 1	ПО2	...	ПО 7
1.	3.1. Разделение на стадии обработки нарушений без доступа к данным	Реализовано на всех стадиях обработки материалов нарушений	Нет	...	Нет
2.	3.2. Гибкость используемых механизмов и инструментов	Гибкие настройки в зависимости от размера региона и используемых практик работы	Не имеет гибких настроек функциональности	...	Не имеет гибких настроек функциональности

3.	3.3. Модуль мониторинга	Автоматически отслеживает работоспособность. Получает другие данные с датчиков	Не получает данные с датчиков.	...	Не получает данные с датчиков. ручное изменения статусов
4.	3.4. Распознавание марок и моделей	Да	Нет	...	Нет
5.	3.5. Проверка дислокаций	Сравнение координат, адреса, скорости, данных с комплексов с планом выставлений	Есть сверка только адреса комплекса	...	Есть сверка только адреса комплекса

При этом каждая группа (выборка), определялась свойствами программного обеспечения $k=7$. В свою очередь каждое программное обеспечение характеризуется $m=5$ показателями качества (выборка группы). В компонентном методе рассматриваемая выборка представляется в виде матрицы

$$Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1m} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2m} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ Z_{k1} & Z_{k2} & \dots & Z_{km} \end{pmatrix} \quad (3)$$

где j -я строка матрицы характеризует совокупность показателей качества j -го программного обеспечения выборки $Z_j = \{Z_{j1}, Z_{j2}, \dots, Z_{jm}\}$, $j = 1 - k_1$. Как отмечалось ранее необходимо перейти от исследуемых показателей к главным компонентам. Выборочная ковариационная матрица позволяет дать характеристику свойствам для нормально распределенной генеральной совокупности

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma^2_1 & l_{12} & \dots & l_{1m} \\ l_{21} & \sigma^2_2 & \dots & l_{2m} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ l_{m1} & l_{m2} & \dots & \sigma^2_m \end{pmatrix} \quad (4)$$

где σ^2_i выборочная дисперсия i -го показателя, l_{ih} — выборочный коэффициент ковариации между i -м и h -м показателями качества. Выборочная дисперсия и выборочный коэффициент ковариации рассчитываются по формулам

$$\sigma^2_i = \frac{1}{l-1} \sum_{j=1}^l (Z_{ij} - \widehat{Z}_i)^2 \quad (5)$$

$$l_{ih} = \frac{1}{l-1} \sum_{j=1}^l (Z_{ij} - \widehat{Z}_i)(Z_{jh} - \widehat{Z}_h) \quad (6)$$

где \widehat{Z}_i — среднеарифметическое значение показателя Z_i .

Достаточно важно заметить, что выборочная корреляционная матрица также может успешно характеризовать свойства нормально распределенной генеральной совокупности

$$P_R = \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2m} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & 1 \end{vmatrix} \quad (7)$$

где r_{ih} — выборочный коэффициент корреляции между i -м и h -м показателями качества [3]. Учитывая представленные выше преобразования можно рассчитать дисперсию i -й компоненты

$$\sigma^2[T_i] = f_i' P_R f_i \quad (8)$$

где $f_i' = (f_{1i}, f_{2i}, \dots, f_{mi})$ — транспонированный вектор-столбец. На следующем шаге вычисляется первая главная компонента. При этом находится вектор f_1 , так чтобы выполнялось условие ($f_1' f_1 = 1$) и сохранялся максимум дисперсии. Данное обстоятельство представляется возможным при использовании метода Лагранжа. Последний использует максимизацию функционала

$$\varphi = f_i' P_R f_i - \lambda (f' f - 1) \quad (9)$$

где λ — множитель Лагранжа. Последнее выражение (9) может достичь максимального значения если выполняется условие

$$\frac{\partial \varphi}{\partial f} = 0 \quad (10)$$

Следующее действие предполагает определение вектора частных производных

$$(P_R - \lambda I) f = 0 \quad (11)$$

Необходимо отметить, что выражение (11) можно представить в следующем виде

$$\begin{aligned} (1 - \lambda) f_{11} + r_{12} f_{12} + \dots + r_{1m} f_{1m} &= 0 \\ r_{21} f_{11} + (1 - \lambda) f_{12} + \dots + r_{2m} f_{1m} &= 0 \\ \dots & \dots \\ r_{m1} f_{11} + r_{m2} f_{12} + \dots + (1 - \lambda) f_{1m} &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

Представленное выше выражение можно вычислить, когда определитель равен нулю

$$\begin{vmatrix} (1 - \lambda) & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & 1(1 - \lambda) & \dots & r_{2m} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & (1 - \lambda) \end{vmatrix} = 0 \quad (13)$$

Решая уравнение (13), приходим к обстоятельству, что собственные числа корреляционной матрицы P_R являются корнями данного характеристического уравнения. Тогда корни уравнения должны удовлетворять следующему выражению

$$P_R f_i = \lambda f_i \quad (14)$$

где f_i — i -й собственный вектор матрицы, соответствующий собственному числу λ_i . Кроме того, из формулы (12) можно найти собственные векторы. Для этого необходимо выполнить подстановку собственных чисел $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_m$. Анализ корней

исследуемого уравнения позволяет утверждать, что они разные по значению, действительны и упорядочены. Применяя формулы (8) и (14), переходим к выражению, которое представлено следующим образом

$$\sigma^2[T_i] = f_i' P_R f_i = \lambda_i f_i' f_i = \lambda_i \quad (15)$$

На следующем шаге исследования вычисляется вес первой главной компоненты. Данный параметр определяется максимальной дисперсией. Чтобы найти вес первой компоненты следует в формулу (12) подставить λ_1 . Аналогичным образом находятся веса остальных главных компонент. Для решения однородных уравнений целесообразно применять итерационные процедуры [3]. В рассматриваемых процедурах определяются коэффициенты соответствующей главной компоненты и последовательно вычисляются корни характеристического уравнения. Реализация процедуры осуществляется на следующем этапе. Составляется вектор начальных приближений $f_i^0 = (f_{1i}^0, f_{2i}^0, \dots, f_{mi}^0)$. Параметры f_{hi}^0 , $h = 1 - m$ рассчитываются как суммы элементов соответствующих столбцов корреляционной матрицы (7). Данные компоненты нормируются, таким образом, чтобы максимальный элемент был равен единице. Для выполнения указанных действий применяем выражение (16)

$$f_{hi}^0 = \frac{\sum_{j=1}^m r_{jh}}{\max_h \sum_{j=1}^m r_{jh}}, h = 1 - m \quad (16)$$

Последующие шаги будут направлены на расчет параметров векторов начальных приближений, при этом используется выражение

$$f_i^q = P_R f_i^{(q-1)}, q = 1 - p \quad (17)$$

где p — количество итераций.

Итерационный процесс выполняется такое количество раз, пока не будет реализовано условие: элементы вектора последующего приближения должны быть близки к элементам вектора предыдущего приближения. Полученные данные из представленного выше выражения используются для вычисления коэффициентов весомости главных компонент

$$\tilde{f}_{ij} = \frac{f_{ij} \sqrt{\lambda_i}}{\sqrt{f_{i1}^2 + f_{i2}^2 + \dots + f_{im}^2}} \quad (18)$$

Вычисление выражения (18) приводит к совокупности векторов. Важно заметить, что полученные вектора состоят из коэффициентов весомости соответствующих главных компонент. Далее необходимо убедиться в правильности выполненных расчетов. Если расчеты верны, то выражение (19) будет истинно.

$$GG' = P_R \quad (19)$$

где G — матрица, столбцы которой составлены из коэффициентов весомости главных компонент. На следующем этапе компонентного метода выполняются расчеты относительно последней компоненты, так как ее вклад в суммарную дисперсию минимален. При этом качество программного обеспечения от единичных показателей будет определяться

$$Q = T_m = \sum_{j=1}^m f_{mj}Z_j \quad (20)$$

Следует заметить, что выполнение расчетов относительно последней главной компоненты имеют смысл, если ее дисперсия мала

$$\eta_m = \frac{\sigma^2[T_m]}{\sum_{i=1}^m \sigma^2[T_i]} \ll 1 \quad (21)$$

Дальнейшие действия направлены на исследования первых главных компонент, так как они достаточно информативны. Расчет информативности главных компонент определяется из формул

$$\begin{aligned} \eta_1 &= \frac{\sigma^2[T_1]}{\sum_{i=1}^m \sigma^2[T_i]} = \frac{\lambda_1}{\sum_{i=1}^m \lambda_i}; \\ \eta_2 &= \frac{\sum_{j=1}^2 \sigma^2[T_j]}{\sum_{i=1}^m \sigma^2[T_i]} = \frac{\sum_{j=1}^2 \lambda_j}{\sum_{i=1}^m \lambda_i}; \\ &\dots\dots\dots \\ \eta_n &= \frac{\sum_{j=1}^n \sigma^2[T_j]}{\sum_{i=1}^m \sigma^2[T_i]} = \frac{\sum_{j=1}^n \lambda_j}{\sum_{i=1}^m \lambda_i}; \end{aligned} \quad (22)$$

Анализ результатов, полученных из выражения (22) направлен на осуществление выбора главных компонент, которые влияют на качество программного обеспечения. После определения количества и параметров главных компонент рассчитывается комплексный показатель качества на основе среднеарифметического значения уровней качества для первых и последней компонент по которому и выбирается оптимальное программное обеспечение вычислительных комплексов обработки данных административных материалов нарушений правил дорожного движения.

Результаты

Для выбора оптимального программного обеспечения вычислительных комплексов обработки данных административных материалов нарушений правил дорожного движения проведем вычисления по представленной ранее в статье методике для 7 образцов ПО и 15 характеристик. Далее представлены расчеты для первых 5 характеристик, для остальных в конце статьи представлены окончательные результаты. Корреляционная матрица, вычисленная для пяти параметров исследуемой совокупности программного обеспечения будет иметь вид

$$P_R = \begin{vmatrix} 1 & 0,635 & 0,3 & 0,298 & 0,666 \\ 0,635 & 1 & 0,612 & 0,64 & 0,335 \\ 0,3 & 0,612 & 1 & 0,216 & 0,015 \\ 0,298 & 0,64 & 0,216 & 1 & 0,079 \\ 0,666 & 0,335 & 0,015 & 0,079 & 1 \end{vmatrix}$$

Используя выражение (16) рассчитываем вектор начальных приближений f_1^0 первой главной компоненты. В результате получаем следующие данные

$$f_{11}^{(0)} = \frac{2,9}{3,22} \approx 0,9; f_{21}^{(0)} = \frac{3,22}{3,22} = 1; f_{31}^{(0)} = \frac{2,14}{3,22} \approx 0,66;$$

$$f_{41}^{(0)} = \frac{2,23}{3,22} \approx 0,69; f_{51}^{(0)} = \frac{2,095}{3,22} \approx 0,65$$

Как отмечалось ранее, на следующем этапе необходимо умножить корреляционную матрицу P_R на вектор f_1^0 .

$$P_R f_1^{(0)} = [1,32; 1,48; 0,95; 1; 0,91]$$

Среди рассчитанных элементов вектора определяем наибольший и осуществляем деление всех элементов вектора на максимальный. В итоге получается вектор $f_1^{(1)}$. Данную операцию выполняем пока элементы вектора $P_R f_1^{(q)}$ не сойдутся к постоянным значениям. Получаем в рассматриваемом случае следующие данные

$$P_R f_1^{(q)} = [2,343; 2,609; 1,682; 1,777; 1,617]$$

Максимальный элемент вектора равен 2,609 и представляет собой первое собственное число λ_1 матрицы P_R . Далее рассчитываем первый собственный вектор разделив элементы вектора $P_R f_1^{(q)}$ на первое собственное число матрицы

$$f_1^{(q)} = [0,898; 1; 0,645; 0,681; 0,62]$$

При этом следует помнить, что главные компоненты определяются в нормированном виде. На основе формулы (18) определяем весовые коэффициенты первой главной компоненты

$$\tilde{f}_1 = [0,828; 0,922; 0,594; 0,628; 0,571]$$

Следующим действием определяются второе собственное число и соответствующий собственный вектор. При этом необходимо определить остаточную матрицу

$$P_{R1} = P_R - \tilde{f}_1 \tilde{f}_1'$$

Расчётные значения матрицы будут иметь вид

$$P_{R1} = \begin{vmatrix} 0,315 & -0,128 & -0,192 & -0,221 & 0,193 \\ -0,128 & 0,15 & 0,064 & 0,061 & -0,191 \\ -0,192 & 0,064 & 0,647 & -0,158 & -0,325 \\ -0,221 & 0,061 & -0,158 & 0,606 & -0,28 \\ 0,193 & -0,191 & -0,325 & -0,28 & 0,674 \end{vmatrix}$$

Выполняя описанные выше действия выбираются начальные элементы второго собственного вектора и повторяются операции по расчету коэффициентов весомости второй главной компоненты. При этом повторяя данный алгоритм еще три раза, получают все собственные значения матрицы:

$$\lambda_1 = 2,609; \lambda_2 = 1,201; \lambda_3 = 0,784; \lambda_4 = 0,259; \lambda_5 = 0,147;$$

$$\sum_{i=1}^5 \lambda_i = 5$$

Если результаты расчетов верны, то сумме диагональных элементов корреляционной матрицы должна быть равна сумме собственных чисел матрицы. Собственные векторы корреляционной матрицы, соответствующие найденным собственным числам, имеют значения

$$f_1 = [0,898; 1; 0,645; 0,681; 0,62]$$

$$f_2 = [0,539; -0,319; -0,659; -0,529; 1]$$

$$f_3 = [0,113; -0,032; 1; -1,07; 0,022]$$

$$f_4 = [-1,131; -0,044; 0,395; 0,272; 1]$$

$$f_5 = [0,732; -1,997; 0,921; 1; 0,104]$$

Используя выражение (18) рассчитываются коэффициенты весоности главных компонент

$$\tilde{f}_1 = [0,828; 0,922; 0,594; 0,628; 0,571]$$

$$\tilde{f}_2 = [0,407; -0,241; -0,498; -0,399; 0,755]$$

$$\tilde{f}_3 = [0,068; -0,019; 0,603; -0,645; 0,014]$$

$$\tilde{f}_4 = [-0,363; -0,014; 0,127; 0,087; 0,321]$$

$$\tilde{f}_5 = [0,111; -0,303; 0,14; 0,152; 0,016]$$

Выражение (19) используется в целях проверки правильности проведенных расчетов, результаты проверки представлены ниже

$$\begin{vmatrix} 1 & 0,635 & 0,3 & 0,298 & 0,666 \\ 0,635 & 1 & 0,611 & 0,64 & 0,335 \\ 0,3 & 0,611 & 1 & 0,215 & 0,014 \\ 0,298 & 0,64 & 0,215 & 1 & 0,079 \\ 0,666 & 0,335 & 0,014 & 0,07 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1,000 & 0,635 & 0,300 & 0,298 & 0,666 \\ 0,635 & 1,000 & 0,611 & 0,640 & 0,335 \\ 0,300 & 0,611 & 1,000 & 0,215 & 0,014 \\ 0,298 & 0,64 & 0,215 & 1,000 & 0,079 \\ 0,666 & 0,335 & 0,014 & 0,079 & 1,000 \end{vmatrix}$$

Анализ последнего выражения показывает правильность полученных результатов. Тогда главные компоненты рассматриваемых образцов программного обеспечения будут иметь

$$T_1 = 0,828k_1 + 0,922k_2 + 0,594k_3 + 0,628k_4 + 0,571k_5$$

$$T_2 = 0,407k_1 - 0,241k_2 - 0,498k_3 - 0,399k_4 + 0,755k_5$$

$$T_3 = 0,068k_1 - 0,019k_2 + 0,603k_3 - 0,645k_4 + 0,014k_5$$

$$T_4 = -0,363k_1 - 0,014k_2 + 0,127k_3 + 0,087k_4 + 0,321k_5$$

$$T_5 = 0,111k_1 - 0,303k_2 + 0,14k_3 + 0,152k_4 + 0,016k_5$$

Параметр k_i представляет собой оценку соответствующего единичного показателя качества. Далее необходимо проверить, целесообразно ли использовать последнюю главную компоненту. Для проверки используется формула (21)

$$\eta_5 = \frac{0,147}{5} = 0,0294 \ll 1$$

Как видно, условие выполняется, и данный подход можно использовать для комплексной оценки качества программного обеспечения. Анализ последней главной компоненты T_5 , свидетельствует о том, что наибольшие веса принадлежат третьей и четвертой оценке единичных показателей качества. Следовательно, при определении комплексных показателей качества первый, второй и пятый параметры нужно не учитывать. Далее осуществляется оценка информативности каждой из компонент согласно выражению (22). Результаты расчетов представлены ниже

$$\eta_1 = 52\% \quad \eta_2 = 76\% \quad \eta_3 = 92\% \quad \eta_4 = 97\% \quad \eta_5 = 100\%$$

Анализ информативности показывает, что для оценки качества программного обеспечения целесообразно использовать первую компоненту, так как она характеризуется большей частью суммарной дисперсии. Исследование параметров первой главной компоненты, показывает, что все параметры можно использовать при оценке качества. Главные компоненты, принятые в качестве обобщенных показателей качества, имеют следующий вид

$$T_1 = 0,828k_1 + 0,922k_2 + 0,594k_3 + 0,628k_4 + 0,571k_5$$

$$T_5 = 0,14k_3 + 0,152k_4$$

На последнем этапе вычисляются среднеарифметические значения комплексных показателей качества с учетом значений первой и последней компоненты. Ранжированные показатели качества Q программного обеспечения для трех групп качеств и комплексные показатели представлены в Таблице 5 [8]. Результаты расчета показателей качества программного обеспечения представлены на Рисунке 1.

Таблица 5 – Ранжированные показатели качества программного обеспечения
Table 5 – Ranked software quality indicators

	РАНГ	1	2	3	4	5	6	7
1 группа качеств	Объекты	ПО 1	ПО 3	ПО 6	ПО 2	ПО 4	ПО 7	ПО 5
	Q	88,057	65,5	61,015	57,156	50,089	49,878	48,112
2 группа качеств	Объекты	ПО 2	ПО 1	ПО 6	ПО 5	ПО 3	ПО 4	ПО 7
	Q	88,257	77,838	69,592	68,559	66,929	57,394	52,139
3 группа качеств	Объекты	ПО 1	ПО 4	ПО 5	ПО 6	ПО 2	ПО 3	ПО 7
	Q	59,512	52,707	44,81	43,512	41,464	41,125	34,045
Комплексный показатель	Объекты	ПО 1	ПО 2	ПО 6	ПО 3	ПО 5	ПО 4	ПО 7
	Q	225,407	186,88	174,119	173,554	161,481	160,19	136,062



Рисунок 1 – Результаты расчета показателей качества программного обеспечения
Figure 1 – Results of calculation of software quality indicators

Заключение

На основе компонентного анализа в работе представлен подход, позволяющий осуществлять исследование как отдельных групп характеристик программного обеспечения, так и проводить оценку комплексного показателя в целом (Рисунок 1).

Дальнейшим развитием идей, изложенных в указанной статье, будет являться разработка пакета прикладных программ по оптимальному выбору программного обеспечения вычислительных комплексов обработки данных административных материалов нарушений правил дорожного движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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 (дата обращения: 10.03.2021).
2. 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 (дата обращения: 10.03.2021).
3. 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. 2006:160.
4. Ажмухамедов И.М., Князева О.М. Комплексный критерий оценки качества информационных систем. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2017;4-6:14-17.
5. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. *Математико-статистические методы экспертных оценок*. Москва: Статистика. 1980:240.
6. 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.
7. Литвак Б. Г. *Экспертная информация. Методы получения и анализа*. Москва: Радио и связь. 1982:184.
8. Кендэлл М. Дж. *Ранговые корреляции*. Москва: Статистика. 1975:230.
9. Атанов Г., Пустынникова И. Обучение путем построения баз знаний для экспертных систем. *Международная конференция по компьютерам в образовании*. 1999:555-558.
10. Бухарин С. В., Конобеевских В. В. Комбинированный метод выявления знаний экспертов. *Вестник Воронежского института МВД России*. 2005;2:22-25.

REFERENCES

1. Konobeevskikh V. V., Pitolin M. V. 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> (In Russ) DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.028. (accessed 10.03.2021).
2. Konobeevskikh V. V., Pitolin M. V. 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=875> (In Russ) DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.029 (accessed 10.03.2021).
3. 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. 2006:160.
 4. 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.
 5. Beshelev S. D., Gurvich F. G. *Mathematical and statistical methods of expert assessments*. Moscow: Statistics. 1980:240.
 6. 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.
 7. Litvak B.G. *Expert information. Methods of obtaining and analysis*. Moscow: Radio and communications. 1982:184.
 8. Kendall M. J. *Rank correlations*. Moscow: Statistics. 1975:230.
 9. Atanov G., Pustynnikova I. Learning by constructing knowledge bases for expert systems. *Proc. International Conf. on Computers in Education*. 1999:555-558.
 10. 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.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

Конобеевских Владимир Валерьевич,
кандидат технических наук,
доцент Воронежского института МВД России,
Воронеж, Российская Федерация
e-mail: ykonobeevskikh@mail.ru

Konobeevskikh Vladimir Valerievich,
Candidate of Science Engineering,
Associate Professor of Voronezh Institute of the
Ministry of the Internal Affairs of the Russian
Federation, Voronezh, Russian Federation

Питолин Михаил Владимирович,
кандидат технических наук, доцент,
доцент Воронежского института МВД России,
Воронеж, Российская Федерация
e-mail: pmv_m@mail.ru

Pitolin Mikhail Vladimirovich,
Candidate of Science Engineering, Associate
Professor, Associate Professor of Voronezh
Institute of the Ministry of the Internal Affairs of
the Russian Federation, Voronezh, Russian
Federation