

УДК 519.816

## **Подход к выбору программного средства для решения задач массового обслуживания**

*Сараев Д.В., студент  
кафедры «Системы обработки информации и управления»,  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Постников В.М., к.т.н., доцент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[chernen@bmstu.ru](mailto:chernen@bmstu.ru)*

Для решения задач массового обслуживания используют программные средства, реализованные на следующих языках программирования:

Вариант 1 (B1) - Delphi 7;

Вариант 2 (B2) - Java;

Вариант 3 (B3) - C#;

Вариант 4 (B4) - PHP;

Вариант 5 (B5) - C++.

1. Из данных языков программирования будем выбирать оптимальный вариант.

Выбор языка программирования будем проводить по следующим критериям:

- *Удобство в реализации алгоритма программы (K1)* – критерий, по которому будет оцениваться синтаксис языка программирования при написании программы. Например, объявление переменных при написании программы в определенном месте, как это осуществляется в Delphi, является неудобным для программиста, т.к. при объявлении новой переменной, ему приходится возвращаться в место объявления переменных, описывать переменную и возвращаться обратно к продолжению написания программы;
- *Скорость выполнения расчетов (K2)* – критерий, по которому будет оцениваться производительность программы. Каждая программа и платформа имеет определенный предел производительности, и на эту производительность влияет используемый при разработке язык;
- *Использование вычислительных ресурсов (K3)* – критерий, по которому будет оцениваться использование аппаратно-программных средств при выполнении программы;

- *Дополнительные настройки для языка (K4)* – критерий, по которому будет оцениваться требуемые дополнительные программные обеспечения для реализации программы на языке программирования. Например, для реализации программы на языке программирования Java требуется устанавливать виртуальную Java-машину, на C# требуется Framework и т.д.;

- *Гибкость языка программирования (K5)* – критерий, по которому будет оцениваться, насколько легко можно добавлять к существующей программе новые функциональные возможности. Это может быть добавление нового набора функций или использование существующей библиотеки для добавления новой функциональности;

- *Время исполнения проекта (K6)* – критерий, по которому будет оцениваться время, необходимое для создания рабочей версии программы, т.е. версии, готовой для работы и выполняющей предусмотренные функции;

- *Удобство в реализации интерфейса (K7)* – критерий, по которому будут оцениваться возможности создания графического интерфейса программы, функциональность инструментов визуализации и возможности при обращении к компонентам графического интерфейса;

- *Поддержка языка сообществом (K8)*– критерий, по которому будет оцениваться доступность и понятность информации по языку в учебных руководствах, на форумах и в статьях в интернете. Если язык программирования активно поддерживается сообществом, то это увеличивает шансы того, что возникшие с проблемами, которые возникают в процессе написания программы, уже сталкивались и сообщили о ее решении на форуме или в статье;

Проведем условную оценку выбранных вариантов языков программирования по шкале от 1 до 5 баллов. При этом:

Таблица 1

Оценки по критериям

| Критерий | Оценка                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| K1       | 1 – синтаксис языка обладает очень низкой функциональностью;<br>2 – синтаксис языка обладает низкой функциональностью;<br>3 – синтаксис языка имеет ограничения в функциональности;<br>4 – синтаксис языка обладает высокой функциональностью;<br>5 – синтаксис языка обладает очень высокой функциональностью; |
| K2       | 1 – низкая скорость выполнения расчетов;<br>2 – скорость выполнения расчетов ниже среднего;                                                                                                                                                                                                                     |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>3 – средняя скорость выполнения расчетов;</p> <p>4 – скорость выполнения расчетов выше среднего;</p> <p>5 – высокая скорость выполнения расчетов;</p>                                                                                                                                                                              |
| K3 | <p>1 – сильно нагружает ЦП и ОЗУ;</p> <p>2 – нагружает ЦП;</p> <p>3 – нагружает ОЗУ;</p> <p>4 – незначительная нагрузка ЦП и ОЗУ;</p> <p>5 – нет нагрузки на ЦП и ОЗУ;</p>                                                                                                                                                            |
| K4 | <p>1 – требует установку и настройку дополнительных программ;</p> <p>2 – требует установки дополнительных программ;</p> <p>3 – требует настройку имеющихся программ;</p> <p>4 – требует настройку дополнительных модулей;</p> <p>5 – установка и настройка дополнительных программ не требуется;</p>                                  |
| K5 | <p>1 – низкие функциональные возможности языка;</p> <p>2 – функциональные возможности языка ниже среднего;</p> <p>3 – средние функциональные возможности языка;</p> <p>4 – функциональные возможности языка выше среднего;</p> <p>5 – высокие функциональные возможности языка;</p>                                                   |
| K6 | <p>1 – большое время исполнения проекта;</p> <p>2 – время исполнения проекта ниже среднего;</p> <p>3 – среднее время исполнения проекта;</p> <p>4 – время исполнения проекта выше среднего;</p> <p>5 – малое время исполнения;</p>                                                                                                    |
| K7 | <p>1 – низкая функциональность инструментов визуализации;</p> <p>2 – функциональность инструментов визуализации ниже среднего;</p> <p>3 – средняя функциональность инструментов визуализации;</p> <p>4 – функциональность инструментов визуализации выше среднего;</p> <p>5 – высокая функциональность инструментов визуализации;</p> |
| K8 | <p>1 – информация по языку мало информативна и неэффективна;</p> <p>2 – информация по языку мало информативна;</p> <p>3 – доступная информация по языку;</p> <p>4 – доступная и понятная информация по языку;</p> <p>5 – очень доступная и понятная информация по языку.</p>                                                          |

Оценка вариантов отображена в таблице 2.

Таблица 2

## Условная оценка вариантов по критериям

| Критерий | Варианты |    |    |    |    |
|----------|----------|----|----|----|----|
|          | B1       | B2 | B3 | B4 | B5 |
| K1       | 2        | 5  | 5  | 3  | 5  |
| K2       | 5        | 4  | 4  | 3  | 4  |
| K3       | 5        | 2  | 2  | 3  | 3  |
| K4       | 5        | 3  | 3  | 2  | 4  |
| K5       | 2        | 5  | 5  | 3  | 4  |
| K6       | 5        | 3  | 4  | 4  | 3  |
| K7       | 5        | 2  | 4  | 3  | 4  |
| K8       | 3        | 5  | 5  | 4  | 4  |

Выбор языка программирования будем проводить по методу анализа иерархий.  
Осуществим последовательное парное сравнение выбранных критериев.

Таблица 3

## Фундаментально-числовая шкала уровня превосходства одного фактора над другим

| № п/п | Качественное                            | Количественное |
|-------|-----------------------------------------|----------------|
| 1     | Равная важность                         | 1              |
| 2     | Слабое превосходство                    | 2              |
| 3     | Среднее превосходство                   | 3              |
| 4     | Превосходство выше среднего             | 4              |
| 5     | Умеренно сильное превосходство          | 5              |
| 6     | Сильное превосходство                   | 6              |
| 7     | Очень сильное (очевидное) превосходство | 7              |
| 8     | очень-очень сильное превосходство       | 8              |
| 9     | Абсолютное превосходство                | 9              |

Произведем ранжирование критериев по степени предпочтительности:

$K3 \succ K4 \succ K2 \succ K6 \succ K7 \succ K1 \succ K5 \succ K8$

Матрица попарных сравнений критериев

| Критерий | K3  | K4  | K2  | K6  | K7  | K1  | K5  | K8 | $C_i$ | $\alpha_i$ |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-------|------------|
| K3       | 1   | 2   | 3   | 3   | 4   | 5   | 6   | 8  | 3,386 | 0,314      |
| K4       | 1/2 | 1   | 2   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6  | 2,276 | 0,211      |
| K2       | 1/3 | 1/2 | 1   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5  | 1,454 | 0,135      |
| K6       | 1/3 | 1/2 | 1   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5  | 1,454 | 0,135      |
| K7       | 1/4 | 1/3 | 1/2 | 1/2 | 1   | 2   | 3   | 4  | 0,917 | 0,085      |
| K1       | 1/5 | 1/4 | 1/3 | 1/3 | 1/2 | 1   | 2   | 3  | 0,599 | 0,056      |
| K5       | 1/6 | 1/5 | 1/4 | 1/4 | 1/3 | 1/2 | 1   | 2  | 0,403 | 0,037      |
| K8       | 1/8 | 1/6 | 1/5 | 1/5 | 1/4 | 1/3 | 1/2 | 1  | 0,277 | 0,027      |

Собственные значения векторов критериев:

$$C_i = (k_{i1}k_{i2} \dots k_{in})^{1/n}, \text{ где } n - \text{ количество критериев } (n=8).$$

Коэффициент важности критериев:

$$\alpha_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n C_i}.$$

Отношение согласованности определяется по формуле:

$$O_c = \frac{(\lambda_{max} - n_F)}{(n_F - 1)R},$$

где  $n_F$  – разность матрицы парных сравнений (также соответствует максимальному собственному значению согласованной идеальной матрицы парных сравнений),  $n_F = n$ ;

R – значение индекса согласованности для несимметричных матриц, выбирается из таблицы 3;

$\lambda_{max}$  – максимальное собственное значение матрицы парных сравнений локальных критериев определяется по формуле:

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^n \lambda_j,$$

$$\lambda_j = k_j \alpha_j, k_j = \sum_{i=1}^n k_{ij}.$$

$$\lambda_{max} = \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{8}\right) * 0,314 +$$

$$+ \left(2 + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6}\right) * 0,211 +$$

$$\begin{aligned}
& + \left( 3 + 2 + 1 + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} \right) * 0,135 + \\
& + \left( 3 + 2 + 1 + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} \right) * 0,135 + \\
& + \left( 4 + 3 + 2 + 2 + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} \right) * 0,085 + \\
& + \left( 5 + 4 + 3 + 3 + 2 + 1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} \right) * 0,056 + \\
& + \left( 6 + 5 + 4 + 4 + 3 + 2 + 1 + \frac{1}{2} \right) * 0,037 + \\
& + (8 + 6 + 5 + 5 + 4 + 3 + 2 + 1) * 0,027 = 8,22
\end{aligned}$$

Таблица 5

Значение индекса согласованности для несимметричных матриц в зависимости от порядка парных сравнений факторов

|   |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|
| n | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| R | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 |
| n | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | -    |
| R | 1,49 | 1,51 | 1,54 | 1,56 | 1,57 | 1,58 | -    |

Для n=8, R=1,41.

Тогда

$$O_c = \frac{(8,22 - 8)}{(8 - 1)1,41} = \frac{0,22}{9,87} = 0,02.$$

Т.к.  $O_c = 0,02 < 0,1$ , то матрица парных сравнений согласована.

Проведем попарное сравнение вариантов по критериям.

Отношение согласованности будем искать также по формуле

$$O_c = \frac{(\lambda_{max} - n_F)}{(n_F - 1)R}$$

Для n=5, R=1,12,  $n_F = 5$ .

$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^m \lambda_j$ , где m=5 число вариантов)

$$\lambda_{pj} = k_{pj} \beta_{pj}, k_{pj} = \sum_{i=1}^n k_{pij}, p=1..m.$$

Осуществим ранжирование вариантов по критерию K1, опираясь на условную оценку из таблицы 1.

B2 > B3 > B5 > B4 > B1

Таблица 6

Матрица попарных сравнений вариантов по критерию K1

| Вариант | B2  | B3  | B5  | B4  | B1 | $C_i$ | $b_{1j}$ |
|---------|-----|-----|-----|-----|----|-------|----------|
| B2      | 1   | 1   | 1   | 3   | 5  | 1,719 | 0,28     |
| B3      | 1   | 1   | 1   | 3   | 5  | 1,719 | 0,28     |
| B5      | 1   | 1   | 1   | 3   | 5  | 1,719 | 0,28     |
| B4      | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1   | 2  | 0,594 | 0,10     |
| B1      | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/2 | 1  | 0,331 | 0,06     |

$$\lambda_{max1} = \left(1 + 1 + 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5}\right) * 0,28 + \left(1 + 1 + 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5}\right) * 0,28 +$$

$$+ \left(1 + 1 + 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5}\right) * 0,28 + \left(3 + 3 + 3 + 1 + \frac{1}{2}\right) * 0,10 +$$

$$+ (5 + 5 + 5 + 2 + 1) * 0,06 = 5,002.$$

$$O_{c1} = \frac{(5,002 - 5)}{(5 - 1)1,12} = \frac{0,002}{4,48} = 0,0004.$$

Т.к.  $O_{c1} = 0,0004 < 0,1$ , то матрица парных сравнений согласована.

Осуществим ранжирование вариантов по критерию K2, опираясь на условную оценку из таблицы 1.

B1 > B2 > B3 > B5 > B4

Таблица 7

Матрица попарных сравнений вариантов по критерию K2

| Вариант | B1  | B2  | B3  | B5  | B4 | $C_i$ | $b_{2j}$ |
|---------|-----|-----|-----|-----|----|-------|----------|
| B1      | 1   | 3   | 3   | 3   | 5  | 2,667 | 0,44     |
| B2      | 1/3 | 1   | 1   | 1   | 3  | 1,000 | 0,17     |
| B3      | 1/3 | 1   | 1   | 1   | 3  | 1,000 | 0,17     |
| B5      | 1/3 | 1   | 1   | 1   | 3  | 1,000 | 0,17     |
| B4      | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1  | 0,375 | 0,05     |

Осуществим ранжирование вариантов по критерию K3, опираясь на условную оценку из таблицы 1.

B1 > B4 > B5 > B2 > B3

Таблица 8

Матрица попарных сравнений вариантов по критерию K3

| Вариант | B1 | B4 | B5 | B2 | B3 | $C_i$ | $b_{3j}$ |
|---------|----|----|----|----|----|-------|----------|
| B1      | 1  | 3  | 3  | 5  | 5  | 2,954 | 0,47     |

|    |     |     |     |   |   |       |      |
|----|-----|-----|-----|---|---|-------|------|
| B4 | 1/3 | 1   | 1   | 2 | 3 | 1,149 | 0,18 |
| B5 | 1/3 | 1   | 1   | 2 | 3 | 1,149 | 0,18 |
| B2 | 1/5 | 1/2 | 1/2 | 1 | 1 | 0,549 | 0,09 |
| B3 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | 0,467 | 0,08 |

Осуществим ранжирование вариантов по критерию К4, опираясь на условную оценку из таблицы 1.

$B1 \succ B5 \succ B2 \succ B3 \succ B4$

Таблица 9

Матрица попарных сравнений вариантов по критерию К4

| Вариант | B1  | B5  | B2  | B3  | B4 | $C_i$ | $b_{4j}$ |
|---------|-----|-----|-----|-----|----|-------|----------|
| B1      | 1   | 2   | 4   | 4   | 5  | 2,759 | 0,45     |
| B5      | 1/2 | 1   | 2   | 2   | 3  | 1,431 | 0,23     |
| B2      | 1/4 | 1/2 | 1   | 1   | 2  | 0,758 | 0,12     |
| B3      | 1/4 | 1/2 | 1   | 1   | 2  | 0,758 | 0,12     |
| B4      | 1/5 | 1/3 | 1/2 | 1/2 | 1  | 0,441 | 0,08     |

Осуществим ранжирование вариантов по критерию К5, опираясь на условную оценку из таблицы 1.

$B2 \succ B3 \succ B5 \succ B4 \succ B1$

Таблица 10

Матрица попарных сравнений вариантов по критерию К5

| Вариант | B2  | B3  | B5  | B4  | B1 | $C_i$ | $b_{5j}$ |
|---------|-----|-----|-----|-----|----|-------|----------|
| B2      | 1   | 1   | 3   | 4   | 5  | 2,268 | 0,36     |
| B3      | 1   | 1   | 3   | 4   | 5  | 2,268 | 0,36     |
| B5      | 1/3 | 1/3 | 1   | 1   | 3  | 0,803 | 0,13     |
| B4      | 1/4 | 1/4 | 1   | 1   | 2  | 0,660 | 0,10     |
| B1      | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/2 | 1  | 0,367 | 0,05     |

Осуществим ранжирование вариантов по критерию К6, опираясь на условную оценку из таблицы 1.

$B1 \succ B3 \succ B4 \succ B2 \succ B5$

Таблица 11

Матрица попарных сравнений вариантов по критерию К6

| Вариант | B1  | B3  | B4  | B2 | B5 | $C_i$ | $b_{6j}$ |
|---------|-----|-----|-----|----|----|-------|----------|
| B1      | 1   | 3   | 3   | 4  | 4  | 2,702 | 0,44     |
| B3      | 1/3 | 1   | 1   | 3  | 3  | 1,246 | 0,20     |
| B4      | 1/3 | 1   | 1   | 3  | 3  | 1,246 | 0,20     |
| B2      | 1/4 | 1/3 | 1/3 | 1  | 1  | 0,488 | 0,08     |
| B5      | 1/4 | 1/3 | 1/3 | 1  | 1  | 0,488 | 0,08     |

Осуществим ранжирование вариантов по критерию К7, опираясь на условную оценку из таблицы 1.

$B1 \succ B3 \succ B5 \succ B4 \succ B2$

Таблица 12

Матрица попарных сравнений вариантов по критерию К7

| Вариант | B1  | B3  | B5  | B4  | B2 | $C_i$ | $b_{7j}$ |
|---------|-----|-----|-----|-----|----|-------|----------|
| B1      | 1   | 3   | 3   | 3   | 4  | 2,551 | 0,43     |
| B3      | 1/3 | 1   | 1   | 2   | 3  | 1,149 | 0,19     |
| B5      | 1/3 | 1   | 1   | 2   | 3  | 1,149 | 0,19     |
| B4      | 1/3 | 1/2 | 1/2 | 1   | 2  | 0,699 | 0,12     |
| B2      | 1/4 | 1/3 | 1/3 | 1/2 | 1  | 0,425 | 0,07     |

Осуществим ранжирование вариантов по критерию К8, опираясь на условную оценку из таблицы 1.

$B1 \succ B2 \succ B3 \succ B4 \succ B5$

Таблица 13

Матрица попарных сравнений вариантов по критерию К8

| Вариант | B2  | B3  | B4  | B5  | B1 | $C_i$ | $b_{8j}$ |
|---------|-----|-----|-----|-----|----|-------|----------|
| B2      | 1   | 3   | 3   | 3   | 4  | 2,551 | 0,43     |
| B3      | 1/3 | 1   | 1   | 2   | 3  | 1,149 | 0,19     |
| B4      | 1/3 | 1   | 1   | 2   | 3  | 1,149 | 0,19     |
| B5      | 1/3 | 1/2 | 1/2 | 1   | 2  | 0,699 | 0,12     |
| B1      | 1/4 | 1/3 | 1/3 | 1/2 | 1  | 0,425 | 0,07     |

Таблица 14

Отношения согласованности вариантов по критериям

| Критерии  | K1     | K2     | K3     | K4     | K5     | K6     | K7     | K8     |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\lambda$ | 5,002  | 5,046  | 5,045  | 5,025  | 5,045  | 5,137  | 5,125  | 5,125  |
| OC        | 0,0004 | 0,0100 | 0,0100 | 0,0060 | 0,0100 | 0,0300 | 0,0300 | 0,0300 |

Вычисляем обобщенный коэффициент важности  $b_j$  для каждого варианта по формуле

$$b_j = \sum_{i=1}^m \alpha_i b_{ij}$$

Таблица 15

Обобщенный коэффициент важности вариантов по набору критериев

| $b_i$    | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ | $b_4$ | $b_5$ |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| значение | 0,405 | 0,134 | 0,151 | 0,138 | 0,179 |

Выбираем наилучший вариант языка программирования согласно интегральному критерию, рассчитанного по формуле

$$b = \max_j b_j$$

$$b = \max_j b_j = b_1 = 0,405$$

Поэтому наилучшим вариантом языка программирования является вариант В1 – Delphi. При этом ранжирование вариантов языков программирования по степени их предпочтительности имеет вид

$$B1 \succ B5 \succ B3 \succ B4 \succ B2.$$

2. Исключим из рассмотрения критерии К1, К5 и К8, т.к. их весовые коэффициенты  $\alpha_i$  (см. таблицу 4) в сумме дают 0,12, что составляет порядка 10% от всей суммы весовых коэффициентов. Выберем по МАИ вариант языка программирования с учетом оставшихся критериев.

$$K3 \succ K4 \succ K2 \succ K6 \succ K7.$$

Таблица 16

Матрица попарных сравнений критериев

| Критерий | К3  | К4  | К2  | К6  | К7 | $C_i$ | $\alpha_i$ |
|----------|-----|-----|-----|-----|----|-------|------------|
| К3       | 1   | 2   | 3   | 3   | 4  | 2,352 | 0,402      |
| К4       | 1/2 | 1   | 2   | 2   | 3  | 1,431 | 0,245      |
| К2       | 1/3 | 1/2 | 1   | 1   | 2  | 0,803 | 0,137      |
| К6       | 1/3 | 1/2 | 1   | 1   | 2  | 0,803 | 0,137      |
| К7       | 1/4 | 1/3 | 1/2 | 1/2 | 1  | 0,461 | 0,079      |

$$\lambda_{max} = 5,036$$

Для  $n=5$ ,  $R=1,12$ .

Тогда

$$O_c = \frac{(5,036 - 5)}{(5 - 1)1,41} = \frac{0,036}{4,48} = 0,008.$$

Т.к.  $O_c = 0,008 < 0,1$ , то матрица парных сравнений согласована.

Проведем попарное сравнение вариантов по критериям оставим без изменений, исключим только критерии К1, К5 и К8.

Таблица 17

Обобщенный коэффициент важности вариантов по набору критериев

| $b_i$    | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ | $b_4$ | $b_5$ |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| значение | 0,453 | 0,105 | 0,127 | 0,139 | 0,178 |

Выбираем наилучший вариант языка программирования согласно интегральному критерию, рассчитанного по формуле

$$b = \max_j b_j$$

$$b = \max_j b_j = b_1 = 0,453$$

Поэтому наилучшим вариантом языка программирования является вариант В1 – Delphi. При этом ранжирование вариантов языков программирования по степени их предпочтительности имеет вид

$B1 \succ B5 \succ B4 \succ B3 \succ B2$ .

Таким образом, после исключения трех критериев выбора оптимальным вариантом остался вариант В1, но вариант В4 стал предпочтительнее варианта В3.

3. Сгруппируем некоторые критерии между собой по общим признакам.

Объединим:

К1, К5 и К7, причем, К5 и К7 будут входить в К1;

К2 и К6, причем К6 будет входить в К2;

К3 и К4, причем К4 войдет в К3.

Проведем уловную оценку выбранных вариантов языков программирования по шкале от 1 до 5 баллов. При этом таблица 1 преобразуется в таблицу 18.

Таблица 18

Оценки по критериям

| Критерий | Оценка                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| К1       | 1 – синтаксис языка обладает очень низкой функциональностью;<br>2 – синтаксис языка обладает низкой функциональностью;<br>3 – синтаксис языка имеет ограничения в функциональности;<br>4 – синтаксис языка обладает высокой функциональностью;<br>5 – синтаксис языка обладает очень высокой функциональностью; |
| К2       | 1 – низкая скорость выполнения расчетов;<br>2 – скорость выполнения расчетов ниже среднего;<br>3 – средняя скорость выполнения расчетов;<br>4 – скорость выполнения расчетов выше среднего;<br>5 – высокая скорость выполнения расчетов;                                                                        |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| К3 | 1 – сильно нагружает ЦП и ОЗУ;<br>2 – нагружает ЦП;<br>3 – нагружает ОЗУ;<br>4 – незначительная нагрузка ЦП и ОЗУ;<br>5 – нет нагрузки на ЦП и ОЗУ;                                                                                                   |
| К8 | 1 – информация по языку мало информативна и неэффективна;<br>2 – информация по языку мало информативна;<br>3 – доступная информация по языку;<br>4 – доступная и понятная информация по языку;<br>5 – очень доступная и понятная информация по языку. |

Оценка вариантов отображена в таблице 19.

Таблица 19

Условная оценка вариантов по критериям

| Критерий | Варианты |    |    |    |    |
|----------|----------|----|----|----|----|
|          | В1       | В2 | В3 | В4 | В5 |
| К1       | 3        | 4  | 5  | 3  | 4  |
| К2       | 5        | 4  | 4  | 4  | 4  |
| К3       | 5        | 3  | 3  | 3  | 4  |
| К8       | 3        | 5  | 5  | 4  | 4  |

Выберем по МАИ вариант языка программирования с учетом оставшихся критериев.

$K3 \succ K2 \succ K1 \succ K8$ .

Таблица 20

Матрица попарных сравнений критериев

| Критерий | К3  | К2  | К1  | К8 | $C_i$ | $\alpha_i$ |
|----------|-----|-----|-----|----|-------|------------|
| К3       | 1   | 3   | 4   | 5  | 2,783 | 0,529      |
| К2       | 1/3 | 1   | 3   | 4  | 1,414 | 0,269      |
| К1       | 1/5 | 1/3 | 1   | 3  | 0,707 | 0,134      |
| К8       | 1/8 | 1/5 | 1/3 | 1  | 0,359 | 0,068      |

$$\lambda_{max} = 4,181$$

Для  $n=4$ ,  $R=0,90$ .

Тогда

$$O_c = \frac{(4,181 - 4)}{(4 - 1)0,90} = \frac{0,181}{3,6} = 0,05.$$

Т.к.  $O_c = 0,05 < 0,1$ , то матрица парных сравнений согласована.

Проведем попарное сравнение вариантов по критериям.

Осуществим ранжирование вариантов по критерию K1, опираясь на условную оценку из таблицы 16.

$B3 \succ B2 \succ B5 \succ B1 \succ B4$

Таблица 21

Матрица попарных сравнений вариантов по критерию K1

| Вариант | B3  | B2  | B5  | B1 | B4 | $C_i$ | $b_{1j}$ |
|---------|-----|-----|-----|----|----|-------|----------|
| B3      | 1   | 2   | 2   | 5  | 5  | 2,512 | 0,40     |
| B2      | 1/2 | 1   | 1   | 4  | 4  | 1,516 | 0,24     |
| B5      | 1/2 | 1   | 1   | 4  | 4  | 1,516 | 0,24     |
| B1      | 1/5 | 1/4 | 1/4 | 1  | 1  | 0,416 | 0,06     |
| B4      | 1/5 | 1/4 | 1/4 | 1  | 1  | 0,416 | 0,06     |

Осуществим ранжирование вариантов по критерию K2, опираясь на условную оценку из таблицы 16.

$B1 \succ B2 \succ B3 \succ B4 \succ B5$

Таблица 22

Матрица попарных сравнений вариантов по критерию K2

| Вариант | B1  | B2 | B3 | B4 | B5 | $C_i$ | $b_{2j}$ |
|---------|-----|----|----|----|----|-------|----------|
| B1      | 1   | 5  | 5  | 5  | 5  | 3,624 | 0,56     |
| B2      | 1/5 | 1  | 1  | 1  | 3  | 0,725 | 0,11     |
| B3      | 1/5 | 1  | 1  | 1  | 3  | 0,725 | 0,11     |
| B4      | 1/5 | 1  | 1  | 1  | 3  | 0,725 | 0,11     |
| B5      | 1/5 | 1  | 1  | 1  | 1  | 0,725 | 0,11     |

Осуществим ранжирование вариантов по критерию K3, опираясь на условную оценку из таблицы 16.

$B1 \succ B5 \succ B2 \succ B3 \succ B4$

Таблица 23

Матрица попарных сравнений вариантов по критерию K3

| Вариант | B1  | B5  | B2 | B3 | B4 | $C_i$ | $b_{3j}$ |
|---------|-----|-----|----|----|----|-------|----------|
| B1      | 1   | 3   | 5  | 5  | 5  | 3,272 | 0,50     |
| B5      | 1/3 | 1   | 3  | 3  | 3  | 1,552 | 0,23     |
| B2      | 1/5 | 1/3 | 1  | 1  | 1  | 0,582 | 0,09     |
| B3      | 1/5 | 1/3 | 1  | 1  | 1  | 0,582 | 0,09     |
| B4      | 1/5 | 1/3 | 1  | 1  | 1  | 0,582 | 0,09     |

Осуществим ранжирование вариантов по критерию K8, опираясь на условную оценку из таблицы 16.

$B2 \succ B3 \succ B4 \succ B5 \succ B1$

Таблица 24

Матрица попарных сравнений вариантов по критерию К8

| Вариант | B2  | B3  | B4  | B5  | B1 | $C_i$ | $b_{ej}$ |
|---------|-----|-----|-----|-----|----|-------|----------|
| B2      | 1   | 1   | 3   | 3   | 5  | 2,141 | 0,34     |
| B3      | 1   | 1   | 3   | 3   | 5  | 2,141 | 0,34     |
| B4      | 1/3 | 1/3 | 1   | 1   | 3  | 0,803 | 0,13     |
| B5      | 1/3 | 1/3 | 1   | 1   | 3  | 0,803 | 0,13     |
| B1      | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1  | 0,339 | 0,06     |

Таблица 25.

Отношения согласованности вариантов по критериям.

| Критерии  | K1     | K2 | K3     | K8     |
|-----------|--------|----|--------|--------|
| $\lambda$ | 5,044  | 5  | 5,067  | 5,045  |
| OC        | 0,0100 | 0  | 0,0100 | 0,0200 |

Таким образом, обобщенный коэффициент для каждого варианта:

Таблица 26

Обобщенный коэффициент важности вариантов по набору критериев

| $b_i$    | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ | $b_4$ | $b_5$ |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| значение | 0,426 | 0,130 | 0,150 | 0,094 | 0,200 |

Выбираем наилучший вариант языка программирования согласно интегральному критерию, рассчитанного по формуле

$$b = \max_j b_j$$

$$b = \max_j b_j = b_1 = 0,426$$

Поэтому наилучшим вариантом языка программирования является вариант B1 – Delphi. При этом ранжирование вариантов языков программирования по степени их предпочтительности имеет вид

$B1 \succ B5 \succ B3 \succ B2 \succ B4$ .

Таким образом, после группировки критериев выбора оптимальным вариантом остался вариант B1, но вариант B2 стал предпочтительнее варианта B4.

4. Исключим из рассмотрения критерии К8, т.к. их весовые коэффициенты  $\alpha_i$  (см. таблицу 20) не составляет и 10% от всей суммы весовых коэффициентов. Выберем по МАИ вариант языка программирования с учетом оставшихся критериев.

$K3 \succ K2 \succ K1$ .

Матрица попарных сравнений критериев

| Критерий | K3  | K2  | K1 | $C_i$ | $\alpha_i$ |
|----------|-----|-----|----|-------|------------|
| K3       | 1   | 3   | 4  | 2,271 | 0,612      |
| K2       | 1/3 | 1   | 3  | 1,000 | 0,269      |
| K1       | 1/5 | 1/3 | 1  | 0,440 | 0,119      |

$$\lambda_{max} = 3,086$$

Для  $n=4$ ,  $R=0,90$ .

Тогда

$$O_c = \frac{(3,086 - 3)}{(3 - 1)0,58} = \frac{0,086}{1,16} = 0,074$$

Т.к.  $O_c = 0,074 < 0,1$ , то матрица парных сравнений согласована.

Проведем попарное сравнение вариантов по критериям оставим без изменений, исключим только критерии K1, K5 и K8.

Таблица 28

Обобщенный коэффициент важности вариантов по набору критериев.

| $b_i$    | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ | $b_4$ | $b_5$ |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| значение | 0,463 | 0,113 | 0,132 | 0,092 | 0,200 |

Выбираем наилучший вариант языка программирования согласно интегральному критерию, рассчитанного по формуле

$$b = \max_j b_j$$

$$b = \max_j b_j = b_1 = 0,463$$

Поэтому наилучшим вариантом языка программирования является вариант B1 – Delphi. При этом ранжирование вариантов языков программирования по степени их предпочтительности имеет вид

$$B1 \succ B5 \succ B3 \succ B2 \succ B4.$$

Таким образом, после исключения трех критериев выбора оптимальным вариантом остался вариант B1, и получили идентичное ранжирование вариантов программного обеспечения.

Итоговая таблица

| № п/п | Набор критериев                | Ранжирование вариантов по выбранным критериям |
|-------|--------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1     | K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8 | B1 > B5 > B3 > B4 > B2                        |
| 2     | K2, K3, K4, K6, K7             | B1 > B5 > B4 > B3 > B2                        |
| 3     | K1, K2, K3, K8                 | B1 > B5 > B3 > B2 > B4                        |
| 4     | K1, K2, K3                     | B1 > B5 > B3 > B2 > B4                        |

## Выводы:

1. Предложен подход сравнительного анализа программных средств *Delphi 7*, *Java*, *C#*, *PHP*, *C++*, используемых для решения задач массового обслуживания, основанный на методе анализа иерархии;
2. Выбран исходный набор из восьми критериев для сравнения программных средств и проведено укрупнение критериев для создания базового набора критериев;
3. Исследовано влияние набора критериев на ранжирование вариантов программных средств;
4. Наилучшим вариантом программного средства для решения задач массового обеспечения является *Delphi 7*;
5. Показана целесообразность использования базового набора критериев для выбора наилучшего варианта программного средства, однако при этом возможно нарушение ранжированного ряда вариантов.

## Список литературы

1. Постников В.М., Черненький В.М. Принятие решений в системах организационного управления. М.: Изд-во: МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2014. 205 с.
2. Мадера А.Г. Моделирование и принятие решений в менеджменте. Руководство для будущих топ-менеджеров. М.: ЛКИ, 2009. 688 с.
3. Гринвуд Б. Выбор перспективного языка программирования // Windows IS Pro/Re. 2014. № 9. С. 30-31.
4. Волков И.К., Загоруйко Е.А. Исследование операций: учеб. для вузов / под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 436 с. (Сер. Математика в техническом университете; Вып. XX).
5. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. 2-е изд., стер. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. 208 с.

6. Монахов В. Язык программирования Java и среда NetBeans. 2-е изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2009. 720 с.