

*Павлов А.А., магистрант*

*Институт математики, физики и информационных технологий*

*Тольяттинский государственный университет*

*Россия, г. Тольятти*

*Научный руководитель: Копша О.Ю., кандидат педагогических наук*

*доцент кафедры «Прикладная математика и информатика»*

*Тольяттинский государственный университет*

*Россия, г. Тольятти*

## **ВЫБОР ERP-СИСТЕМЫ КАК ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

*Аннотация:* В данной статье рассмотрены теоретические и практические рекомендации по научно обоснованному выбору ERP-системы для внедрения на основе критериев, которые являются наиболее важными для конкретного предприятия. Основу исследования составили положения современной экономической теории, методы математического моделирования для решения задачи выбора оптимального варианта системы для внедрения в качестве системы управления ресурсами предприятия. Предложен подход на основе моделирования для поиска ERP-системы наиболее полно отвечающей требованиям компании и система методических указаний для практического применения. Оригинальность заключается в разработке метода выбора ERP-системы для внедрения по собственным критериям оптимальности. Результаты исследования позволяют снизить затраты на внедрение ERP-систем в части ее выбора, предлагаемый метод может быть реализован в приложении для автоматизированного выбора ERP-системы и ее состава.

**Ключевые слова:** ERP-системы, критерии оптимизации, выбор ERP-системы.

**Annotation:** This article discusses theoretical and practical recommendations for a scientifically based selection of ERP systems for implementation based on the criteria that are most important for a particular enterprise. The research is based on the theoretical and methodological basis of modern economic theory, methods of mathematical modeling to solve the problem of choosing the optimal version of the system for implementation. A modeling-based approach for finding an ERP-system that best meets the company's requirements and a system of guidelines for practical application are proposed. Originality results lies in the development of a method for selecting an ERP system for implementation according to its own criteria of optimality. The study results make it possible to reduce the costs of implementing ERP systems; the proposed method can be implemented in an application for the automated selection of an ERP system and its composition.

**Key words:** ERP, optimization criteria, selection of an ERP system.

**Введение:** Совершенствование информационных технологий, конкуренция фирм-разработчиков программного обеспечения приводит к развитию функциональности существующих ERP-систем, так и появлению новых решений. Задача выбора ERP-системы является непростой задачей, необходимо выбрать конкретное решение из представленных на рынке систем, учесть их функциональность и другие критерии. Выбор ERP для внедрения - сложное решение, имеющее важные экономические последствия. Оно требует компромисса между техническими характеристиками, функциональными возможностями системы и финансовыми возможностями предприятия. Данная задача может быть сформулирована как многокритериальная задача принятия решений. Необходимо разработать научно обоснованный метод выбора ERP-системы для внедрения.

**Анализ исследований и публикаций:** В работах многих авторов ([8],[19],[22]) целесообразность использования экономического и математического моделирования для поиска оптимального варианта доказано. Критерии решения выбираются в соответствии с потребностями предприятия и учитывая его экономическое и техническое состояние. Нерешенным аспектом проблемы является то, что текущая методология принятия эвристических решений по многокритериальному выбору ERP-систем в условиях неопределенности достаточно сложна и позволяет найти лишь рациональный вариант. Учитывая высокую стоимость внедрения ERP-систем, необходимо получение оптимального варианта для внедрения. Целью настоящей статьи является попытка разработать экономико-математический подход, позволяющий найти оптимальный вариант внедрения ERP-системы с учетом многих критериев, которые сформулированы сторонами участвующими во внедрении. В дополнении предложить алгоритм принятия решений, который может быть реализован в прикладном программном обеспечении.

**Обзор методов оптимизации:** В экономических задачах, как правило, основными критериями являются экономическая эффективность и стоимость. В контексте внедрения ERP-системы они трансформируются в экономическую эффективность предприятия после внедрения и стоимость ERP-системы (приобретение, внедрение, обслуживание). В многокритериальных задачах проявляется эффект несравнимости исходов. Это ситуация, если исходы оцениваются по двум критериям, не сводимым один к другому, и исход A1 лучше исхода A2 по первому критерию, но хуже по второму, то исходы A1 и A2 несравнимы между собой. Несравнимость исходов является формой неопределённости, которая может быть связана со стремлением достичь противоречивых целей (ценностная неопределённость).

Выбор между несравнимыми исходами составляет основное содержание многокритериальной оптимизации и одновременно сложной концептуальной

проблемой. Критерий выбора называется позитивным, если принимающий решение стремится к его увеличению, и негативным, если принимающий решение стремится к его уменьшению.

Введем ряд обозначений.

Пусть  $y_i = \{f_{i1}, f_{i2}, \dots, f_{in}\}$   $y =$  - множество всех оценок по различным критериям  $(1, 2, \dots, n)$ .

$$\text{Множество } Y_i = \{y_i\} = \begin{pmatrix} f_{11} & \dots & f_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & \dots & f_{mn} \end{pmatrix},$$

состоящее из всевозможных упорядоченных наборов оценок по критериям  $1, 2, \dots, n$ , называется множеством векторных оценок  $y_i$  различных исходов  $(i = 1, 2, \dots, m)$ . Векторная оценка  $y_i$  исхода содержит полную информацию о ценности (полезности) этого исхода, и сравнение двух исходов производится на основании их векторных оценок.

Для оценки исходов введем понятия отношение доминирования по Парето и Парето-оптимальность. Векторная оценка  $y_i$  доминирует по Парето векторную оценку  $y'_i$ , если для всех  $j = 1, 2, \dots, n$  выполняется неравенство  $y_i \geq y'_i$ , причем, по крайней мере, для одного индекса  $j = 1, 2, \dots, n$  неравенство должно быть строгим (отношение доминирования по Парето).

Исход  $a^* \in D$  называется Парето-оптимальным исходом на множестве  $D$ , если он не доминируется по Парето никаким другим исходом из множества  $D$ , то есть если векторная оценка исхода  $a^*$  является максимальной в множестве векторных оценок  $Y$  относительно Парето-доминирования, где  $Y = \{y_i(a) : a \in D\}$ ,  $Y$ - множество векторных оценок исходов  $a \in D$ . Парето-оптимальность исхода  $a^*$  означает, что он не может быть улучшен ни по одному из критериев без ухудшения по какому-нибудь другому критерию.

Сформулировать единый принцип оптимальности для многокритериальных

задач невозможно. Парето-оптимальных исходов может быть много.

Для нахождения оптимального решения возможны два пути.

1) Находится множество Парето-оптимальных исходов, а выбор оптимального из них производится исходя из конкретной ситуации.

2) Производится сужение множества Парето-оптимальных исходов при наличии дополнительной информации о критериях или о свойствах оптимального решения, не содержащейся в математической модели.

Сужение множества Парето-оптимальных исходов достигается:

– Указание нижних границ критериев;

– Лексикографическая оптимизация. Упорядочивают критерии по их относительной важности. Отбирают исходы, которые имеют максимальную оценку по критерию, стоящему на первом месте по важности. Затем из критериев, имеющих максимальную оценку по первому критерию, отбирают исходы, максимальные по второму критерию и т.д. Недостатки: трудность в установлении полной упорядоченности критериев по относительной важности, доминирование первого по важности критерия над остальными.

– Субоптимизация (Выделяют один из критериев, а по всем остальным назначают нижние границы. Задача многокритериальной оптимизации превращается в задачу обычной оптимизации. Окончательное решение также имеет субъективный характер).

Взаимосвязь критериев проследим на рисунке 1. Оптимальное значение многокритериальной задачи  $f(x)$  соответствует наибольшему значению площади, создаваемой тремя критериями.

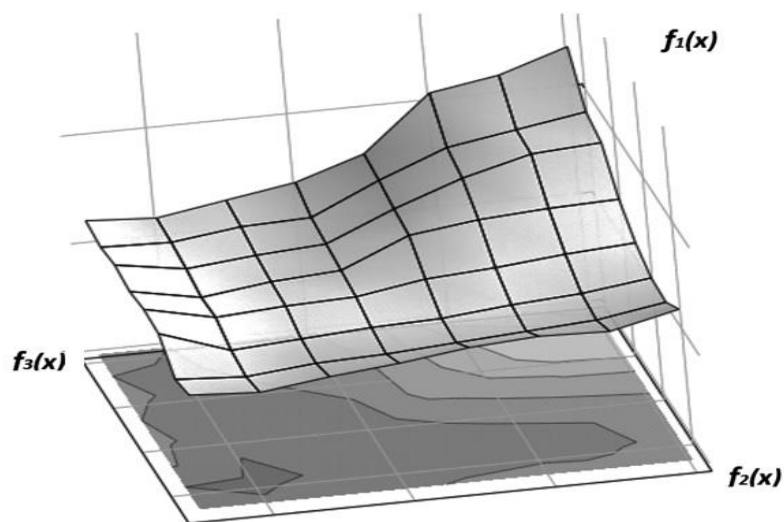


Рисунок 1. Взаимосвязь критериев оптимизации

На рисунке 2 точка А является Парето-оптимальной.

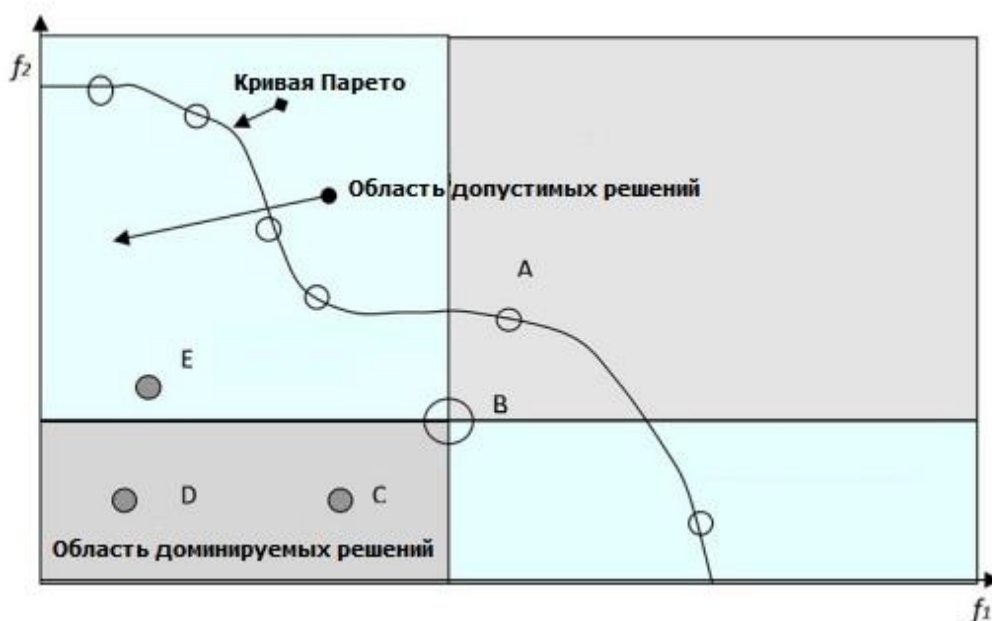


Рисунок 2. Парето-оптимальность в пространстве целевой функции

На рисунке 2 белыми кружками обозначены оптимальные решения, которые образуют оптимальное множество по Парето, а вектор целевых функций образует Парето-оптимальный предел.

Алгоритм многокритериальной оптимизации должен удовлетворять следующим условиям:

- расстояние между недоминирующим пределом и пределом оптимальным по Парето должно быть минимизировано;

- в процессе оптимизации не все критерии должны использоваться, но только подмножество критериев, расположенных на или в непосредственной близости к оптимальности по Парето;

- желательно определить допуски, для определенных критериев определенного подмножества критериев, чтобы найти оптимальные решения для целевых функций.

Построим обобщенный критерий для многокритериальной задачи. Составим функцию, выражающую полезность набора оценок исходов задачи по всем критериям.

$$\varphi(y_i) = \varphi(f_{i1}, f_{i2}, \dots, f_{in}) \quad (i = 1, 2 \dots n)$$

Для каждого допустимого исхода  $a \in D$  может быть найденная численная оценка обобщенного критерия.

$$\varphi_i(a) = \varphi_i(f_1(a), f_2(a), \dots, f_n(a))$$

Задание обобщенного критерия свело задачу многокритериальной оптимизации к задаче однокритериальной оптимизации с целевой функцией  $\varphi$ . Распространённым обобщённым критерием является взвешенная сумма частных критериев

$$\varphi(y_i) = \alpha_1 f_{i1} + \alpha_2 f_{i2} + \dots + \alpha_n f_{in} = \sum_{j=1}^n \alpha_j f_{ij}$$

где  $\alpha_j \geq 0$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$

весовые коэффициенты - выражают относительную важность  $j$ -критерия.

Если векторная оценка  $y_i^* = (f_{i1}(a^*), f_{i2}(a^*), \dots, f_{in}(a^*))$  исхода  $a^* \in Q$  доставляет максимум целевой функции

$$\varphi(y_i) = \sum_{j=1}^n \alpha_j f_{ij}$$

где все  $\alpha_j \geq 0$ , то векторная оценка  $y_i^*$  является Парето-оптимальной на множество  $Q$ .

**Выбор ERP-системы как оптимизационная задача экономико-математической модели:**

В задачу многокритериальной оптимизации входит набор  $n$  решений, набор целевых функций  $f_i$   $i = 1, \dots, k$ , и набор из  $m$  ограничений. Целевые функции и ограничения являются функциями переменных решений. Цель оптимизации найти максимум

$$\bar{y} = f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x))$$

с ограничениями

$$e(x) = (e_1(x), e_2(x), \dots, e_m(x)) < \Omega$$

$$\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X$$

$$\bar{y} = (y_1, y_2, \dots, y_k) \in Y$$

где  $\bar{x}$  есть вектор решений,  $\bar{y}$  есть вектор целевых функций,  $X$  - пространство допустимых решений,  $Y$  - пространство целевых функций, ограничения  $e(x) < \Omega$  определяют набор возможных решений.

Набор возможных решений  $X_f$  определяется как набор векторов решений  $x$

удовлетворяющий ограничениям

$$X_f = \{x \in X \mid e(x) \leq \Omega\}$$

Область допустимости в пространстве целевых функций имеет вид

$$Y_f = f(X_f) = \bigcup_{x \in X_f} \{f(x)\}$$

Рассмотрим алгоритм поиска оптимальной ERP-системы используя множество критериев.

Есть несколько различных критериев  $f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)$ . Среди них находим доминирующий Парето-оптимальный критерий.

Ограничения в задаче  $X_f = \{x \in X \mid e(x) \leq \Omega\}$ .



Критерии, включенные в задачу многокритериальной оптимизации, имеет оптимум в разных точках пространства допустимых решений. Невозможно находиться во всех этих точках одновременно, необходимо оптимизировать один из критериев, а другие критерии должны быть ограниченными.

ERP-система выбирается по многим конкурирующим критериям. Следующим шагом является выбор другой целевой функции (критерия) и расчет оптимального решения этой задачи по этим критериям. Критерий  $f_i(x)$  при котором производилась предыдущая оптимизация становится одним из ограничений. Критерий  $f_i(x)$  ослабляется на 1–5% от своего оптимального значения. Решение этой оптимизационной задачи даст еще одну ERP-систему для внедрения. Выполним  $k$  итерационных шагов, каждый из которых выполняет оптимизацию по всем критериям подмножества, которые находятся на оптимальной кривой Парето или в непосредственной близости от нее. В результате получаем несколько решений для критериев, определяющих набор возможных вариантов внедрения ERP-системы на предприятии (см. рисунок 3).

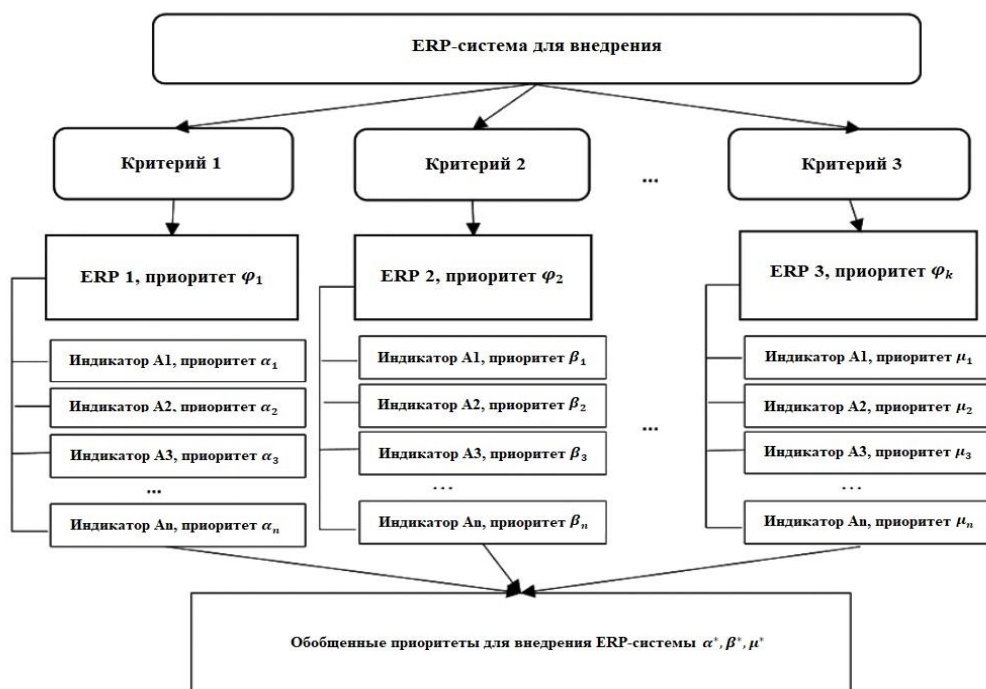


Рисунок 3. Схема выбора ERP-системы

Критерии на рисунке 3 являются конкурирующими. Чтобы определить лучший вариант для внедрения, каждый из критериев дополняется подмножеством показателей (индикаторов), которые характеризуют эффективность системы. Влияние индикаторов на эффективность ERP-системы различно, поэтому приоритет каждого показателя системы определяется экспертной оценкой. Показатели варьируются от 0 до 1, сумма приоритетов критерия равна единице. Для каждой из выбираемой ERP-системы имеем оценку преимуществ. Сумма всех приоритетов равняется единице. На последнем этапе мы вычисляем обобщенные приоритеты ( $\alpha^*$ ,  $\beta^*$ ,  $\mu^*$ ). Индикаторы приоритета указывают на долю веса или преимущества одной ERP-системы перед другой с учетом всех критериев и ограничений, определенные в конкретной многокритериальной задаче оптимального выбора ERP-системы.

Обобщенные приоритеты вычисляем по следующим формулам:

$$\alpha^* + \beta^* + \dots + \mu^* = 1$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha^* = \sum_{i=1}^n \alpha_i \varphi_1 \\ \beta^* = \sum_{i=1}^n \beta_i \varphi_2 \\ \dots \\ \mu^* = \sum_i \mu_i \varphi_k \end{array} \right.$$

ERP-система рекомендованная для внедрения определяется как

$$F_{\max} = \max(\alpha^*, \beta^*, \dots, \mu^*)$$

В качестве возможных критериев при выборе ERP-системы можно использовать следующие (критерии оптимальности и ограничения задачи):

- производитель ERP-системы (репутация и возможности производителя);
- масштаб предприятия (малое, среднее, большое);
- средний срок внедрения ERP-системы;

- ориентировочная стоимость внедрения ERP-системы;
- ориентировочная стоимость поддержки ERP-системы (в год);
- оценка наличия (доступность) разработчиков-профессионалов и фирм-разработчиков для конкретной ERP-системы;
- масштабируемость ERP-системы;
- операционная система используемая ERP-решением;
- функциональность ERP-системы (охват автоматизации деятельности предприятия);
- удобство и простота работы (связь с системой должна быть интуитивно понятной для сотрудников);
- возможность корректировки настроек ERP-системы (без участия разработчика - настраиваемая функциональность, включение и выключение определенных модулей, настройка режимов работы модулей);
- гибкость ERP-системы (программное обеспечение должно быть адаптировано к условиям компании);
- интегрированность (изменения, внесенные в систему в любой момент времени, должны автоматически обновлять все системные модули);
- послепродажная поддержка ERP-системы и обучение;
- функции отчетности и анализа (возможность разработки и внедрения в систему собственных инструментов отчетности и анализа);
- интеграция с другими приложениями;
- варианты финансирования приобретения ERP-системы (варианты расчета инвестиций: лицензия на программное обеспечение, техническая поддержка, облачное пространство данных (подписка)).

**Заключение:** В данной статье предложена методика сравнительной оценки ERP-систем для внедрения как задача многокритериальной оптимизации. Алгоритм выбора оптимальной системы предусматривает выбор среди многих критериев с использованием экспертных оценок и аналитического иерархического анализа. Учитывая, что в задачах

многокритериальной оптимизации нахождение единственного оптимального решения невозможно особенно важным является экспертная оценка критериев полезности ERP-систем перед внедрением.

### **Использованные источники:**

#### Научная и методическая литература

1. Абчук, В.А. Экономико-математические методы: элементарная математика и логика. Методы исследования операций / В.А. Абчук - СПб.: Союз, 1999 - 320 с.
2. Акулич, П.Л. Математическое программирование в примерах и задачах / П.Л. Акулич - М: Вис, 1991. - 320 с.
3. Аттетков, А.В. Методы оптимизации: учебное пособие / А.В. Аттетков, В.С. Зарубин, А.Н. Канатников. - Саратов: Вузовское образование, 2018. - 272 с. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/77664.html> (дата обращения: 05.10.2021).
4. Ильин, В.В. Внедрение ERP-систем: управление экономической эффективностью / В.В. Ильин. - 3-е изд. - Москва: Интермедиа, 2018. - 296 с. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/89565.html> (дата обращения: 05.10.2021)
5. Тихобаев, В.М. Математические модели планирования и управления: учебное пособие / В.М. Тихобаев. - Тула: Институт законовещения и управления ВПА, 2018. - 138 с. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/78623.html> (дата обращения: 05.10.2021)
6. Хазанова, Л.Э. Математические методы в экономике: Учеб. пособие / Л.Э. Хазанова – М.: БЕК, 2002. - 144 с.

7. Ярыгин А.Н., Ярыгин О.Н. Дискретная математика как инструмент формирования интеллектуальной компетентности. Монография/ Москва, 2011
8. Ярыгин А.Н., Колачева Н.В., Палфёрова С.Ш. Методы нахождения оптимального решения экономических задач многокритериальной оптимизации/ Вектор науки ТГУ. № 1(23), 2013. С.388-393. Электронные ресурсы
9. Обзор российского рынка ERP-систем / Wiseadvice-IT [Электронный ресурс]. - URL: <https://wiseadvice-it.ru/o-kompanii/blog/articles/obzor-rossiiskogo-rynka-erp-sistem/> (дата обращения: 05.10.2021)
10. ERP - СТАНДАРТ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ И СИСТЕМА / Itstan [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.itstan.ru/it-i-is/erp-standart-planirovaniya-resursov-predpriyatija-i-sistema.html> (дата обращения 05.10.2021)
11. Метод множителей Лагранжа / [Электронный ресурс] - URL: [http://www.math.mrsu.ru/text/courses/method/metod\\_mnogitelei\\_lagranga.htm](http://www.math.mrsu.ru/text/courses/method/metod_mnogitelei_lagranga.htm) (дата обращения 05.10.2021)
12. Метод Нелдера Мида / [Электронный ресурс]. - URL: [http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Метод\\_Нелдера-Мида](http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Метод_Нелдера-Мида) (дата обращения 05.10.2021)
13. Обзор Microsoft Dynamics 365 / [Электронный ресурс] - URL: <https://dynamics.microsoft.com/ru-ru/> (дата обращения 05.10.2021)
14. Отечественная, российская ERP система Галактика / [Электронный ресурс] - URL: <https://www.galaktika.ru/erp/> (дата обращения 05.10.2021)
15. Корпорация Парус, решения ERP-класса/ [Электронный ресурс] - URL: <https://citk-parus.com/catalog/resheniya-dlya-opk-i-biznesa/> (дата обращения 05.10.2021)
16. 1С:ERP Управление предприятием / [Электронный ресурс] - URL: <https://v8.1c.ru/erp/> (дата обращения 05.10.2021)

17. What is ERP? / [Электронный ресурс] - URL: <https://www.sap.com/products/what-is-erp.html> (дата обращения 05.10.2021).
18. Техническая документация продукта 1С: ERP / [Электронный ресурс] - URL: <http://v8.1c.ru/erp/> (дата обращения 05.10.2021)
19. Jun-Der Leu and Larry Jung-Hsing Lee, 2017. Enterprise resource planning (ERP) implementation using the value engineering methodology and Six Sigma tools. *Enterprise Information Systems*, 11(8), pp. 1243–1261.
20. Marnewick, C., Labuschagne, L. 2005. A conceptual model for enterprise resource planning (ERP). *Information Management & Computer Security*, Vol. 13, No. 2
21. Moutaz, Haddara, 2018, ERP systems selection in multinational enterprises: a practical guide. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 6(1), pp. 43–57.
22. Siriluck, R. 2010. Success Factors of Large Scale ERP Implementation in Thailand. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 40.
23. Upadhyay, P., Dan, P. K. 2009. A Study to Identify the Critical Success Factors for ERP Implementation in an Indian SME: A Case Based Approach. *ICISTM 2009*, CCIS 31.