

**Шапошник Олена Леонідівна**

*аспірант кафедри вищої математики*

*Київського національного економічного університету*

*імені Вадима Гетьмана*

**Шапошник Елена Леонидовна**

*аспирант кафедры высшей математики*

*Киевского национального экономического университета*

*имени Вадима Гетьмана*

**Shaposhnik Olena**

*Graduate Student of the Advanced Mathematics Department*

*Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman*

**МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ  
МІНІМІЗАЦІЇ СТРАТЕГІЧНИХ РИЗИКІВ ПРОЦЕСУ  
ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА  
ПІДПРИЄМСТВІ, ЯК ОСНОВНОГО ПІДГРУНТЯ РЕІНЖІНІРИНГУ  
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
МИНИМИЗАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РИСКОВ ПРОЦЕССА  
ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА  
ПРЕДПРИЯТИИ, КАК ОСНОВЫ РЕІНЖІНІРИНГА  
METHODICAL APPROACHES TO EFFECTIVENESS EVALUATION  
OF RISK MITIGATION STRATEGY IMPLEMENTATION OF  
INFORMATION TECHNOLOGY IN ENTERPRISES AS A MAJOR  
REENGINEERING BACKGROUND**

*Анотація.* В статті розглянуто ймовірність появи події ефективною мінімізації стратегічних ризиків у реалізації реінжинірингу підприємства в умовах цифрової економіки та представлено перший і другий рівень ієрархії

оцінювання такої події. Розглянуто несумісні гіпотези стратегічних ризиків у реалізації реінжинірингу підприємства в умовах цифрової економіки, які утворюють повну групу попарно несумісних незалежних подій, причому сума їх ймовірностей дорівнює одиниці. Для узгодження прийнятної похибки обчислень проведений аналіз генерованих випадкових матриць, що відповідають складеній обернено-симетричній матриці 7-го порядку експертних попарних порівнянь. Складено характеристичне рівняння для знаходження власних чисел експертної матриці. За теоремою Гершгоріна геометрично інтерпретовано кола Гершгоріна, на яких позначено усі знайдені власні числа матриці. Знайдено апріорні значення ймовірності подій повної групи основних гіпотез стратегічних ризиків підприємства, враховуючи перевірені за критерієм адекватності складені матриці експертних попарних порівнянь. Це стали основою для знаходження вагових коефіцієнтів, як середнього геометричного рядків, що і приймається за ймовірності подій повної групи основних гіпотез стратегічних ризиків підприємства. Показано що такий теоретико-ймовірнісний підхід дасть можливість менеджменту підприємства проводити ефективний моніторинг щодо процесу впровадження інформаційних технологій на підприємстві.

**Ключові слова:** аналіз ієрархій, індекс узгодженості суджень, коло Гершгоріна, матриця експертних суджень, характеристичне рівняння, власні числа матриці.

**Аннотація.** В статье рассмотрены вероятность появления события эффективной минимизации стратегических рисков в реализации реинжиниринга предприятия в условиях цифровой экономики и представлен первый и второй уровень иерархии оценки такого события. Рассмотрены несовместные гипотезы стратегических рисков в реализации реинжиниринга предприятия в условиях цифровой экономики, которые образуют полную группу попарно несовместных независимых событий,

*причем сумма их вероятностей равна единице. Для согласования приемлемой погрешности вычислений проведен анализ генерируемых случайных матриц, соответствующих составленной обратно-симметричной матрицы 7-го порядка экспертных попарных сравнений. Составлен характеристическое уравнение для нахождения собственных чисел экспертной матрицы. По теореме Гершгорина геометрически интерпретировано круги Гершгорина, на которых обозначены все найдены собственные числа матрицы. Найдено априорные значения вероятности событий полной группы основных гипотез стратегических рисков предприятия, учитывая проверенные по критерию адекватности составленные матрицы экспертных попарных сравнений. Это стало основой для нахождения весовых коэффициентов, как среднего геометрического строк, что и принимается за вероятности событий полной группы основных гипотез стратегических рисков предприятия. Показано что такой теоретико-вероятностный подход даст возможность менеджменту предприятия проводить эффективный мониторинг процесса внедрения информационных технологий на предприятии.*

**Ключевые слова:** *анализ иерархий, индекс согласованности суждений, у Гершгорина, матрица экспертных суждений, характеристическое уравнение, собственные числа матрицы.*

**Summary.** *The article considers the probability of occurrence of an event of effective minimization of strategic risks in the implementation of enterprise reengineering in the digital economy and presents the first and second levels of the hierarchy for evaluating such an event. Inconsistent hypotheses of strategic risks in the implementation of enterprise reengineering in the digital economy are considered, which form a complete group of pairwise incompatible independent events, the sum of their probabilities being equal to one. To agree on an acceptable calculation error, an analysis was made of the generated random*

*matrices corresponding to the compiled inverse-symmetric matrix of the 7th order of expert pairwise comparisons. A characteristic equation is compiled to find the eigenvalues of the expert matrix. By Gershgorin's theorem, Gershgorin's circles are geometrically interpreted, on which all eigenvalues of the matrix are indicated. A priori values of the probability of events of the full group of the main hypotheses of the strategic risks of the enterprise are found, taking into account the matrices of expert pairwise comparisons verified by the adequacy criterion. This became the basis for finding weight coefficients as the geometric mean of strings, which is taken as the probability of events of a complete group of the main hypotheses of the strategic risks of the enterprise. It is shown that such a theoretical and probabilistic approach will enable the enterprise management to effectively monitor the implementation of information technologies in the enterprise.*

**Key words:** *analysis of hierarchies, index of consistency of judgments, for Gershgorin, matrix of expert judgments, characteristic equation, eigenvalues of a matrix.*

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** На сьогодні цифрові технології є підґрунтям для інновацій. Дигіталізація створює можливості для зростання та створення цінностей. Однак, жодна з можливостей не може бути реалізована без взаємодії з пов'язаними ризиками. Таким чином, важливим для стабільності функціонування підприємства є управління ризиками в епоху оцифрування, що характеризується експоненціально зростаючим проникненням смарт-пристроїв, еволюціонуванням очікувань клієнтів зі зміною демографічних показників, збільшенням швидкості Інтернету та його проникнення, технологічним інноваціям та схильності до передових технологій. В умовах оцифрування, підприємствам необхідно керувати ризиками, які

впливають на існуючу екосистему підприємства, для досягнення оптимального стану за умов нововведених цифрових ініціатив. Тому оцінювання ефективності мінімізації стратегічних ризиків процесу впровадження інформаційних технологій на підприємстві, як основного підґрунтя реінжинірингу, є актуальним і потребує нових методичних підходів і всебічного охоплення всеможливих ризиків.

Для обґрунтованості реалізації реінжинірингу бізнес-процесів з урахуванням суттєвої невизначеності умов їх реалізації, необхідно розробити обґрунтовані заходи щодо нейтралізації стратегічних ризиків. Розробка таких заходів забезпечує наявність досить точної оцінки не лише суми потенційних втрат та ймовірності їх виникнення, а й впливу окремих факторів на загальний проектний ризик [1].

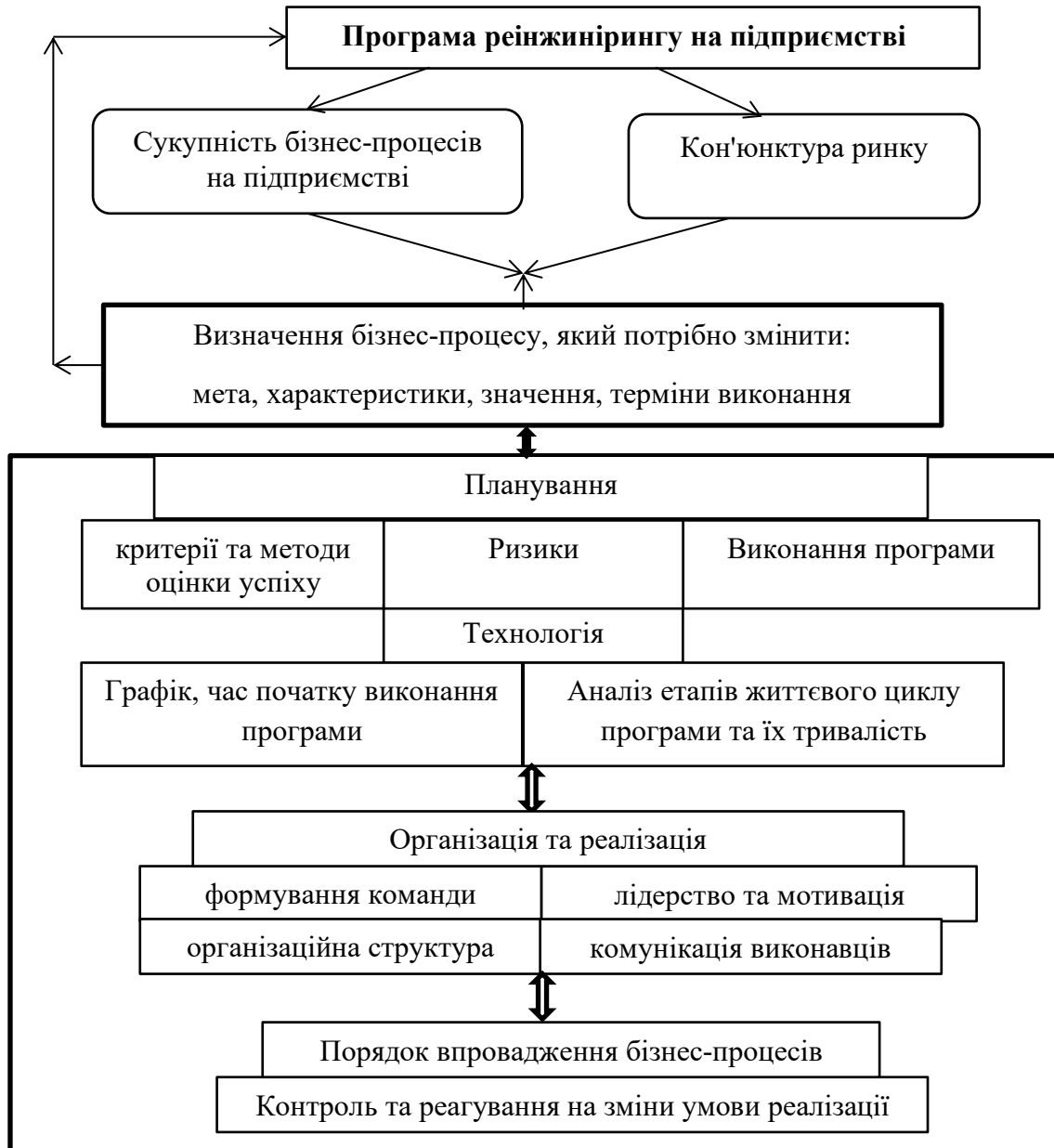
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Високий рівень стратегічних ризиків, як виникають в процесі реінжинірингу бізнес-процесів підприємства є одним із важливих аспектів при прийнятті рішень щодо впровадження проектів у реінжиніринг технологічних бізнес-процесів [2]. Наявність стратегічних ризиків обумовлюється відсутністю інформації про практичний досвід розробки та реалізації проектів, стійкістю працівників, обмеженням ресурсів у процесі реінжинірингу. Питання обчислення рівня ризику в ході реінжинірингу бізнес-процесів стало ще більш актуальним, якщо воно допомагає керівникам підприємств у прийнятті економічно обґрунтованих рішень щодо реалізації проекту, оскільки недостатнє врахування ризиків може призвести до прямих втрат за умови, що розроблений проект не відповідає реаліям його практичної реалізації [3]. Іноді керівники підприємства відмовляються від реінжинірингу, втрачаючи можливість підвищити ефективність бізнес-процесів, пояснюючи це високим рівнем ризику. Такі передумови викликають необхідність оцінки рівня ризику для впровадження проектів реінжинірингу на вітчизняних підприємствах. У статті [4] аналізуються та

висвітлюються ризики в системі управління проектами та реінжиніринг програм для бізнес-процесів на підприємствах. Для оцінки впливу цих ризиків на ефективність проектів реінжинірингу був обраний метод, заснований на теорії нечітких множин.

Оцінювання ризиків проектів реінжинірингу бізнес-процесів як сучасний інструмент управління представлено в роботах [5; 6; 7], у яких концепція операційного ризику, пов'язаного з діловою діяльністю розглядається як ймовірність не досягти очікуваного рівня операційного прибутку внаслідок неправильних чи недостовірних внутрішніх процесів, людей та системи або внаслідок зовнішніх явищ. Зауважимо, що при реалізації моделей для оцінювання ризиків проектів реінжинірингу бізнес-процесів необхідно визначити невідомі ймовірності подій з урахуванням суттєвої невизначеності умов їх настання. На Рис.1. приведена схема управління підприємством за умови виконання програми реінжинірингу бізнес-процесів, яка розроблена в науковій праці [8].

У роботі [9] розглядаються питання аналізу ризиків в ході практичної реалізації бізнес-процесів реінжинірингу. У наукових працях [10; 11] надана методика комплексної оцінки альтернативним програмам реінжинірингу бізнес-процесів на промислових підприємствах за видами економічного ризику. Залучення інформаційних технологій повинні сприяти взаємовигідному співробітництву між споживачем та виробником, що є індуктивним підходом у реінжинірингу, що надає можливість знайти ефективне рішення [3].

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Представити схему, використовуючи аналіз ієрархій, процесу оцінювання ефективної мінімізації стратегічних ризиків у реалізації реінжинірингу підприємства в умовах цифрової економіки. Запропонувати математичні методи обробки групової думки експертів. Визначити пріоритетні завдання для подальших розвідок у цьому напрямі.



**Рис. 1. Схема управління підприємством за умови виконання програми реінжинірингу бізнес-процесів**

Джерело: [8]

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** Розглянемо ймовірність появи події *A* ефективної мінімізації стратегічних ризиків у реалізації реінжинірингу підприємства в умовах цифрової економіки.

У Таблиці 1 представлена перший і другий рівень ієрархії оцінювання ефективної мінімізації стратегічних ризиків у реалізації реінжинірингу

підприємства в умовах цифрової економіки. У Таблиці 1 розглянуто несумісні гіпотези стратегічних ризиків у реалізації реінжинірингу підприємства в умовах цифрової економіки  $A, B, C, D, E, F, G$  які утворюють повну групу попарно несумісних незалежних подій [12], при чому:

$$P(A) + P(B) + P(C) + P(D) + P(E) + P(F) + P(G) = 1. \quad (1)$$

Для узгодження прийнятної похибки обчислень проведений аналіз, генерованих генератором випадкових чисел, випадкових матриць. Нормативне значення індексу узгодженості експертних суджень для випадкових матриць 7-го порядку дорівнює 1,32. Визначимо імовірності подій  $A, B, C, D, E, F, G$  повної групи за допомогою математичних методів обробки обернено-симетричної матриці, що складають експерти при попарному порівнянні за 5-бальною шкалою відносної важливості [13]. Тоді похибка обчислень побудованої матриці експертизи не повинна перевищувати 10-15% і повинна обчислюватися за формулою [13]:

$$\frac{\lambda_n - n}{(n-1) \cdot \zeta_n} \cdot 100\% \leq 10\% \div 15\%, \quad (2)$$

де  $\lambda_n$  – максимальне власне число експертної матриці,  $n$  – порядок експертної матриці попарних порівнянь експертних суджень,  $\zeta_n$  – нормативне значення індексу узгодженості для генерованих випадкових обернено-симетричних матриць  $n$ -го порядку.

Таблиця 1

**Оцінювання ефективної мінімізації стратегічних ризиків у реалізації реінжинірингу підприємства в умовах цифрової економіки**

Оцінювання ефективної мінімізації стратегічних ризиків у реалізації реінжинірингу підприємства в умовах цифрової економіки <i>Перший рівень ієрархії</i>	Основні несумісні гіпотези стратегічних ризиків підприємства (позначення їх ймовірностей) <i>Другий рівень ієрархії</i>
	Стратегічні ризики, які виникають при модернізації програмного забезпечення спадкових систем виробництва <i>(P(A))</i>



Знаходження ймовірності появи події $S$ - ефективної мінімізації стратегічних ризиків у реалізації реінжинірингу підприємства в умовах цифрової економіки $P(S)$	Стратегічні ризики, які виникають при роботі з персоналом та кадровій політиці $(P(B))$
	Стратегічні ризики, які виникають при роботі персоналу з виробничим обладнанням $(P(C))$
	Стратегічні ризики, які виникають при використанні персоналом програмного забезпечення систем виробництва $(P(D))$
	Стратегічні ризики, які виникають при організації роботи у реалізації реінжинірингу підприємства $(P(E))$
	Стратегічні ризики, які виникають при реінжинірингу підприємства у полі його конкурентного виміру в умовах ринкової економіки $(P(F))$
	Стратегічні ризики, які виникають при управлінні маркетингової політики підприємства за умов реінжинірингу $(P(G))$

Джерело: авторська розробка

У Табл.2 представлена матриця експертних попарних порівнянь за важливістю кожної події із повної групи подій  $A, B, C, D, E, F, G$  (Табл.1).

Таблиця 2

### Матриця експертних попарних порівнянь

Події	A	B	C	D	E	G	F
F	1	2	3	3	3	4	4
B	0,5	1	2	4	1	3	3
C	0,33	0,5	1	4	3	2	3
D	0,33	0,25	0,25	1	4	2	1
E	0,33	1	0,33	0,25	1	3	3
F	0,25	0,33	0,5	0,5	0,33	1	2
G	0,25	0,33	0,33	1	0,33	0,5	1

Джерело: авторська розробка

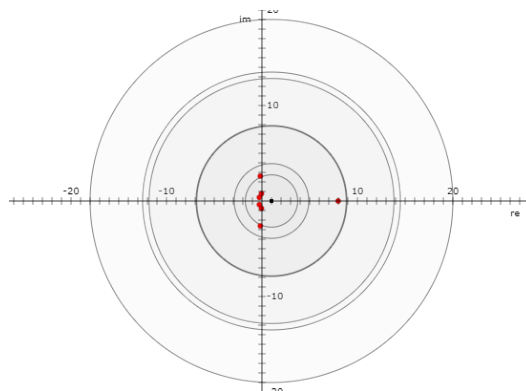
Характеристичне рівняння для знаходження власних чисел матриці таблиці 2 має вигляд:

$$-x^7 + 7x^6 - 0.09x^5 + 58.31x^4 + 34.03x^3 + 47.23x^2 + 18.47x + 7.11 = 0 \quad (3)$$

На Рис. 1 геометрично зображено кола Гершгоріна (за теоремою Гершгоріна: власне число належить хоча б одному з кіл Гершгоріна), на яких позначено усі знайдені власні числа матриці (табл. 2). На Рис. 1 позначено знайдені за онлайн калькулятором комплексні власні числа матриці:  $\{-0.27-0.38i; -0.27+0.38i; -0.17-2.61i; -0.17+2.61i; -0.05+0.77i; -0.05-0.77i\}$ , а також єдине дійсне власне число:  $\{7.983\}$ , що є максимальним дійсним власним числом матриці таблиці 2. Рівень узгодженості з обернено-симетричними випадковими матрицями 7-го порядку перевіряється за формулою (2):

$$\frac{\lambda_n - n}{(n-1) \cdot \zeta_n} = \frac{\lambda_{\max} - 7}{6 \cdot 1,32} = \frac{7,983 - 7}{7,92} < 0,1241 < 0,15. \quad (4)$$

Таким чином, матриця експертних попарних порівнянь – адекватно складена і є основою для знаходження вагових коефіцієнтів, як середнього геометричного рядків.



**Рис. 2. Власні числа матриці таблиці 2 на колах Гершгоріна**

Джерело: [https://www.arndt-bruenner.de/mathe/scripts/engl\\_eigenwert2.htm](https://www.arndt-bruenner.de/mathe/scripts/engl_eigenwert2.htm)

Отже, імовірності подій повної групи основних гіпотез стратегічних ризиків підприємства за умови виконання формули (3) обчислені у вигляді:

$$\begin{aligned} P(A) &= 0,315996, P(B) = 0,200682, P(C) = 0,171287, \\ P(D) &= 0,092981, P(E) = 0,098384, P(F) = 0,065103, P(G) = 0,055567. \end{aligned} \quad (5)$$

Таким чином, перевірені за критерієм адекватності, складені матриці експертних попарних порівнянь є основою для знаходження вагових коефіцієнтів, як середнього геометричного рядків, що і приймається за

імовірності подій повної групи основних гіпотез стратегічних ризиків підприємства.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.** Таким чином, представлена ієрархія оцінювання ефективної мінімізації стратегічних ризиків у реалізації реінжинірингу підприємства в умовах цифрової економіки. Розглянуто несумісні гіпотези стратегічних ризиків у реалізації реінжинірингу підприємства в умовах цифрової економіки, які утворюють повну групу попарно несумісних незалежних подій. Запропоновано математичні методи обробки обернено-симетричних матриць, що складають експерти при попарному порівнянні за представленою 5-бальною шкалою відносної важливості. Складено матриці експертних попарних порівнянь за важливістю кожної події із повної групи подій. Для цих матриць знайдені розв'язки характеристичних рівнянь із визначенням максимальних значень власних чисел матриць, які фігурують в оцінці адекватності складених експертних матриць разом із відповідними порядкам матриць індексами узгодженості випадкових матриць таких же порядків, як і експертних, але генерованих генератором випадкових чисел. Приведена геометрична інтерпретація власних чисел матриць на колах Гершгоріна.

Для подальших розвідок у цьому напрямі необхідно провести оцінювання ефективної мінімізації вищезазначених стратегічних ризиків необхідно висунути основні несумісні гіпотези стратегічних ризиків підприємства та визначити повні групи умовних ймовірностей подій, що відповідають подіям  $A, B, C, D, E, F, G$ . Таким чином, необхідно застосувати нові методичні підходи до оцінювання ефективної мінімізації стратегічних ризиків підприємства. Це дасть можливість менеджменту підприємства ефективного моніторингу впровадження інформаційних технологій на підприємстві.

### **Література**

1. Boholm, M., 2016. Risk association: Towards a linguistically informed framework for analysing risk in discourse. *Journal of Risk Research*, 21(4). P. 480-501. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/13669877.2016.1223158>
2. Cherep, A., and et al., 2009. Reengineering – management philosophy at the food industry enterprise. A Monograph (368).
3. Hammer, M., and Champy, J., 1997. Corporation reengineering: revolution manifest in business. A Monograph (332).
4. Dionne, G., 2013. Risk Management: History, Definition, and Critique. *Risk Management & Insurance Review*. 16(2). P. 147-166. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/rmir.12016>
5. Grimaldi, S., and et al., 2012. A Framework to Select Techniques Supporting Project Risk Management. *Risk Management*, 3. P. 67-96. <http://www.intechopen.com/books/risk-management-current-issues-and-challenges/a-framework-to-select-techniques-supporting-project-risk-management>.
6. Lexin, L., 2016. Communicating risk in disaster risk management systems - experimental evidence of the perceived usefulness of risk descriptions. *Journal of Risk Research*. 20(12). P. 1534-1553.
7. Olson, D. L., and Dash Wu, D., 2015. Enterprise risk management: World Scientific Publishing Co.ptc.ltd. doi:<http://dx.doi.org/10.1142/9378>
8. Illiashenko, S., 2010. Methodological approaches to reengineering business processes risk analysis. A Monograph (440).
9. Robson, M., and Ullakh, F., 2007. Practical guidance on business process reengineering. A Monograph (428).
10. Kobyzskyi, D. S. (2017), "Preconditions of Marketing Activity Reengineering at Ukrainian Machine-building Enterprises" ["Peredumovy vprovadzhennja reinzhynirynghu marketyngovoji dijalnosti ukrajinskyx

mashynobudivnykh pidprijemstv"]], Mechanism of Economic Regulation. No. 3. P. 76–84.

11. Micu, A., Capatina, A., Micu, A. E. (2012), "Marketing Process Reengineering within a Romanian Software Company Focused on the Implementation of a Freelancing Strategy", *iBusiness*. Vol. 4. No. 4. P. 341–349. DOI: <https://doi.org/10.4236/ib.2012.44043>.
12. Блудова Т.В. Теорія ймовірностей. Навчальний посібник Львів, ЛБІ НБУ, 2005. 319 с.
13. Вітлінський В.В., Верченко П.І. Аналіз, моделювання та управління економічним ризиком. Навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисц. К.: КНЕУ, 2000. 292 с.

### **References**

1. Boholm, M., 2016. Risk association: Towards a linguistically informed framework for analysing risk in discourse. *Journal of Risk Research*, 21(4). P. 480-501. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/13669877.2016.1223158>
2. Cherep, A., and et al., 2009. Reengineering – management philosophy at the food industry enterprise. A Monograph (368).
3. Hammer, M., and Champy, J., 1997. Corporation reengineering: revolution manifest in business. A Monograph (332).
4. Dionne, G., 2013. Risk Management: History, Definition, and Critique. *Risk Management & Insurance Review*, 16(2). P. 147-166. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/rmir.12016>
5. Grimaldi, S., and et al., 2012. A Framework to Select Techniques Supporting Project Risk Management. *Risk Management*, 3. P. 67-96. <http://www.intechopen.com/books/risk-management-current-issues-and-challenges/a-framework-to-select-techniques-supporting-project-risk-management>

6. Lexin, L., 2016. Communicating risk in disaster risk management systems - experimental evidence of the perceived usefulness of risk descriptions. *Journal of Risk Research*, 20(12). P.1534-1553.
7. Olson, D. L., and Dash Wu, D., 2015. *Enterprise risk management*: World Scientific Publishing Co.ptc.ltd. doi:<http://dx.doi.org/10.1142/9378>
8. Illiashenko, S., 2010. Methodological approaches to reengineering business processes risk analysis. A Monograph (440).
9. Robson, M., and Ullakh, F., 2007. Practical guidance on business process reengineering. A Monograph (428).
10. Kobyzskyi, D. S. (2017), "Preconditions of Marketing Activity Reengineering at Ukrainian Machine-building Enterprises" ["Peredumovy vprovadzhennja reinzhyniryngu marketyngovoji dijalnosti ukrajinskyx mashynobudivnyx pidprijemstv"], *Mechanism of Economic Regulation*, No. 3. P. 76–84.
11. Micu, A., Capatina, A., Micu, A. E. (2012), "Marketing Process Reengineering within a Romanian Software Company Focused on the Implementation of a Freelancing Strategy", *iBusiness*. Vol. 4, No. 4. P. 341–349. DOI: <https://doi.org/10.4236/ib.2012.44043>.
12. Bludova T.V. *Teoriya ymovirnostey. Navchal'niy posibnik L'viv, LBÍ NBU*, 2005. 319 s.
13. Vitlins'kyi V.V., Verchenko P.I. *Analiz, modelyuvannya ta upravlinnya ekonomichnym ryzykom. Navch.-metod. posibnyk dlya samost. vyvch. dysts. K.: KNEU*, 2000. 292 s.