РОЗДІЛ 9. МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКУ БРАКУ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРИЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

MODELLING RISK OF DEFECTS IN THE ELECTRICAL EQUIPMENT PRODUCTION

УДК 330.46:519.21
https://doi.org/10.32843/infrastruct45-42

Жерліцин Д.М.
д.е.н., професор кафедри економічної кібернетики
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Іванькова А.А.
студентка
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Zherlitsyn Dmytro
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Ivankova Anastasiia
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

У статті розглянуто особливості ризику виявлення браку підприємств з виробництва штучних продуктів електричного устаткування. Авторами здійснено постановка задачі мінімізації витрат внаслідок виявленого браку. Сформульовано модель оцінки додаткових абсолютних та відносних витрат, що пов'язані із системою управління ризиком виявлення бракованої продукції у партії. За допомогою апарату теорії імовірності обґрунтовано метод розрахунку резервного фонду готових до випуску товарів, а також рівень додаткових затрат на кожну партію готової продукції. Цільовими критеріями моделі визначено рівень втрат від виявлення браку та додаткові витрати на покриття негативних наслідків ризику. Для підприємства з виробництва електричного устаткування здійснено апробацію практичної економічної ситуації. Отримані результати дали змогу визначити залежності величин відносного рівня ризику для кожної партії продукції.
Ключові слова: *ризик, брак, рівень ризику, відносний ризик, виробництво електричного устаткування, резервний фонд, додаткові витрати.*

В статье рассмотрены особенности риска обнаружения брака предприятий по производству электрического оборудования. Авторами осуществлена постановка задачи минимизации затрат вследствие выявленного брака. Сформулирована модель оценки дополнительных абсолютных и относительных затрат, которые связаны с системой управления риском обнаружения бракованной продукции в партии. С помощью аппарата теории вероятности обоснован метод расчета резервного фонда готовых к выпуску товаров, а также уровень дополнительных затрат на каждую партию готовой продукции. Целевыми критериями модели определены уровень потерь от обнаружения брака и дополнительные расходы на покрытие негативных последствий риска. Для предприятия по производству электрического оборудования осуществлена апробация практической экономической ситуации. Полученные результаты позволили определить зависимости величин относительного уровня риска для каждой партии продукции.
Ключевые слова: *риск, брак, уровень риска, относительный риск, производство электрического оборудования, резервный фонд, дополнительные расходы.*

Risk is an integral part of economic systems: production, financial, social and so on. Therefore, the risk of production defects is quite common for manufacturing enterprises. The article discusses the features of the risk of defects detecting for enterprises, which produce piece type of products, in particular, electrical equipment. The problem of identifying defective goods could be solved by creating a reserve fund for additional products, in which several similar units are added to each consignment of manufactured products for quick replacement and minimization of the negative consequences of the defect. The authors formulate the problem of minimizing costs due to the revealed defect. A model for assessing additional absolute and relative costs associated with the risk management system for detecting defective products in a consignment is formulated. The method for calculating the reserve fund of ready-to-release goods as well as the level of additional costs for each consignment of finished goods, based on the apparatus of the theory of probability, is substantiated. The target criterion of the model is determined by the level of losses from the defect detection and the additional costs to cover the negative consequences of the risk. The model for estimating the mathematical expectation of absolute and relative costs of possible defects detection in a consignment of artificial goods, which is based on the binomial distribution law, is proposed. A practical economic situation has been tested for an enterprise of electrical equipment production. An assessment of the input parameters is carried out and a mathematical model is built for assessing the costs of detecting defects of the corresponding enterprise. The obtained results made it possible to determine the dependences of the values of the relative level of risk for each consignment of products. The level of marginal costs from the implementation of measures to manage the risk of detecting defects has been determined. It is also proven that the level of relative risk of the defect detection is significantly influenced by the size of the consignment.
Key words: *risk, defect, level of risk, relative risk, production of electrical equipment, reserve fund, additional costs.*

Постановка проблеми. Специфічні ризики є в усіх економічних системах. Підприємства з виробництва електричного устаткування не є винятком. Проте, на відміну від систематичних ризиків, які не піддаються регулюванню на мікрорівні, несистематичні ризики можна попередити шляхом розроблення спеціального механізму їх нейтралізації та мінімізації негативних наслідків.

Будь-який брак веде до збільшення собівартості виробу, зменшення обсягу реалізованої продукції та, відповідно, зниження прибутку й рентабельності. Основними причинами зниження якості продукції у сфері виробництва електричного устаткування є низька якість сировини, низький рівень технології, недосконала організація виробництва, недостатній рівень кваліфікації робітників, неритмічність виробництва тощо [3].

Браком прийнято називати продукцію, яка виготовлена з порушенням або відступом від стандартів, технічних умов та не може бути використана за своїм прямим призначенням або може бути використана після додаткових витрат на виправлення [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У класичних джерелах розглянуті економічні ризики, теоретичні питання та методи їх оцінювання у сучасних системах прийняття управлінських рішень [1; 4; 5; 13]. З іншого боку, ризик випуску бракованої продукції є досить поширеним для підприємств з виробництва різних видів продукції та послуг [8; 9; 10; 11; 15].

Ризик браку та проблема обґрунтування відповідних управлінських рішень, що пов'язані з мінімізацією наслідків цього ризику, є об'єктом значної кількості вітчизняних економістів та дослідників. Зокрема, можна визначити такі ключові напрями розробок.

По-перше, ризик браку розглядається як частина ризику операційної діяльності, особливо під час побудови та організації логістичних процесів [8; 12; 14]. У представлених дослідженнях визначається значення браку як чинника підвищення вартості та зростання тривалості ланцюга постачань.

По-друге, ризик як економічна категорія та відповідні фінансові втрати досліджується у роботах [6; 7; 9]. Автори цих робіт застосовують класичні методи математичної статистики для обґрунтування кількісних та якісних оцінок негативних наслідків дії економічних ризиків.

По-третє, специфічні сфери оцінки ризиків операційної діяльності та браку представлені в роботах [10; 11; 15]. Зокрема, розглянуто сфери виробництва медичної продукції, електронного устаткування та послуг пасажирського транспорту.

Незважаючи на велике поширення підходів до визначення обсягів та зниження негативних наслідків браку, необхідність відповідних розробок залишається вкрай актуальною. Постає питання створення єдиної концепції управління ризиком браку штучної продукції (послуг), що поєднує простоту реалізації з прийнятним рівнем похибки під час формалізації та моделювання.

Постановка завдання. Мета роботи полягає в обґрунтуванні концептуального підходу та побудові математичної моделі управління ризиком браку підприємства, що виробляє штучну продукцію, на прикладі компанії з виробництва електричного устаткування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Проблеми випуску бракованої продукції для підприємств з виробництва електричного устаткування вдається вирішити за допомогою методу створення резервного фонду обладнання, за якого до кожної партії випущеного продукту створюється кілька додаткових аналогічних деталей для швидкої заміни у разі виявлення браку. Таким чином, одним з напрямів збільшення ефективної роботи таких підприємств буде використання напрацювань теорії і практики управління економічними ризиками [1; 4; 5; 8; 9; 10; 11; 13; 15].

Задача 1. Задача мінімізації витрат внаслідок виявленого браку.

Постановка задачі 1. Нехай компанія випускає штучний товар по *n* одиниць у партії. Ціна товару дорівнює *c1* грошових одиниць за одиницю. Ймовірність того, що вироблений штучний товар є бракованим, дорівнює *p*. Якщо споживач виявить брак товару, то компанія понесе фіксовані збитки, що у середньому можна оцінити в розмірі *c2* грошових одиниць. Такі фіксовані збитки *c2* суттєво перевищують ціну одиниці продукції *c1*, тому економічно доцільним є додавання до кожної партії у готових виробів (поза прогнозованого розміру попиту). Відповідно, за додавання у готових виробів компанія несе додаткові витрати у розмірі *C(y)*, що пов'язані з економічною оцінкою ціни додаткового товару та можливими постійними втратами внаслідок виявлення браку споживачем. Для формування оптимального плану виробництва та продажу готової продукції необхідно визначити значення *y*, а також оцінити розмір додаткових затрат на кожну партію товару, що мінімізує додаткові витрати та можливі втрати від виявленого браку. Величиною *n* у цій задачі є розмір партії (кількість одиниць продукції у партії).

Розглянемо математичну постановку задачі 1.

Для мінімізації втрат унаслідок браку витрати на кожну партію товару збільшуються на $C(y)$, що можна визначити таким чином:

$$C(y) = c1 \cdot y + c2 \cdot f(x - y) \quad (1)$$

$$f(x) = \begin{cases} 0, x < y \\ 1, x \geq y \end{cases}, \quad (2)$$

де x – випадкова величина кількості виявлених одиниць бракованої продукції у партії; $f(x)$ – функція управління.

Отже, якщо клієнтом виявлено брак та у партії є додаткові товари у достатній кількості, то $f(x) = 0$, або додаткові постійні витрати не передбачені. Проте якщо клієнтом виявлено брак, а кількості додаткових товарів у недостатньо для оперативної заміни бракованої продукції, то $f(x) = 1$, або постачальник несе додаткові витрати у розмірі $c2$.

Припущення 1. Передбачимо, що товари у партію відбиваються випадковим чином.

Як випливає з умов Задачі 1 та Припущення 1, поведінка функції $f(x)$ відповідає біноміальному закону розподілу. Нехай у партії *n* одиниць товару, що відповідає кількості випробувань за біноміальним законом розподілу, тобто ймовірності $P(n,k)$ обчислюємо таким чином [1; 6; 13]:

$$P(n,k) = \sum_{k=y+1}^{n} C_k^n \cdot p^k \cdot q^{n-k}, \quad (3)$$

де *k = 0,1,…,n* – коефіцієнт ітерації; *q = 1-p* – імовірність настання події «брак не виявлено».

Зведемо оцінки середніх значень додаткових витрат на покриття витрат від виявлення браку в табл. 1.

Таблиця 1

Розрахунок додаткових витрати від можливого виявлення бракованої продукції у партії продукції за різних значень *y*

y	*x*				Математичне сподівання додаткових витрат $M(C(y))$
	0	*1*	…	*n*	
0	*c1*	*c1 + c2*	…	*c1 + c2*	$c2 \cdot P(n,k)$
1	*c1*	*c1*	…	*c1 + c2*	$M(C(y)) = c1 + c2 \cdot P(n,k)$
2	$2 \cdot c1$	$2 \cdot c1$	…	$2 \cdot c1$ + *c2*	$M(C(y)) = 2 \cdot c1 + c2 \cdot P(n,k)$
…	…	…	…	…	…
y_n	$n \cdot c1$	$n \cdot c1$	…	$n \cdot c1$	$M(C(y)) = n \cdot c1 + c2 \cdot P(n,k)$

Як видно з даних табл. 1, за максимального рівня «страхування» від можливого браку кількість товарів у партії та відповідні витрати $M(C(y))$ подуються. З іншого боку, якщо у партії виявлено від одного до *n* бракованих товарів, а *y=0*, то додаткові витрати дорівнюють $c2$.

Склавши наведені у табл. 1 формули та враховуючи умову (3), отримуємо математичне сподівання додаткових затрат для будь-якого значення *y*:

$$M(C(y)) = y \cdot c1 + c2 \cdot \sum_{k=y+1}^{n} C_k^n \cdot p^k \cdot q^{n-k}. \quad (5)$$

Показник відносної вартості ризику у 1 грошовій одиниці у партії товару можна оцінити таким чином:

$$r(y) = \frac{M(C(y))}{c1 \cdot x} = \frac{y \cdot c1 + c2 \cdot \sum_{k=y+1}^{n} C_k^n \cdot p^k \cdot q^{n-k}}{c1 \cdot x}. \quad (6)$$

Відповідно до визначених показників (5) та (6) можна оцінити розмір *y*, що мінімізує сукупні втрати та додаткові витрати на покриття ризиків браку продукції. За результатами можна побачити, за яких значень *y* витрати у кожній партії є економічно доцільними. За представленою моделлю можна також оцінювати розмір резервного фонду готових до випуску на кожну партію готової продукції. При цьому рівень ризику невиправданих втрат буде спрямований до мінімуму.

Здійснимо апробацію представленої моделі на практичному прикладі функціонування підприємства з виробництва електричного устаткування.

Приклад 1. Маркетинговий план електротехнічної компанії зосереджений на продажу товарів визначених трьох видів партіями по 150, 100 і 50 виробів у кожній, а саме *n1, n2* та *n3* товарів у партії:

$$n1 = 150,$$
$$n2 = 100,$$
$$n3 = 50.$$

Ціна одиниці першого виду продукції:

$$c1_1 = 11200.$$

Якщо споживач виявляє брак, компанія-виробник несе додаткові витрати на роботу спеціалістів з діагностики приладу, доставки до них та до клієнтів після виправлення проблеми тощо. Разом постійні додаткові витрати на усунення браку в межах партії 1 складають:

$$c2_1 = 28500.$$

Відповідні показники для другої та третьої партій товарів такі:

$$c1_2 = 7500,$$
$$c2_2 = 18000,$$
$$c1_3 = 10500,$$
$$c2_3 = 21000.$$

Ймовірності того, що випадково вибрана одиниця виробленого товару буде бракована для виробів кожного виду, оцінені емпірично таким чином:

$$p_1 = 0{,}06,$$
$$p_2 = 0{,}03,$$
$$p_3 = 0{,}01.$$

Знайдемо ймовірності браку, математичне очікування втрат і можливі значення відносного ризику для першого виду продукції електротехнічної компанії за формулами (4) – (6). Отримані результати переставимо у табличному та графічному вигляді.

Дані табл. 2 узагальнюють розрахунки щодо додаткових витрат та можливих втрат від виявлення браку в партії зі 150 одиниць продукції 1 виду. Зокрема, в табл. 2 представлено значення середнього відносного рівня ризиків за першим видом товару для кожної з партій продукції в межах [0…7] з кроком збільшення страхового запасу *y* на 1 одиницю. Найменші значення ризику для кожної партії виділені жирним шрифтом. Як бачимо з наведених даних (табл. 1), для першої партії мінімальний рівень додаткових витрат досягається при значенні *y=1*, для другої партії – при *y=1*, а для третьої партії – при *y=0*.

Виконаємо аналогічні розрахунки для продукції другого (табл. 3) та третього (табл. 4) видів.

Як видно з результатів сценарного аналізу (табл. 2, 3, 4), для другої та третьої партій мінімальний рівень ризику досягається при значенні *y=1* та *y=2*, а для третьої – при *y=0* та *y=2*.

Таблиця 2

Залежність рівня додаткових витрат від значень у для першого виду продукції

Номер партії	*у*							
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Ймовірність браку								
1	0,98963	0,94152	0,83068	0,66156	0,46934	0,29574	0,16600	0,08345
2	0,95245	0,80538	0,58022	0,35275	0,18215	0,08084	0,03123	0,01062
3	0,78193	0,44472	0,18920	0,06276	0,01681	0,00374	0,00070	0,00011
Математичне очікування втрат								
1	28 204,47	27 488,37	27 467,16	30 226,04	37 149,78	47 867,03	60 775,96	74 236,04
2	27 144,75	25 133,04	25 939,37	31 800,97	41 831,03	53 776,98	65 991,50	77 869,87
3	22 285,14	18 893,66	23 554,13	33 279,92	44 525,99	55 897,25	67 172,77	78 394,30
Відносний ризик								
1	0,01679	0,01636	0,01635	0,01799	0,02211	0,02849	0,03618	0,04419
2	0,02424	0,02244	0,02316	0,02839	0,03735	0,04802	0,05892	0,06953
3	0,03979	0,03374	0,04206	0,05943	0,07951	0,09982	0,11995	0,13999

Таблиця 3

Залежність рівня додаткових витрат від значень для другого виду продукції

Номер партії	*у*							
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Ймовірність браку								
1	0,99991	0,99901	0,99477	0,98142	0,95009	0,89170	0,80164	0,68337
2	0,99795	0,98483	0,94339	0,85698	0,72322	0,55931	0,39365	0,25165
3	0,95467	0,81000	0,58375	0,35270	0,17940	0,07764	0,02892	0,00938
Математичне очікування втрат								
1	17 998,32	17 989,66	17 984,32	18 083,61	18 598,89	20 111,76	23 355,78	28 923,59
2	17 963,01	17 840,70	17 830,16	18 643,60	21 321,30	26 593,51	34 371,56	43 818,06
3	17 184,05	16 004,97	16 751,26	20 912,87	27 847,15	35 986,01	44 219,05	52 176,45
Відносний ризик								
1	0,01600	0,015991	0,015986	0,01607	0,01653	0,01788	0,02076	0,02571
2	0,02395	0,02379	0,02377	0,02486	0,02843	0,03546	0,04583	0,05842
3	0,04582	0,04268	0,04467	0,05577	0,07426	0,09596	0,11792	0,13914

Таблиця 4

Залежність рівня додаткових витрат від значень для третього виду продукції

Номер партії	*у*							
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Ймовірність браку								
1	0,77855	0,44302	0,19052	0,06469	0,01799	0,00421	0,00085	0,00015
2	0,63397	0,26424	0,07937	0,01837	0,00343	0,00053	0,00007	0,00001
3	0,39499	0,08944	0,01382	0,00160	0,00015	0,00001	0,00000	0,00000
Математичне очікування втрат								
1	16 349,51	15 151,66	21 000,00	30 820,71	41 622,26	52 367,35	62 964,37	73 492,15
2	13 313,32	13 274,50	21 000,00	31 307,07	41 927,92	52 483,16	62 997,01	73 499,57
3	8 294,87	11 439,07	21 000,00	31 483,24	41 996,94	52 499,66	62 999,97	73 500,00
Відносний ризик								
1	0,01038	0,00962	0,01333	0,01957	0,02643	0,03325	0,03998	0,04666
2	0,01268	0,01264	0,02000	0,02982	0,03993	0,04998	0,06000	0,07000
3	0,01580	0,02179	0,04000	0,05997	0,07999	0,10000	0,12000	0,14000

На базі отриманих результатів реалізації моделі оцінки наслідків дії чинників ризику виявлення браку продукції побудуємо графіки залежності величин відносного рівня ризиків (показник (6)) для кожної з розглянутих партій від величини додаткових одиниць товарів у партіях *у*. Результати графічного аналізу зведемо на рис. 1, 2, 3.

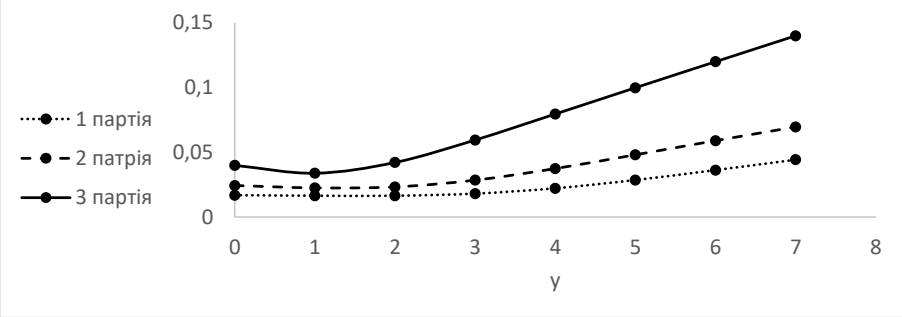

Рис. 1. Залежність величини відносного рівня ризиків для першого виду товару від величини додаткових продуктів *y*

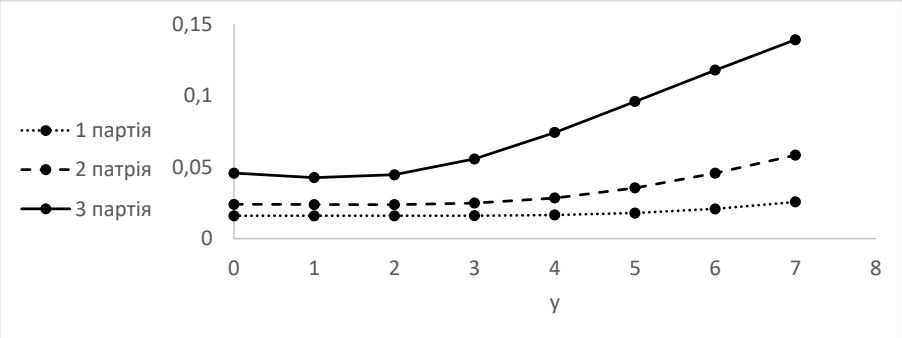

Рис. 2. Залежність величини відносного рівня ризиків для другого виду товару від величини додаткових продуктів *y*

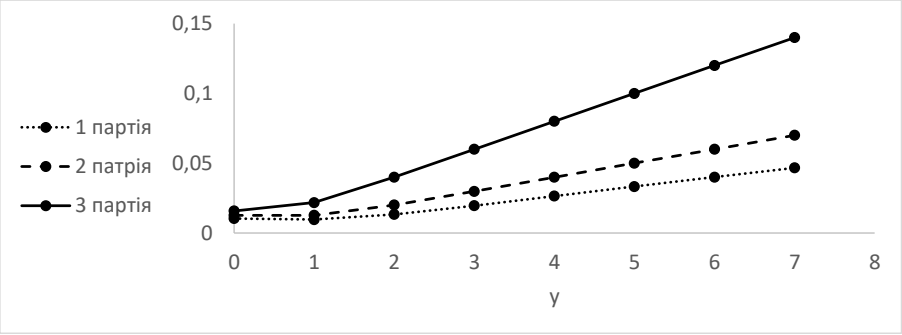

Рис. 3. Залежність величини відносного рівня ризиків для третього виду товару від величини додаткових продуктів *y*

З даних графічного аналізу видно, що для третьої партії товарів для всіх видів продукції додаткові витрати на додавання «стразового» продукту *y* значно перевищують постійні витрати на усунення наслідків можливого виявлення браку покупцями. Для більш суттєвих партій (1 та 2) таке суттєве зростання відносних витрат на мінімізацію наслідків ризику не спостерігається, тобто, з одного боку, збільшення партії товарів знижує відносні витрати від виявлення браку, а з іншого боку, додавання значної кількості додаткових продуктів збільшує відносні витрати на покриття цього ж браку.

Під час реалізації розробленої моделі визначена оптимальна кількість додаткових товарів (*y*), які необхідно додати до визначених партій для мінімізації втрат від дії чинників ризику виявлення браку, а саме:

$$\sum M\left(C\left(y\right)\right) = 160781 \text{ грн.}$$

Таким чином, на мінімізацію наслідків ризику втрат від випуску бракованої продукції необхідно додатково витратити 160 781 грн. Також з результатів апробації представленої моделі видно, що процес виробництва першого та третього видів продукції потребує вдосконалення, оскільки пов'язані з ними витрати є майже в два рази вищими за витрати щодо другого виду продукції.

Висновки з проведеного дослідження. У результаті теоретичного аналізу особливостей управління втратами та додатковими втратами від можливого виявлення браку в партіях штучного товару доведено доцільність використання класичних методів теорії ймовірності для підприємств з виробництва електричного устаткування. На базі біноміального законом розподілу запропоновано модель оцінки математичного сподівання абсолютних та відносних витрат для покриття втрат від можливого виявлення браку в партії штучних товарів. На прикладі формування плану продажу продукції підприємства сфери виробництва електричного устаткування визначено оптимальний розмір додаткових одиниць продукції, що надаються у партію для мінімізації витрат від дії ризиків виявлення браку (1 та 2 додаткових товарів для партій від 150 до 50 одиниць продукції). Визначено, що рівень додаткових витрат для розглянутого підприємства складає 160,8 тис. грн. Також доведено, що на рівень відносного ризику браку суттєво впливає розмір партії товару.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Івченко І.Ю. Економічні ризики : навчальний посібник. Київ : Центр навчальної літератури, 2004. 304 с.

2. Про класифікацію браку та особливості обліку втрат від браку : Лист Міністерства промислової політики України від 15 грудня 2006 р. № 01/5-1-2928.

3. Безнощенко Н.О. Підвищення якості продукції як чинник зростання конкурентоспроможності машинобудівного підприємства. *Вісник соціально-економічних досліджень*. 2013. Вип. 4 (51). URL: https://core.ac.uk/download/pdf/147038454.pdf (дата звернення: 16.07.2020).

4. Клименко С.М., Дуброва О.С. Обґрунтування господарських рішень та оцінка ризиків : навчальний посібник. Київ : КНЕУ, 2005. 252 с.

5. Мороз О.В., Матвійчук А.В. Оптимальне управління економічними системами в умовах невизначеності та ризику : монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ, 2003. 177 с.

6. Скрипник А.В., Букін Е.К. Аналіз ефективності та ризиків інновацій в аграрному секторі економіки України : монографія. Київ : ЦП Компринт, 2017. 342 с.

7. Debski W., Feder-Sempach E., Wojcik S. Statistical Properties of Rates of Return on Shares Listed on the German, French, and Polish Markets – a Comparative Study. *Contemporary Economics*. 2018. Mar. T. 12. № 1. С. 5–15.

8. Fazlollahtabar H. Multi-Layer Multi-Product Reverse Supply Chain: Defects and Pricing Model. *Supply Chain Management Models: Forward, Reverse, Uncertain, and Intelligent: Foundations with Case Studies*. Boca Raton : Crc Press-Taylor & Francis Group, 2018. P. 203–216.

9. Fernandez A.J. Economic lot sampling inspection from defect counts with minimum conditional value-at-risk. *European Journal of Operational Research*. 2017. Apr. T. 258. № 2. P. 573–580.

10. Gao Y.H., Du X.L., Zhang M.J. The Application of Dynamic Priority of AHP on Operation Risk Assessment of Metro // Modeling Risk Management in Sustainable Construction / Wu D. D. Berlin : Springer-Verlag Berlin, 2011. P. 65–72.

11. Hosseini-Motlagh S.M., Nematollahi M., Nami N. Drug recall management and channel coordination under stochastic product defect severity: a game-Theoretic analytical study. *International Journal of Production Research*. P. 27.

12. Li S.Z., Yu J.J. Identification and Evaluation of Supply Chain Fault Risk. *Proceedings of the Fourth International Conference on Operations and Supply Chain Management* (Icoscm 2010). 2010. T. 4. P. 832–835.

13. Tzotzos G., Head G., Hull R. Principles of Risk Assessment. *Genetically Modified Plants: Assessing Safety and Managing Risk*. San Diego : Elsevier Academic Press Inc, 2009. P. 33–63.

14. Zherlitsyn D., Kravchenko V. Supply Chain Resilience through Operations and Finance Management. *Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky*. 2016. № 1 (4). Slovakia, Košice. P. 193–197.

15. Zhu X., Du Z.M., Jin X.Q., Chen Z.J. Fault diagnosis based operation risk evaluation for air conditioning systems in data centers. *Building and Environment*. 2019. Oct. T. 163. P. 14.

REFERENCES:

1. Ivchenko, I.Yu. (2004) *Ekonomichni ryzyky [Economic risks]*. K.: Tsentr navchalnoi literatury. 304 p. (in Ukrainian).

2. *Pro klasyfikatsiiu braku ta osoblyvosti obliku vtrat vid braku [On the classification of defects and features of accounting for losses from marriage]:* Lyst Ministerstva promyslovoi polityky Ukrainy vid 15 hrudnia 2006 r. No 01/5-1-2928 (in Ukrainian).

3. Beznoshchenko, N.O. (2013). Pidvyshchennia yakosti produktsii yak chynnyk zrostannia konkurentospromozhnosti mashynobudivnoho pidpryiemstva [Improving product quality as a factor in increasing the competitiveness of the machine-building enterprise]. *Visnyk sotsialno-ekonomichnykh doslidzhen [Bulletin of socio-economic research]*. Vol. 4 (51). URL: https://core.ac.uk/download/pdf/147038454.pdf (accessed 16 July 2020).

4. Klymenko, S.M. & Dubrova, O.S. (2005) *Obgruntuvannia hospodarskykh rishen ta otsinka ryzykiv [Substantiation of business decisions and risk assessment]*. K.: KNEU, 252 p. (in Ukrainian).

5. Moroz, O.V. & Matviichuk, A.V. (2003) *Optymalne upravlinnia ekonomichnymy systemamy v umovakh nevyznachenosti ta ryzyku [Optimal management of economic systems in conditions of uncertainty and risk]*. Vinnytsia: UNIVERSUM. 177 p. (in Ukrainian).

6. Skrypnyk, A.V., Bukin, E.K. (2017). *Analiz efektyvnosti ta ryzykiv innovatsii v ahrarnomu sektori ekonomiky Ukrainy [Analysis of efficiency and risks of innovations in the agricultural sector of Ukraine's economy]*. Kyiv. Copmprint. 2017. 342 p. (in Ukrainian).

7. Debski, W., Feder-Sempach, E., & Wojcik, S. (2018). Statistical Properties of Rates of Return on Shares Listed on the German, French, and Polish Mar-

kets – a Comparative Study. *Contemporary Economics*, 12 (1), 5–15. https://doi.org/10.5709/ce.1897-9254.260.

8. Fazlollahtabar, H. (2018). Multi-Layer Multi-Product Reverse Supply Chain: Defects and Pricing Model. *Supply Chain Management Models: Forward, Reverse, Uncertain, and Intelligent: Foundations with Case Studies*, Boca Raton: Crc Press-Taylor & Francis Group. 203–216.

9. Fernandez, A.J. (2017). Economic lot sampling inspection from defect counts with minimum conditional value-at-risk [Article]. *European Journal of Operational Research*, 258(2), 573-580. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.10.042.

10. Gao, Y.H., Du, X.L., & Zhang, M.J. (2011). The Application of Dynamic Priority of AHP on Operation Risk Assessment of Metro. In D. D. Wu (Ed.), *Modeling Risk Management in Sustainable Contruction,* Springer-Verlag Berlin. 65–72. https://doi.org/10.1007/978-3-642-15243-6_8.

11. Hosseini-Motlagh, S.M., Nematollahi, M., & Nami, N. (2020) Drug recall management and channel coordination under stochastic product defect severity: a game-Theoretic analytical study [Early Access]. *International Journal of Production Research*, 27. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1723813.

12. Li, S.Z., & Yu, J.J. (2010). Identification and Evaluation of Supply Chain Fault Risk [Proceedings Paper]. *Proceedings of the Fourth International Conference on Operations and Supply Chain Management (Icoscm 2010)*, 4, 832–835.

13. Tzotzos, G., Head, G., & Hull, R. (2009). Principles of Risk Assessment. *Genetically Modified Plants: Assessing Safety and Managing Risk,* Elsevier Academic Press Inc. 33-63. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374106-6.00002-3.

14. Zherlitsyn, D.M. & Kravchenko, V.M. (2016) Supply Chain Resilience through Operations and Finance Management. *Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky*, 1 (4). Slovakia, Košice. 193–197.

15. Zhu, X., Du, Z.M., Jin, X.Q., & Chen, Z.J. (2019). Fault diagnosis based operation risk evaluation for air conditioning systems in data centers [Article]. *Building and Environment*, 163, 14, Article Unsp 106319. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106319.