

УДК 338.1:658.81



І. Г. РОМАНОВСЬКИЙ,
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри економіки та підприємництва,
Національна металургійна академія України

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНИХ РИЗИКІВ В ПРОЦЕСІ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ ПІДПРИЄМСТВА

Переорієнтація українських підприємств на ринки економічно розвинутих країн обумовило впровадження сучасних підходів до управління якістю продукції. Важливою складовою цього процесу є методики економічних ризиків з метою їх подальшого скорочення. Запропоновано підхід до створення математичної моделі для визначення та оцінювання економічних ризиків в процесі управління якістю продукції промислового підприємства. На підставі аналізу існуючих підходів до оцінки економічних ризиків з урахуванням різної тривалості процесів спостереження за об'єктами дослідження та різною повнотою баз даних обрано для рішення поставленої задачі обрано регресію Кокса (модель пропорційного ризику). Подією означено вихід зі строю (руйнування або псування) примірника продукції під час експлуатації у споживача при нормативному режимі використання протягом гарантійного терміну роботи. Застосування регресії Кокса базується на розгляді часу, який минув до того, як відбулася подія. На підставі аналізу рекомендацій щодо практичного використання регресії Кокса зроблено висновок про можливість використання цього підходу для оцінки економічних ризиків. Ймовірність виникнення несприятливої події (миттєвий ризик) представлена у вигляді функції часу і коваріат, які враховують особливості виробничого процесу. Формулювання гіпотези на підставі визначенні пропорційних ризиків сприяло значному спрощенню структури функції ймовірності з точки зору подальшого практичного застосування в умовах виробничого підприємства.

Із використанням стандартизованих залишки визначено рівняння функції вірогідності Кокса. Апробацію моделі здійснено із залученням первинної бази даних промислового підприємства, яке виготовлює продукцію для сучасного транспортного обладнання. Визначено ступінь впливу окремих факторів на ймовірність виникнення несприятливих подій (руйнація виробів під час гарантійного строку експлуатації). Визначення коефіцієнтів регресії Кокса здійснювалось за допомогою ліцензійного забезпечення Excel 365 Microsoft office з використанням розширеного програмного забезпечення для статистичних розрахунків. Визначено асимптотична значимість яка свідчить про її надійність. Для оцінки параметрів розподілу ймовірностей залучено метод максимальної ймовірності, який підтвердив коректність отриманого рішення. Оцінка значущості параметрів дозволила сформулювати напрямки скорочення економічних ризиків та зробити їх кількісну оцінку.

Здійснена оцінка чутливості визначених параметрів. Зроблено висновок щодо доступності і доцільності застосування результатів проведених досліджень для практичного використання у вигляді математичної моделі. Визначено напрямки подальших досліджень.

Ключові слова: ризик, ймовірність, підприємство, якість, аналіз, модель, фактор, регресія, подія.

Актуальність та постановка проблеми. Переорієнтація на ринки економічно розвинутих країн, яка чітко визначилась протягом останнього десятиліття, висуває нові виклики українським промисловим підприємствам. Окрім освоєння нових видів продукції, які затребувані на ринках різних регіонів світу, виникає необхідність вдосконалення існуючих виробів українських підприємств до найвищих рівнів характеристик і властивостей аналогічної продукції. Такі виклики обумовлюють відповідні вимоги щодо вдосконалення систем менеджмента якості. Поряд з підприємствами сфери машинобудування, слід визначити виробників авіаційної і космічної техніки – наукоємних галузей, які історично є лідерами світового рівня у своїх напрямках. До цього переліку слід додати українські підприємства військової галузі, продукція яких також є затребуваною.

На відміну від традиційної торгівлі сировиною і енергоносіями з низькою доданою вартістю, що є характерною рисою пострадянського простору, експорт української наукоємної продукції, окрім зростання економіки країни за рахунок значних валютних надходжень, забезпечує всебічний розвиток суспільства: зростає зайнятість, підвищується науковий і освітній рівні. Тому практичні розробки, впровадження яких посилює процеси менеджмента якості, є вчасними. Незважаючи на міцну науково-теоретичну базу, яка в умовах сьогодення залучена до менеджменту якості, існує потреба в практичному інструментарії, який може бути використаним для рішення конкретних специфічних проблем. Комплексний розгляд спектру таких питань (економічних, технологічних, юридичних тощо) обумовлює необхідність оцінки ймовірності виникнення окремих несприятливих подій, оскільки їх реалізація впливає на успішність виконання обов'язків, які виробники наукоємної продукції беруть на себе. Така успішність, в свою чергу, є передумовою динамічного розвитку української економіки. Це обумовлює важливість і актуальність питань, які винесено на розгляд.

Аналіз останніх публікацій та досліджень. Проблемі управління якістю присвячена значна кількість досліджень, які вивчають цей процес понад століття. Механізм управління якістю окремо взятого виробу, започаткований системою Фредеріка Тейлора [1], який вперше ввів розподіл на якісну і браковану продукцію.

Подальше залучення Гарольдом Доджем і Харрі Ромігом метода вибіркового контролю на підставі оцінювання рівня якості окремої вибірки

фактично стало початком використання статистичного інструментарію для управління якістю[2] та чітко визначило напрямок подальшого розвитку і вдосконалення статистичного інструментарію менеджмента якості.

Розробка Арнольдом Фейгенбаумом моделі загального контролю якості остаточно сформувало підхід до управління якістю, який отримав широке розповсюдження [3]. Створення моделі загального контролю якості (Total Quality Control - TQC) заклало основи інструментарію, який залучається в сучасних умовах. В економічному контексті слід визначити підхід, що передбачає поділення витрат, які виникають в процесі менеджмента якості, на превентивні, витрати на оцінку якості та витрати від браку. Це суттєво розширило можливості залучення економічного аналізу та реалізації його рекомендацій щодо скорочення таких витрат і наддало можливість одночасного підвищення рівня якості продукції і зменшення її собівартості. Загалом, під менеджментом якості стали визначати сукупність базових елементів: розробки політики та цілей у сфері якості, планування якості, управління якістю, забезпечення якості.

Однак, незважаючи на значну кількість досліджень у сфері менеджменту якості, результати яких мають обов'язковий характер у вигляді стандартів, нормативно-технічної документації тощо, в умовах сьогодення існує потреба в дослідженнях, які на відміну від означених вище підходів наративно-рекомендаційного характеру, дозволяють чітко, за допомогою кількісних показників розробляти комплекси техніко-економічних заходів щодо управління якістю з урахуванням ймовірностей виникнення несприятливих подій – економічних ризиків. Тому дослідження, які дозволяють визначати і зменшувати економічні ризики на всіх етапах – від розробки політики та цілей у сфері якості до забезпечення якості продукції і післяпродажного сервісу – є вчасними і актуальними.

Формулювання мети статті. Метою роботи є створення математичної моделі для визначення та оцінювання економічних ризиків в процесі управління якістю продукції промислового підприємства, висвітлення результатів опробування такої моделі та формулювання рекомендацій щодо скорочення таких ризиків.

Виклад основного матеріалу. З метою запобігання і скорочення економічних ризиків, які пов'язані із поломками виробів промислового підприємства протягом гарантійного строку експлуатації запропоновано побудувати математичну модель. Оскільки продукція підприємства є матеріало- та науковомісткою і застосовується як складовий елемент сучасних транспортних пристроїв, вихід із строю кожної одиниці продукції протягом

гарантійного строку експлуатації є неординарною подією, яка призводить до економічних, репутаційних і інших видів втрат.

При побудові такої моделі використовуємо регресію Кокса (модель пропорційного ризику). Вона названа на честь британського статистика Девіда Кокса – і призначена для використання в статистиці, перш за все в статистиці медицини[4]. Первинно, під час широкого практичного застосування регресії Кокса, в якості події, для якої використалася ця модель, розглядалось одужання (або летальний результат) пацієнта, який отримував певний курс лікування.

У нашому випадку під подією розуміємо вихід зі строю (руйнування або псування) примірника продукції під час експлуатації у споживача при нормативному режиму використання протягом гарантійного терміну роботи. Застосування регресії Кокса для нашого випадку базується на розгляді часу, який минув до того, як відбулася подія.

На підставі висновків роботи [5] можна зробити висновок про правомірність застосування регресії Кокса для інших, ніж медицина, галузей, оскільки це доведено тривалим періодом її використання і широким ситуаційним спектром можливостей.

З статистичної точки зору характер події не є важливим для таких випадків як наш, оскільки для практичного застосування найбільш суттєвим є інтерпретація відповідних коефіцієнтів регресії[6]. Крім того, залучення традиційних видів регресії, в окремих випадках, особливо при поздовжніх дослідженнях, унеможлиблює повне врахування і відстеження ступеню впливу всіх факторів на відбуття події.

Перевага залучення для нашої моделі саме регресії Кокса полягає в тому, що вона уможлиблює врахування всього масиву первинних даних, включаючи ті, які не є повними.

Ймовірність виникнення несприятливої події λ – миттєвий ризик – представляємо у вигляді функції часу t і коваріат X_1, X_N [4]:

$$\lambda(t, X_1, \dots, X_n) = \lambda_0(t) \exp\left(\sum_{i=1}^n \beta_i X_i\right), \quad (1)$$

Функція $\lambda(t, X_1, \dots, X_n)$ відповідає миттєвому ризику виникнення події в момент t , за умов, що подія не відбулась безпосередньо перед t . Базовий показник λ_0 визначаємо як такий, що відповідає миттєвому ризику виникнення події, коли всі коваріати дорівнюють нулю.

Оскільки рівняння функція ймовірності виникнення ризику (1) складається з двох частин:, першої, $\lambda_0(t)$, яка залежить від часу, та другої

$$\exp\left(\sum_{i=1}^n \beta_i X_i\right),$$

яка від часу не залежить, робимо висновок про напівпараметричність нашої моделі. Перша частина функції є однаковою для всіх примірників у будь-який момент часу, тому нам достатньо визначити співвідношення миттєвих ризиків виникнення події для двох примірників. Формулюємо гіпотезу моделі Кокса, яка полягає у визначенні пропорційних ризиків: два окремі однотипні примірника продукції підприємства, I_1 та I_2 , відрізняються лише однією коваріатою (наприклад, k -ою). Тому, згідно з [7], співвідношення ризиків записуємо у вигляді рівняння:

$$\frac{\lambda(t, j_2)}{\lambda(t, j_1)} = \frac{\lambda_0(t) \exp(\beta_1 X'_1 + \dots + \beta_{k-1} X'_{k-1} + \beta_k \times 1 + \beta_{k+1} X'_{k+1} + \dots + \beta_n X'_n)}{\lambda_0(t) \exp(\beta_1 X'_1 + \dots + \beta_{k-1} X'_{k-1} + \beta_k \times 0 + \beta_{k+1} X'_{k+1} + \dots + \beta_n X'_n)} = \exp(\beta_k).$$

Тобто, співвідношення ризиків не залежить від часу, а ймовірність виходу зі строю окремого примірника I_2 перевищує миттєвий ризик руйнування примірника I_1 в $\exp(\beta_k)$ рази. Такий підхід значно сприяє спрощенню структури функції ймовірності з точки зору подальшого практичного застосування в умовах виробничого підприємства.

Для оцінки надійності статистичних даних на кожну дату виникнення події t_i визначаємо різницю між характеристиками зруйнованого примірника та середньозваженими значеннями відповідних параметрів примірників, які зруйнувались достроково (t_i) [4]:

$$R_{ij} = X_{ij} - \bar{X}_{ij}(t_{ij})^1 \quad (3)$$

R_{ij} - залишок у часі t_{ij}

X_{ij} - значення коваріати j -го примірника, який вийшов із ладу у час t_{ij}

$\bar{X}_{ij}(t_{ij})^1$ середньозважене значення j -ої коваріати примірників, які перебувають у групі ризику t_i .

У час t_i ймовірність приналежності окремого примірника до множини примірників, які руйнуються (D_i) визначається як:

$$p_i = \frac{\exp\left(\beta^t \sum_{k \in D_i} X_k\right) dt}{\left[\sum_{i \in R_i} [\exp(\beta^t) X_i]\right]^{d_i}}, \quad (4)$$

де X_i – вектор стовпців коваріат і-того примірника,

β – вектор стовпців коефіцієнтів β_i

$t_{i/j} = 1 \dots m$ – часи виникнення події;

D_i – всі випадки виникнення події (руйнування) за час $t_{i/}$

R_i – кількість примірників, які можуть завчасно вийти із строю у час $t_{i/}$.

Загалом, функція вірогідності Кокса визначаємо рівнянням:

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^m \frac{\exp(\beta^t \sum_{k \in D_i} X_k) dt}{\left[\sum_{i \in R_i} [\exp(\beta^t) X_i] \right]^{d_i}} \quad (5)$$

При розрахунках використовуємо стандартизовані залишки.

Апробація запропонованої моделі здійснювалась на підставі первинної бази даних промислового підприємства, яке виготовлює продукцію для сучасного транспортного обладнання. При дослідженнях визначалась ступінь впливу окремих факторів на ймовірність виникнення несприятливих подій (руйнація виробів під час гарантійного строку експлуатації).

Було розглянуто дані статистичного спостереження тривалістю t місяців експлуатації продукції у споживачів. Протягом періоду спостереження, спостерігалось або руйнація примірника (подія означена як $d=1$), або примірник був якісним ($d=0$).

Для кожного примірника контролювались такі параметри:

1. Властивості матеріалу виробу - позначено параметром G (grain).
2. Особливості технологічного процесу - позначено параметром T (treatment).
3. Особливості обробки поверхні виробів - позначено параметром H (hardness).
4. Особливості інтенсивності технологічного процесу - позначено параметром S (speed).

Загалом для розрахунків було використано інформацію щодо 241 примірника продукції виробника протягом від 2 до 80 місяців використання споживачем.

Визначення коефіцієнтів регресії Кокса здійснювалось за допомогою ліцензійного забезпечення Excel 365 Microsoft office з використанням розширеного програмного забезпечення для статистичних розрахунків. При здійсненні розрахунків кількість ітерацій перевищувала 20.

Оскільки асимптотична значимість (p-value) моделі, яка складає 0.03121, не перевищує обраний рівень статистичної значущості ($\alpha = 0.05$), робимо

висновок про надійність запропонованої моделі визначення економічних ризиків.

Для оцінки параметрів розподілу ймовірностей залучено метод максимальної ймовірності (LL method), тобто, в рамках прийнятої статистичної моделі спостережувані дані визначаються як найбільш вірогідні. Тому, точку параметрів в просторі, яка максимізує функцію ймовірності, визначаємо як максимальну оцінку ймовірності^[8]. Таким чином, при оцінці коефіцієнтів варіації $\beta_k/k = 1 \dots n$ на підставі максимальної ймовірності, висновок про отримання коректного рішення у нашому випадку буде правомірним, оскільки значення функції $L(\beta)$ є максимальним^[9]:

$$L(\beta) = \max \tag{6}$$

З точки зору максимальної ймовірності модель є надійною, оскільки значення функції максимальної ймовірності зростає з $LL_0 = -80.936$ до $LL = -75.627$.

Результати оцінки статистичної значущості коефіцієнтів регресії Кокса наведені в табл. 1

Таблиця 1

Результати оцінки статистичної значущості коефіцієнтів регресії Кокса

№	Параметр	β – коефіцієнт	Стандартна похибка	Асимптотична значимість (p-value)	Межі довірчого інтервалу	
					нижня	верхня
1	G	-0.0430	0.0278	0.1214	-0.0974	0.0114
2	T	-0.7194	0.4848	0.1379	-1.6697	0.2309
3	S	0.0498	0.0221	0.0240	0.0065	0.0930
4	H	-0.2558	0.0959	0.0077	-0.4438	-0.0677

З табл. 1 можна зробити висновок про те, що перших два параметри – G і T – не є статистично значущими, оскільки ймовірність їх випадкового виникнення складає відповідно 0.1214 та 0.1379, тобто, перевищує $\alpha = 0.05$.

Таким чином, на підставі побудованої моделі регресії Кокса, яка дозволяє визначити ймовірність виникнення неблагодійної ситуації (руйнування примірника продукції протягом гарантійного строку експлуатації у споживача) в залежності від окремих параметрів, ми прийшли висновку, що значущими параметрами, змінюючи які ми можемо знизити економічні ризики (ймовірність руйнації примірників продукції), є S(speed) та H(hardness).

Розрахуємо, яким чином впливає зміна цих параметрів на ймовірність виникнення браку (руйнації):

$$\exp(\beta_k) = e^{(0.024033 \times \Delta_3 + 0.007676 \times \Delta_4)}, \quad (7)$$

де Δ_3 та Δ_4 – абсолютна зміна параметрів 3 (S(speed)) та 4 (H(hardness)) у випадку впровадження рекомендаційних заходів.

З метою визначення кількісного рівня впливу окремих факторів (S (speed) та H (hardness)) на якість продукції, із залученням формули (7). розрахуємо таблицю чутливості. Під впливом цих параметрів на якість розуміємо зміну ймовірності руйнування примірника продукції у порівнянні із базовим варіантом внаслідок зміни одного (S (speed) або H (hardness)), або двох (S (speed) та H (hardness)) параметрів одночасно.

Оскільки параметри S(speed) та H(hardness) мають різні значення та різні одиниці вимірювання, розрахувати одночасну відносну зміну ймовірності руйнування примірника продукції як функцію від відносних значень (S(speed) та H(hardness)) є недоцільним. Тому розраховуємо чутливість моделі як функцію від зміни абсолютних значень цих параметрів. При цьому враховуємо, що виходячи із структури формули (7), скорочення $\exp(\beta_k)$ -ймовірності руйнування примірника, відбувається при зменшенні параметра S(speed) (Δ_3) та зростанні параметра H(hardness) (Δ_4).

Розраховані з використанням реальних значень параметрів S(speed) (Δ_3) та H(hardness) (Δ_4) значення чутливості економічного ризику наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Чутливість ймовірності виникнення руйнування примірника від факторів S(speed) та H(hardness)

		Значення параметру S(speed)							
		18.07	18	17	16	15	14	13	12
Значення параметру H(hardness)	4.95	1.0000	0.9964	0.9480	0.9019	0.8581	0.8165	0.7768	0.7391
	5	0.6608	0.9840	0.9362	0.8908	0.8475	0.8064	0.7672	0.7299
	6	0.5116	0.7619	0.7249	0.6897	0.6562	0.6244	0.5941	0.5652
	7	0.3962	0.5900	0.5613	0.5341	0.5081	0.4835	0.4600	0.4377
	8	0.3068	0.4568	0.4347	0.4135	0.3935	0.3744	0.3562	0.3389
	9	0.2375	0.3537	0.3366	0.3202	0.3047	0.2899	0.2758	0.2624
	10	0.1839	0.2739	0.2606	0.2480	0.2359	0.2245	0.2136	0.2032
	11	0.1424	0.2121	0.2018	0.1920	0.1827	0.1738	0.1654	0.1573
	12	0.1103	0.1642	0.1563	0.1487	0.1414	0.1346	0.1280	0.1218
	13	0.0854	0.1272	0.1210	0.1151	0.1095	0.1042	0.0991	0.0943
	14	0.0661	0.0985	0.0937	0.0891	0.0848	0.0807	0.0768	0.0730
	15	0.0512	0.0762	0.0725	0.0690	0.0657	0.0625	0.0594	0.0566

Вдосконалюючи виробничий процес таким чином, що параметри S(speed) та H(hardness) будуть гарантовано отримувати задані значення, ми можемо

можливість зменшувати економічні ризики, які, у нашому конкретному випадку, пов'язані із ймовірністю руйнації продукції у споживача.

Означена вище методика, яка розглянута на прикладі випуску продукції виробничого підприємства та інформації щодо її використання у споживача, дає можливість визначати економічні ризики з урахуванням значної кількості факторів (економічних, технологічних, соціальних тощо) за умов наявності відповідної бази даних, які можуть бути інтерпретовані із залученням квантитативних параметрів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Аналіз підходів системи менеджменту якості промислового підприємства виявив, що суттєві труднощі викликає необхідність визначення економічних ризиків, які пов'язані із виходом із строю продукції підприємства протягом експлуатаційного строку експлуатації у споживачів. Запропонована математична модель, яка враховує пропорційний ризик із залученням регресії Кокса.

Задля визначення економічних ризиків отримано рівняння функції вірогідності Кокса, для оцінки параметрів розподілу ймовірностей залучено метод максимальної ймовірності, який забезпечує визначення найбільшої вірогідності спостережуваних даних в рамках прийнятої моделі.

На підставі аналізу інформаційної бази промислового підприємства визначено перелік факторів та визначено ступені впливу кожного з них на ймовірність виникнення несприятливої ситуації, під якою визначено руйнацію його продукції у споживача строком гарантійного строку експлуатації.

Відповідно до отриманих коефіцієнтів регресії зроблено розподіл на значущі і незначущі параметри, для значущих параметрів здійснено аналіз чутливості в контексті виникнення економічних ризиків.

Для практичних розрахунків використано ліцензійне програмне забезпечення Excel 365 Microsoft office з розширеним пакетом програм для статистичних розрахунків. На підставі аналізу отриманих рішень і результатів апробації в умовах виробничого підприємства, зроблено висновок щодо доступності і доцільності застосування результатів проведених досліджень для практичного використання у вигляді математичної моделі.

В якості подальшого розвитку досліджень автор визначає розширення підходу статистики Баєса для визначення та мінімізації економічних ризиків.

Список використаної літератури

1. Kanigel, R. (1997). *The One Best Way: Frederick Winslow Taylor and the Enigma of Efficiency*. New York: Viking.
2. Juran, J.M. ed. (1995). *A history of managing for quality: The evolution, trends, and future directions of managing for quality*. ASQ Press.

3. Duncan, A. J. (1986). *Quality Control and Industrial Statistics*, 5th ed., Irwin, Homewood, IL.
4. Cox Proportional-Hazards Regression for Survival Data [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion-1E/appendix-cox-regression.pdf>
5. Cox proportional-hazards regression [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.medcalc.org/manual/cox_proportional_hazards.php
6. Gupta, R. K. (2019) *Numeric methods: Fundamentals and applications*. Cambridge University Press
7. Fabsic, P., Evgeny, V., Zemmer, K. (2011) *Cox proportional hazards model and its characteristics*. ETH
8. Fox, J. (2005) *Maximum-likelihood estimation of the logistic regression model*. UCLA/CCPR Notes.
9. Therneau, T. M., Grambsch, P. M. (2000) *Modeling Survival Data: Extending the Cox Model*. New York: Springer.

References

1. Kanigel, R. (1997). *The One Best Way: Frederick Winslow Taylor and the Enigma of Efficiency*. New York: Viking.
2. Juran, J.M. ed. (1995). *A history of managing for quality: The evolution, trends, and future directions of managing for quality*. ASQ Press.
3. Duncan, A. J. (1986). *Quality Control and Industrial Statistics*, 5th ed., Irwin, Homewood, IL.
4. *Cox Proportional-Hazards Regression for Survival Data*. [online] Available at: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion-1E/appendix-cox-regression.pdf>
5. *Cox proportional-hazards regression*. [online] Available at: https://www.medcalc.org/manual/cox_proportional_hazards.php
6. Gupta, R. K. (2019). *Numeric methods: Fundamentals and applications*. Cambridge University Press.
7. Fabsic, P., Evgeny, V. and Zemmer, K. (2011). *Cox proportional hazards model and its characteristics*. ETH
8. Fox, J. (2005). *Maximum-likelihood estimation of the logistic regression model*. UCLA/CCPR Notes.
9. Therneau, T. M. and Grambsch, P. M. (2000). *Modeling Survival Data: Extending the Cox Model*. New York: Springer.

Romanovsky I., Ph.D., Associate Professor, The National Metallurgical Academy of Ukraine

Assessment of economic risks in the process of managing the quality of the company's products

The redirection of Ukrainian enterprises to the markets of economically developed countries has led to the introduction of modern approaches to product quality management. An important component of this process is the methods of economic risks designed to evaluate and reduce them. The approach to creation of mathematical model for definition and estimation of economic risks in the process of management of quality of production of the industrial enterprise has been set forth. Cox regression (proportional risk model) was chosen to solve the issue based on the analysis of existing approaches to the assessment of economic risks, considering the different duration of the observation processes of the objects of study and the different completeness of the databases. The event defined being a failure (destruction or damage) of a sample of the product during operation at the consumer in the regulatory mode of use during the warranty period. The application of Cox's regression is based on a consideration of the time that passed before the event's occurrence. Based on the analysis of recommendations for the practical use of Cox's regression, it was concluded that this approach can be applied to assessment of economic risks.

The probability of an adverse event (instantaneous risk) is presented as a function of time and covariate, which responds to the characteristics of the production process. The formulation of the hypothesis applying proportional risks' approach contributed to a significant simplification of the structure of the probability function in terms of its practical application in the terms of production enterprise. The equation of the Cox probability function is determined using standardized residues. The model was tested considering the primary database of an industrial enterprise that manufactures products for modern transport equipment. The influence of certain factors upon the probability of adverse events (destruction of products during the warranty period) is evaluated. Cox regression coefficients were determined using Excel 365 Microsoft office licensing software and statistical add-ins. The asymptotic significance value obtained testifies to reliability of the model. To estimate the parameters of the probability distribution, the maximum likelihood method was applied, correctness of the obtained solution has been confirmed. Assessment of the significance of the parameters allowed to formulate directions for reducing economic risks and to quantify them. The sensitivity of parameters under investigation was assessed. The conclusion was reached as to availability and feasibility of the results of the research in the form of a mathematical model. The directions of further research are set forth.

Key words: risk, probability, enterprise, quality, analysis, model, factor, regression, event.

Романовский И.Г., к.т.н., доцент, Национальная металлургическая академия Украины

Оценка экономических рисков в процессе управления качеством продукции предприятия

При анализе подходов организации системы менеджмента качества промышленного предприятия определено, что существенные трудности вызывает определение экономических рисков, связанных с выходом из строя его продукции у потребителей в течение эксплуатационного срока эксплуатации. С целью предупреждения и сокращения таких рисков предложена математическая модель с использованием регрессии Кокса с учетом пропорциональности рисков. Привлечение для оценки экономических рисков времени, прошедшего до наступления неблагоприятного события, облегчает учет специфики исследуемого объекта за счет обработки всего массива первичных данных, часть из которых может быть неполной. Интерпретация отдельных коэффициентов регрессии с учетом специфики соответствующих факторов расширяет спектр возможного использования модели для практических расчетов.

Ключевые слова: риск, вероятность, предприятие, качество, анализ, модель, фактор, регрессия, событие.

Рекомендована до публікації 16.11.2020 р.

Надійшла до редакції 09.10.2020 р.