

НЕЧІТКА ПРОДУКЦІЙНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ВИЗНАЧАЛЬНОГО ПАРАМЕТРА МЕТОДУ ВИПАДКОВО-СПРЯМОВАНОГО ПОШУКУ ЗБАЛАНСОВАНОГО СТАНУ РОТОРА

Пропонована робота присвячена розробленому методу випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора зі змінним дисбалансом; досліджено основні умови, чинники і етапи проектування системи оцінки визначального параметра збалансованого стану ротора на основі алгоритмів нечіткого виводу та баз знань нечітких продукцій. Експериментальна перевірка адекватності нечіткої моделі проводились на пральній машині "Айша", що має типову конструкцію, притаманну більшості сучасних пральних машин з вертикальним завантаженням білизни.

Ключові слова: ротор, змінний дисбаланс ротора, метод випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора, нечітка продукційна модель.

DRACH I.,
ROYZMAN V.

Khmelnytskyi National University

FUZZY DECISION-MAKING SYSTEM FOR THE ESTIMATING THE DEFINITIVE PARAMETER FOR METHOD OF ACCIDENTALLY DIRECTED SEARCH OF BALANCED ROTOR STATE

The essence of the accidentally directed search method is when the machine with a variable imbalance is released to the operating mode (for example, a spin in washing machines), vibrations are measured, and when their permissible level is exceeded, the machine is switched off and transferred to a rinse mode, in which the redistribution of linen is carried out, after which the exit procedure is repeated and so until the case of a 'good distribution' of the mass (location of laundry) occurs and vibration will be within the limits set by the technical conditions. In this case, the machine is 'allowed' to perform a technological operation (spin-off). At each cycle of the set of speed, the machine goes out with a probability p . The number of cycles of the set of velocities, which must be performed without going out, is subject to the geometric distribution law with the parameter p . The parameter p is by its nature an indefinite quantity, which is influenced both quantitatively and qualitatively indicators: the type of washing machine, the accidental location of linen in the drum, the actual amount of laundry in the drum, etc. To assess this parameter, it is necessary to conduct a large number of experiments, which is associated with significant labor costs, time and resources. In addition, testing the obtained estimates is possible only for a limited number of types of rotary systems with their own specific properties. As a result, the methods of mathematical modeling of estimating the equilibrium of the rotor are of crucial importance. When modeling real-world decision-making tasks in this form, we have an unclear description of factors in the form of linguistic variables. In this work the features of the accidentally directed search of a balanced state of a rotor with a variable imbalance for the selection of the main factors in the design of a system for evaluating the parameter of a balanced state of a rotor based on unclear output algorithms and knowledge bases of unclear products are investigated; the logical-linguistic model of the estimation of the parameter of the balanced state of the rotor is constructed; The testing of the possibilities of using the developed model has been developed. The unclear toolbox is used for the task of balancing the rotor system of the washing machine, which makes it possible to develop practical recommendations for the application of the accidentally directed search method of a balanced rotor state with a variable imbalance.

Keywords: rotor, variable rotor imbalance, method of accidentally directed search of balanced rotor state, fuzzy decision-making system.

Вступ. Положення білизни в барабані пральної машини під час виходу на віджимання має випадковий характер, тому можливі випадки більш "хорошого", рівномірного розподілу білизни, що забезпечує допустимий рівень вібрацій, і більш "поганого", нерівномірного, збитого у великий дисбаланс, що викликає підвищені вібрації та галопування машини.

Суть методу випадково-спрямованого пошуку полягає в тому, що при виході машини із змінним дисбалансом на робочий режим (віджимання в пральних машинах) вимірюються вібрації і при перевищенні ними допустимого рівня машина відключається і переводиться в режим полоскання, в якому відбувається перерозподіл білизни, після чого процедура виходу повторюється і так доти, поки не настане випадок «хорошого розподілу» мас (розкладки білизни) і вібрації будуть в межах норми, заданої технічними умовами. В цьому випадку машині "дозволяється" виконувати технологічну операцію (віджимання) [1, 2].

При кожному циклі набору швидкості машина виходить на віджимання з імовірністю p . Число циклів набору швидкості, яке необхідно здійснити без виходу на віджимання, підпорядковується геометричному закону розподілу з параметром p . Параметр p по своїй суті є невизначеною величиною, на

яку мають вплив як кількісні так і якісні показники: тип пральної машини, випадкове розкладання білизни в барабані (рівномірне, нерівномірне), фактична кількість білизни в барабані (недостатня, нормальна, перевантаження) та ін.

Для оцінки цього параметра необхідно провести велику кількість експериментів, що пов'язано із значними затратами праці, часу і засобів. Крім того протестувати одержані оцінки можливо лише для обмеженої кількості типів роторних установок із власними специфічними властивостями. Внаслідок цього вирішального значення набувають методи математичного моделювання.

У статті пропонуються побудова і аналіз нечіткої продукційної моделі оцінки параметра методу випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора зі змінним дисбалансом.

Побудова нечіткої продукційної моделі оцінки параметра методу випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора зі змінним дисбалансом

Розглянемо етапи побудови системи нечіткого виводу (СНВ) [3].

Крок 1. Визначимо вхідні й вихідні змінні. Змістовна інтерпретація нечіткої моделі припускає вибір і специфікацію вхідних і вихідних змінних відповідної системи нечіткого виводу. По суті, чинники, що мають вплив на параметр p , є нечіткими, тому задамо їх як лінгвістично представлені нечіткі змінні:

1. Тип пральної машини – L1;
2. Клас віджимання – L2;
3. Розкладання білизни в барабані – L3;
4. Фактична кількість білизни в барабані – L4;
5. Клас енергоспоживання – L5.

Величина входу L1 – тип пральної машини, у свою чергу, є виходом блоку, що виражається кількісними і якісними показниками (модель 1):

Тип пральної машини – L1:

- а) тип завантаження барабана для білизни (фронтальний або вертикальний) – A1;
- б) тип двигуна (колекторний або інверторний) – A2;
- в) тип привода барабана (прямий або ремінний) – A3;
- г) габарити (повногабаритна, вузька або компактна) – A4;
- д) максимальна вага білизни, яку дозволяє завантажити барабан (повногабаритна (від 5 кг до 12 кг), вузька (від 4 кг до 7 кг) або компактна (не більш 3,5 кг білизни) – A5;
- е) наявність доступних функцій і програм прання – A6;
- ж) максимальне енергоспоживання – A7.

Інтервальні і числові значення терм-множин лінгвістичних змінних L1, A1, A2, A3, A4, A5, A6 і A7 задані, відповідно, у таблиці 1.

Таблиця 1

Значення терм-множин лінгвістичних змінних L1, A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7

Лінгвістичні змінні		Тип дуже низького класу	Тип низького класу	Тип середнього класу	Тип високого класу	Тип дуже високого класу
Тип пральної машини	L1	[0, 0,2]	[0,2, 0,4]	[0,4, 0,6]	[0,6, 0,8]	[0,8, 1]
Тип завантаження барабана для білизни: фронтальний (1) або вертикальний (0)	A1	0	0	0,5	1	1
Тип двигуна: колекторний (0) або інверторний (1)	A2	0	0	0,5	1	1
Тип привода барабана: прямий (1) або ремінний (0)	A3	0	0	0,5	1	1
Габарити: повногабаритна (1), вузька (0,5), компактна (0)	A4	0, 0,5, 1	0, 0,5, 1	0, 0,5, 1	0, 0,5, 1	0, 0,5, 1
Максимальна вага білизни, яку дозволяє завантажити барабан: повногабаритна (від 5 кг до 12 кг) (1), вузька (від 4 кг до 7 кг) (0,5), компактна (не більш 3,5 кг білизни) (0)	A5	0, 0,5, 1	0, 0,5, 1	0, 0,5, 1	0, 0,5, 1	0, 0,5, 1
Наявність доступних функцій і програм прання	A6	0	0	0,5	1	1
Максимальне енергоспоживання	A7	G, F	E, D	C, B	A, A+	A+, A++

Для лінгвістично заданих показників визначимо множини-носії і терм- множини (модель 2).

1. Тип пральної машини – L1 з множиною-носієм [0,1]: «тип дуже низького класу», «тип низького класу», «тип середнього класу», «тип високого класу», «тип дуже високого класу».

2. Клас віджимання – L2 з множиною-носієм [500, 1800] (об/хв): «А» – максимальна швидкість обертання барабана в режимі «віджимання» становить 1600 об/хв; «В» – максимальна швидкість обертання барабана в режимі «віджимання» становить 1200 – 1400 об/хв; «С» – максимальна швидкість обертання барабана в режимі «віджимання» становить 1000 об/хв; «D» – максимальна швидкість обертання барабана в режимі «віджимання» становить 800 об/хв; «Е» – максимальна швидкість обертання барабана в режимі «віджимання» становить 600 про/хв.

3. Розкладання білизни в барабані – L3 з множиною-носієм [0,1]: «нерівномірне», «середнє», «рівномірне».

4. Фактична кількість білизни в барабані – L4 з множиною-носієм [0,1]: «недовантаження», «норма», «перевантаження».

5. Клас енергоспоживання – L5 з множиною-носієм [0,15, 1] (кВт/год): «А++» споживає лише 0,15 кВт/год для прання 1 кг білизни; «А+» споживає 0,17 кВт/год для прання 1 кг білизни; «А» споживає від 0,17 кВт/год до 0,19 кВт/год для прання 1 кг білизни; «В» споживає 0,19 кВт/год для прання 1 кг білизни; «С» споживає від 0,23 кВт/год до 0,27 кВт/год для прання 1 кг білизни; «D» споживає від 0,27 кВт/год до 0,31 кВт/год для прання 1 кг білизни; «Е» споживає від 0,31 кВт/год до 0,35 кВт/год для прання 1 кг білизни; «F» споживає від 0,35 кВт/год до 0,39 кВт/год для прання 1 кг білизни; «G» споживає понад 0,99 кВт/год для прання 1 кг білизни.

Крок 2. Фазифікація вхідних змінних.

На цьому кроці задаємо функції приналежності для всіх термів вхідних змінних, а в якості області визначення – їх множини-носії.

Крок 3. Задамо функції приналежності термів вихідних змінних (тип пральної машини (L1) – модель 1, імовірність (P) – модель 2) [4].

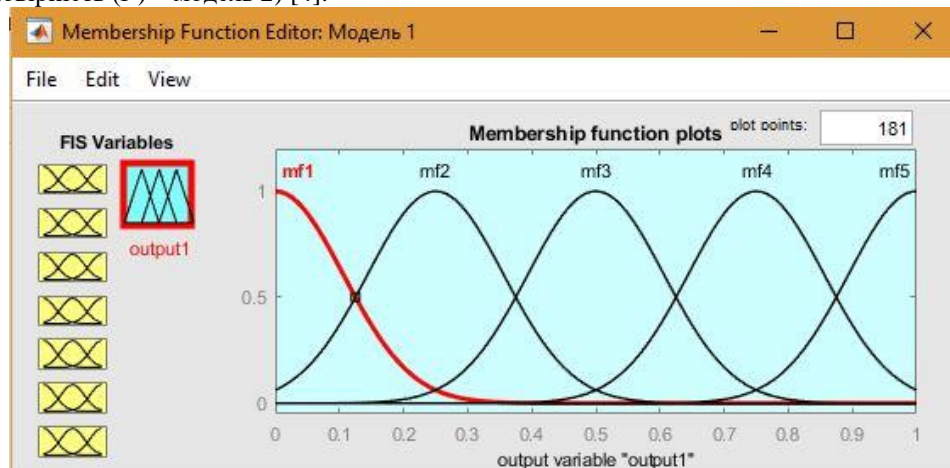


Рис. 1. Тип пральної машини – L1: «тип дуже низького класу» (mf1), «тип низького класу» (mf2), «тип середнього класу» (mf3), «тип високого класу» (mf4), «тип дуже високого класу» (mf5)

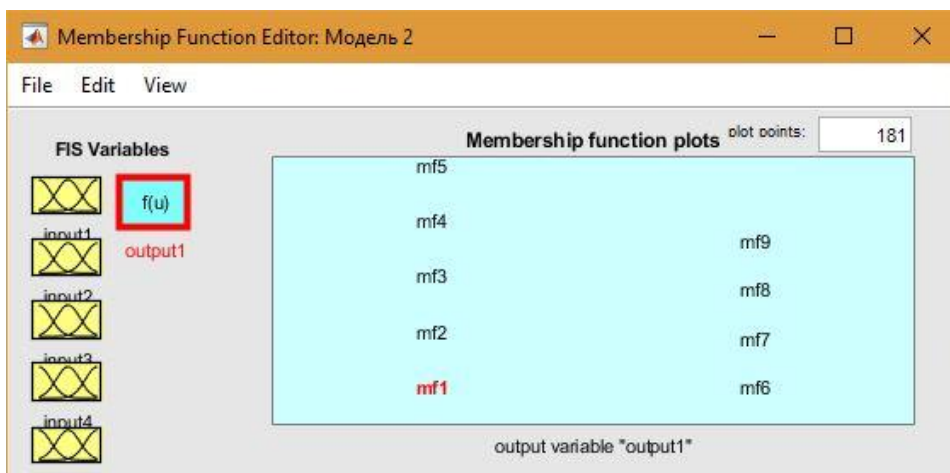


Рис. 2. Імовірність – P: «0,1» (mf1); «0,2» (mf2); «0,3» (mf3); «0,4» (mf4); «0,5» (mf5); «0,6» (mf6); «0,7» (mf7); «0,8» (mf8); «0,9» (mf9)

Крок 4. Уведемо правила в базу правил. Існують чотири способи складання правил нечіткого проектування нечітких регуляторів: 1) на основі досвіду і знань експерта; 2) шляхом складання моделі дій оператора; 3) шляхом навчання і 4) на основі нечіткої моделі устаткування. Спосіб 1) аналогічний способу складання експертної системи: у вербальному вигляді здобуваються досвід кваліфікованого оператора і знання інженера по керуванню, які згодом узагальнюються у вигляді правил нечіткого керування у формі «якщо ... то». У процесі роботи з експертами: з фахівцями по ремонту пральних машин і фахівцями-конструкторами лабораторії автобалансування ХНУ, розроблено правила оцінки типу пральної машини - $L1$ («ЯКЩО $A1_m$ і $A2_n$, і $A3_l$, і $A4_q$, і $A5_r$, і $A6_i$, і $A7_s$, TO $L1_k$ », $k=1..5$) і ймовірності – P («ЯКЩО $L1_m$ і $L2_n$, і $L3_l$, і $L4_q$, і $L5_r$, TO P_k », $k=1..9$).

Крок 5. Використання моделі.

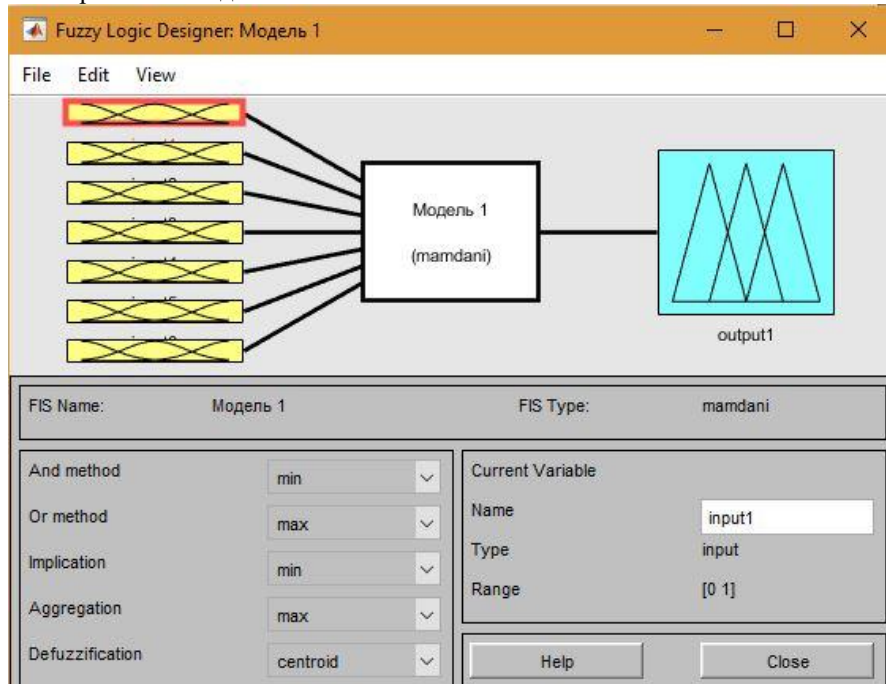


Рис. 3. Графічний інтерфейс редактора FIS після визначення входних і вихідної змінних системи нечіткого виводу mamdani для моделі 1

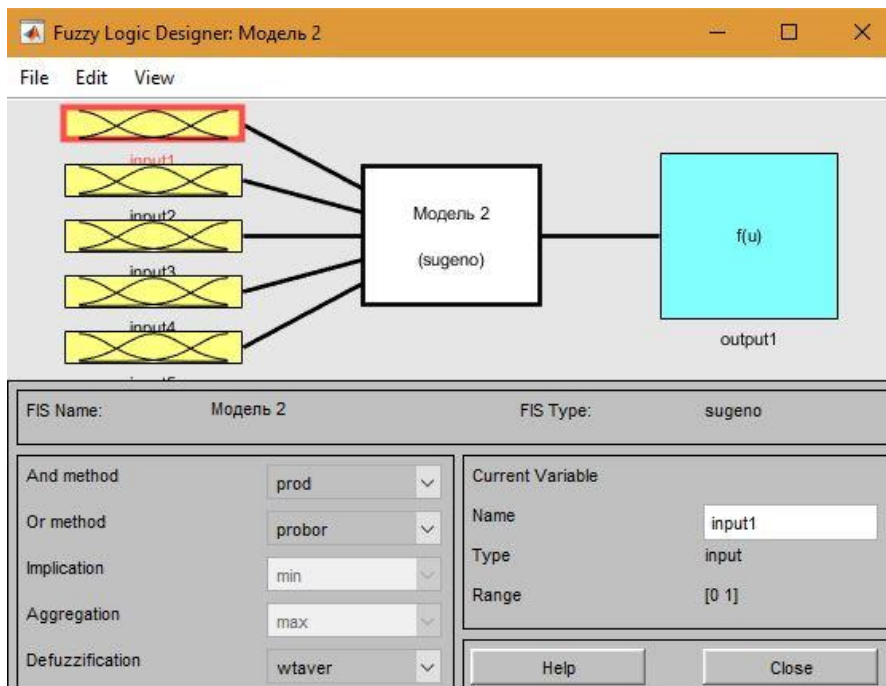


Рис. 4. Графічний інтерфейс редактора FIS після визначення входних і вихідної змінних системи нечіткого виводу sugeno для моделі 2

Розглянемо приклад роботи системи керування при найбільш несприятливих значеннях вхідних змінних. Для цього слід відкрити вікно правил View→ Rules і переглянути можливі значення вихідних змінних L1 і P у залежності від зміни значень вхідних змінних. Основні результати моделювання змінної Параметр методу P подано на рис. 5.



Рис. 5. Графічний інтерфейс програми перегляду правил після виконання процедури нечіткого виводу (модель 2)

Експериментальна перевірка моделі

При експериментальній перевірці методу допускалось виведення машини на режим “віджимання” з віброшвидкістю не більше 30 мм/с, при наявності в її баку найбільш несприятливої маси білизни, суха вага якої складає 1,5 кг. При більших значеннях віброшвидкості, зростання числа обертів припинялось і машина поверталась в режим полоскання. Результати цих експериментів для трьох серійних машин після 30 спроб виходу на режим “віджимання” надано в таблиці 2.

Таблиця 2

Виходи пральної машини “Айша” на режим “віджимання” при дії електромеханічної системи захисту від підвищених вібрацій за результатами 30 спроб

Номер машини	Номера пусків виходу на віджим	Відсоток пусків виходу, %
1	2, 8, 14, 20, 24	16
2	5, 12, 18, 22, 26	16
3	5, 7, 14, 21	13

Отже, за статистичним означенням імовірності $p = 0,15$.

За формулами для геометрично розподіленої величини X (кількості циклів набору швидкості, яке доведеться зробити без виходу на віджимання) з параметром p маємо [5]:

$$m_x = \frac{0,85}{0,15} = 5,7; D_x = \frac{0,85}{0,15^2} = 37,8; \sigma_x = \sqrt{\frac{q}{p^2}} = \frac{\sqrt{q}}{p} = \frac{\sqrt{0,85}}{0,15} \cong 6,15.$$

Випадкова величина Y має “геометричний + 1» розподіл; її математичне сподівання $m_y = 5,7 + 1 = 6,7$; її дисперсія така сама як дисперсії випадкової величини X : $D_y = 37,8$; $\sigma_y \cong 6,15$.

Користуючись правилом трьох сигма, знайдемо максимальне практичне можливе число циклів, за яке машина ще не вийде на віджимання. Знайдемо ймовірність того, що фактичне число «безуспішних» циклів перевершить його математичне очікування більше, чим на 3σ .

$$P = \{X > m_x + 3\sigma\} = P\{X > 5,7 + 6,15\} = 1 - P\{X \leq 11,85\} = \\ = 1 - p \sum_{m=0}^{12} q^m = 1 - \frac{p - pq^{13}}{1 - q} = q^{13} = 0,85^{13} \approx 0,120905.$$

Таким чином, імовірність того, що випадкова величина X перевершить своє математичне сподівання більше, чим на 3σ , досить мала (менше 2 %).

Для користувачів, застосування цієї системи не викличе незручностей, просто робочий цикл може бути довшим на декілька хвилини.

Висновки. Аналіз результатів моделювання (за моделями 1 і 2) дає можливість зробити такі висновки.

1. Задавши значення вхідних змінних, що описують експериментальну установку, отримали значення оцінки параметра $P=0,134$ близьке до оцінки параметра p , одержаної експериментально (у порівнянні із фізичним експериментом $p=0,15$).

2. Нечітка продукційна модель оцінки параметра методу випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора дає можливість всебічно вивчати цей процес надалі без проведення чисельних фізичних експериментів.

3. Застосування нечіткої логіки дозволяє аналізувати якісні характеристики параметра p детальніше, що надалі призводитиме до розробки більш адекватної моделі.

Література

1. Ткачук В.П. Зниження вібрацій машин з горизонтальною віссю обертання і змінним дисбалансом ротора : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.02 / Ткачук Віталій Павлович ; Хмельниц. нац. ун-т. – Хмельницький, 2011. – 20 с.
2. Ткачук В.П. Исследование путей снижения вибраций стиральных машин с горизонтальной осью вращения / В.П. Ткачук // Вісник Хмельницького національного університету. Техн. науки. – 2014. – № 2. – С. 55–58.
3. Дилигенский Н.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология / Н.В. Дилигенский, Л.Г. Дымова, П.В. Севастьянов. – М. : Издательство Машиностроение – 1, 2004. – 397 с.
4. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / Штовба С.Д. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – 2-е изд., стер. – М. : Высшая школа, 2000. – 480 с.

References

1. Tkachuk V.P. Znyzhennia vibratsii mashyn z horyzontalnoiu vissiu obertannia i zminnym dysbalansom rotora : avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.02.02 / Tkachuk Vitalii Pavlovych ; Khmelnyts. nats. un-t. – Khmelnytskyi, 2011. – 20 s.
2. Tkachuk V.P. Issledovanie putej snizheniya vibracij stiral'nyh mashin s gorizonta'noj os'ju vrashheniya / V.P. Tkachuk // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2014. – № 2. – S. 55–58.
3. Diligenskij N.V. Nchetkoe modelirovanie i mnogokriterial'naja optimizacija proizvodstvennyh sistem v uslovijah neopredelennosti: tehnologija, jekonomika, jekologija / N.V. Diligenskij, L.G. Dymova, P.V. Sevast'janov. – M. : Izdatel'stvo Mashinostroenie – 1, 2004. – 397 s.
4. Shtovba S.D. Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami MATLAB / Shtovba S.D. – M. : Gorjachaja linija – Telekom, 2007. – 288 s.
5. Ventcel' E.S. Teorija verojatnostej i ee inzhenernye prilozhenija / E.S. Ventcel', L.A. Ovcharov. – 2-e izd., ster. – M. : Vysshaja shkola, 2000. – 480 s.

Рецензія/Peer review : 07.12.2018 Надрукована/Printed : 11.02.2019
Рецензент: д. т. н., доц. Горошко А. В.