

**МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКА
В МАШИНОСТРОЕНИИ
CONTROL METHODS AND DIAGNOSTICS
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Научная статья

УДК 519.248

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-5-48-54

**ЗАДАЧА ПОДБОРА ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ
СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

Азизян Инара Артушовна

Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета

*для корреспонденции: inara_azizyan@mail.ru



Информация о статье

Поступила:

12 сентября 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

01 октября 2022 г.

Принята к публикации:

11 октября 2022 г.

Ключевые слова:

диагностика, закон
распределения,
профессиональные
компетенции.

Аннотация.

Актуальность работы: формирование профессиональной компетенции выпускников технического вуза по специальности «Технология машиностроения» в ходе реализации учебного процесса на примере дисциплин математического цикла способствует лучшему пониманию закономерностей построения технологических процессов, оптимизации оценки, диагностики, эксплуатации и ремонта изделия.

Изучение в единстве элементов профессиональных и базовых дисциплин, являясь основой практико-ориентированного обучения, способствует повышению качества технического образования.

Цель работы: обосновать значимость интеграции предметных знаний и инструментария профессиональных задач для усиления межпредметных связей в контексте формирования профессиональных компетенций выпускников технического вуза.

Методы исследования: решение поставленных в работе задач в контексте оценки и диагностики надежности технической системы осуществлялось на основе сравнительного и статистического анализа математических моделей, а также посредством графической интерпретации полученных результатов. Рассмотрены практические задачи подбора законов распределения характеристик надежности с помощью доступных программных продуктов и дисциплин математического цикла.

Результаты: подобраны задачи, представляющие в единстве элементы базовых и специальных дисциплин в учебном процессе; разработан алгоритм реализации статистического метода установления закона распределения безотказной работы технической системы средствами двух компьютерных программ.

Для цитирования: Азизян И.А. Задача подбора закона распределения для диагностики состояния технической системы в учебном процессе // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 5 (153). С. 48-54. doi: 10.26730/1999-4125-2022-5-48-54

В техническом вузе необходимо усиливать межпредметные связи. Такие базовые предметы, как математика, теория вероятностей и математическая статистика, физика, информатика, не



только должны служить основой для изучения последующих специальных дисциплин, но и быть практико-ориентированными в ходе изучения. Такой подход в учебном процессе обеспечит благоприятные условия формирования профессиональных компетенций у обучающихся, позволит повысить эффективность и качество образования. Отдельные вопросы базовых предметов изучаются обособленно и на достаточно абстрактном уровне, без привязки к реальным задачам и без взаимодействия со смежными дисциплинами.

Сложные инженерные расчеты на предприятиях проводятся с помощью различных программных продуктов. И студент технического вуза, изучая принципы работы в различных программных средах, должен решать задачи не абстрактного характера, а практико-ориентированные, расчетные задачи количественных характеристик надежности технологических систем, диагностики и оценки состояния, на основе уже приобретенных знаний по теории вероятностей, статистике и т.д. Компетентность обнаруживает себя вне пределов учебной ситуации при решении конкретных практических задач [1], [2]. Практико-ориентированное образование направлено на приобретение опыта практической деятельности. Интеграция предметных знаний и инструментария профессиональных задач по выбранному направлению подготовки способствует формированию среды для становления конкурентоспособного специалиста в будущем.

Одной из ключевых задач обучения в техническом вузе можно рассмотреть формирование умения студента производить техническую диагностику системы: экспериментально определить состояние системы и процесс его изменения в зависимости от времени.

При изучении информатики студенты знакомятся с программными продуктами MS Excel и MathCad и рядом других специализированных программ. Так как данные продукты являются более доступными в университетской среде и в домашних условиях, то в качестве примера рассмотрим их для реализации одной учебной задачи в контексте диагностики надежности системы методом статистического моделирования [3], [4], [5]. Задачи, направленные на оценку и диагностику технической системы, как правило, рассматриваются на старших курсах в рамках специальных дисциплин, которые не всегда включаются в рабочие программы, или выделяется недостаточное количество часов на отработку с использованием программных продуктов. Изучение в единстве элементов профессиональных и базовых дисциплин позволит повысить качество технического образования.

Таблица 1. Исходные данные

Table 1. Initial data

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	17,68	29,19	17,75	34,38	6,29	4,98	5,7	3,44	21,96	17,51	
2	36,68	9,52	16,03	9,53	27,22	15,66	19,1	13,64	25,46	5,91	
3	2,87	6,58	4,86	8,98	8,53	24,33	19,38	39,52	41,72	27,54	
4	28,55	14,08	4,53	16,62	27,99	30,43	7,87	18,6	9,58	2,58	
5	4,86	28,76	2,61	26,79	43,88	17,28	19,7	20,41	15,08	20,05	
6	12,84	17,23	84,86	15,76	56,95	5,46	16,34	25,38	35,96	9,76	
7	33,74	16,93	8,92	58,53	4,52	20,64	9,94	27,92	12,78	35,14	
8	13,24	14,71	4,64	5,9	28,99	43,44	53,56	23,23	24,53	15,2	
9	42,1	17,22	29,16	15,64	4,38	17,55	13,45	6,95	17,31	20,73	
10	11,04	20,31	23,33	10,48	12,85	17,93	26,95	15,2	11,86	23,21	

Таблица 2. Расчет выборочных характеристик

Table 2. Calculation of sample characteristics

Выборочные характеристики	Функции в Excel	Числовые значения
Выборочное среднее	G12 =СРЗНАЧ(A1:J10)	19,77
Выборочная дисперсия	G13 =ДИСП(A1:J10)	190,04
Выборочное среднеквадратическое отклонение	G14 =СТАНДОТКЛОН(A1:J10)	13,79
Наименьшее значение	G15 =МИН(A1:J10)	2,58
Наибольшее значение	G16 =МАКС(A1:J10)	84,86
Размах выборки	G17 =G16-G15	82,28
Асимметрия	G17 =G16-G15	1,695
Экссесс	G19 =ЭКСС(A1:J10)	4,679

Таблица 3. Подбор распределения на основе критерия χ^2

Table 3. Selection of distribution based on the criterion

Вид распределения	χ^2 (вычисл.)
Равномерное распределение	19,64
Нормальное распределение	14,13
Гамма-распределение	1,77
Критические значения критерия	5,99

Главным инструментом изучения дисциплин математического цикла и естественно-научного направления являются задачи, которые можно интерпретировать как проблемы, которые необходимо исследовать и разрешить [6], [7], [8].

Важным компонентом в диагностике технической системы является закон распределения времени безотказной работы.

Рассмотрим задачу определения закона времени безотказной работы технической системы средствами MS Excel и MathCad.

Представим основные шаги реализации статистического метода.

Для расчета указанных характеристик в Excel необходимо воспользоваться соответствующими функциями и в качестве ее аргумента указать блок ячеек со статистическими данными.

Для наглядного представления статистических данных строятся полигоны частот и кумуляты частот. На основе статистических данных можно подобрать закон распределения: равномерное, нормальное, гамма-распределение и т.д. [9], [10]. Для этого необходимо задать основные параметры распределений. Далее, пользуясь возможностью программы, можно построить гистограмму частот, совмещенную с плотностью каждого из указанных ранее распределений. Такое представление ближе и понятнее для студентов цифрового поколения [11]. По внешнему виду этих графиков вполне можно судить о соответствии кривой распределения

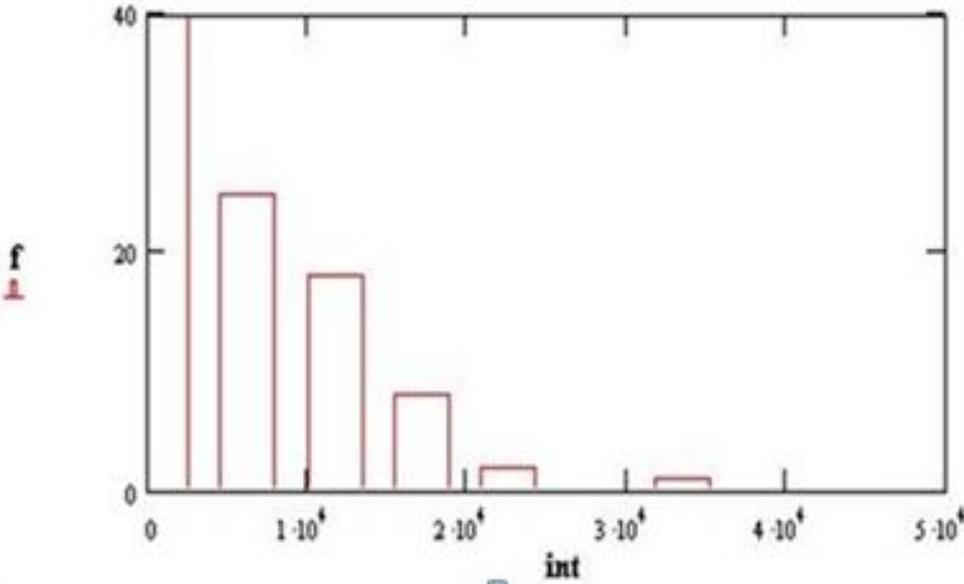


Рис. 2. Гистограмма по исходным данным
 Fig. 2. Histogram based on the initial data

Таблица 4. Подбор закона распределения
 Table 4. Selection of the distribution law

экспоненциальный закон	нормальный закон	закон Вейбулла
<ul style="list-style-type: none"> $x = 6.176 * 10^3$ $\lambda = 8.505 * 10^{-4}$ $P_j := \text{pexp}(t_j; \lambda)$ $X := \text{qchisq}(p1; r)$ $p1 := 0.95$ – доверительная вероятность $r := 7$ – число степеней свободы $X = 14,067$ – Хи-квадрат-распределение. Вычисленное значение критерия $X = 12,583$. Вывод: гипотеза экспоненциального закона распределения наработок до отказа может быть принята с доверительной вероятностью 0,95. 	<ul style="list-style-type: none"> $\mu := x - 4000$ $\sigma := s - 1000$ $P_j := \text{pnorm}(t_j, \mu, \sigma)$ $X := \text{qchisq}(p2; r)$ $p2 := 0.97$ – доверительная вероятность $r := 6$ – число степеней свободы $X = 13,968$ – Хи-квадрат-распределение Вычисленное значение критерия $X = 13,482$ Вывод: гипотеза распределения отказов в анализируемой выборке наработок до отказа по нормальному закону может быть принята с уровнем доверия 0,97. 	<ul style="list-style-type: none"> $x = 6.176 * 10^3$ $s = 6.45 * 10^3$ $v := \frac{s}{x}$ – коэффициент вариации $v = 1,045$ $X := \text{qchisq}(p3; r)$ $p3 := 0.95$ – доверительная вероятность $r := 6$ – число степеней свободы $X = 12.592$ Вычисленное значение критерия $X = 13,482$ Вывод: распределение отказов в анализируемой выборке наработок до отказа не соответствует закону Вейбулла (с уровнем доверия 0,95).

данной гистограмме, т. е. о том, какая кривая ближе к полученной гистограмме. Соответствие закона распределения экспериментальным данным можно проверить, используя критерий χ^2 , чтобы ошибка не превышала заданного уровня значимости α .

По полученным данным можно сделать вывод, что статистические данные имеют гамма-распределение, так как вычисленное значение не превосходит критерияльного [12],[13].

Таким образом, на основе знаний по теории вероятностей, математической статистике и информатике студент сможет подобрать закон распределения времени безотказной работы и диагностировать состояние технической системы.

Средствами MathCad также можно определить закон распределения безотказной работы систем по статистическим данным.

Вначале необходимо ввести исходную информацию: в виде матрицы указать выборку чисел, которые представляют наработку объектов и количество отказов при этих наработках.

$$A := \begin{pmatrix} 783 & 6230 & 11680 & 17120 & 22570 & 28020 & 33470 & 38910 & 44360 \\ 46 & 25 & 18 & 18 & 8 & 2 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Далее необходимо вычислить основные параметры, например, среднюю наработку на отказ и среднеквадратическое отклонение ($x=6,176 \cdot 10^3$, $s=6.454 \cdot 10^3$). С помощью встроенных функций можно найти промежуточные данные: $d := 783$ – величина $d = t_i$ соответствует наработке в классе с наибольшим количеством отказов, $b := t_2 - t_1$ – параметр b равен ширине интервала между соседними классами наработок).

Для наглядного представления, пользуясь встроенными функциями, можно построить гистограмму по исходным данным.

С помощью критериев согласия необходимо проверить гипотезы о соответствии распределения: 1) экспоненциальному закону; 2) нормальному закону; 3) закону Вейбулла [14], [15]. Представим лишь некоторые фрагменты использования специальных функций программного продукта.

Таким образом, по статистическим данным средствами программного продукта MathCad можно прийти к выводу, что распределение наработок до отказа может быть представлено экспоненциальным законом или усеченно-нормальным законом с соответствующими параметрами при доверительной вероятности 0,95.

Студент учится проверять согласие эмпирического закона распределения случайной величины и выдвинутой гипотезы профессиональной задачи, по внешнему виду гистограммы обоснованно строить гипотезу о законе распределения случайной величины. Установление закона распределения времени позволяет провести диагностику состояния технической системы, оценить среднюю наработку до первого отказа, а также установить возможные причины отказов: нарушение уровня функционирования из-за постепенного изменения параметров объекта; наработка до предельного состояния невосстанавливаемых элементов; отказ элементов из-за механического разрушения деталей и т.д.

Внедрение практико-ориентированного подхода с начального этапа обучения в техническом вузе способствует формированию профессиональных компетенций, которые будут способствовать достижению успеха в работе выпускника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азизян И. А., Миронова Е. И. Формирование профессиональных качеств будущих инженеров в области теории надежности в ходе изучения распределения вероятностей // Высшее образование сегодня 2019. №8. С. 33-38.
2. Азизян И. А. Исследование функции риска как необходимый инструмент диагностики и контроля функционирования систем в области машиностроения // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 1(149). С. 35-43.
3. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. Практикум. СПб. : БХВ-Петербург, 2006. 560 с.
4. Половко А. М. Derive 5 для студента. СПб. : БХВ-Петербург, 2005. 352 с.
5. Курицкий В. Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel. СПб. : БХВ-Петербург, 2018. 384 с.
6. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. М. : Наука, 1965. 524 с.
7. Беляев Ю. К. Богатырев В. А., Болотин В. В. Надежность технических систем. М. : Радио и связь, 1985. 608 с.
8. Алон Н., Спенсер Д. Вероятностный метод: учеб. пособие. М. : Бином, 2011. 320 с.
9. Ушаков И. А. Курс теории надежности систем. М. : Дрофа, 2008. 239 с.
10. Острейковский В. А. Теория надежности. М. : Высш.шк., 2003. 463 с.
11. Потапова Н. В., Панина Т. С. Педагогическая наука о проблеме развития надпрофессиональных навыков студентов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 2. С.93-98.
12. Азизян И. А., Асаева Т. А. Руководство к выполнению лабораторных работ на ПК по математическим основам теории надежности. Рязань. : Рязанский институт (ф) МГОУ, 2012. 64 с.
13. Зайковский В. Э., Карев А. В. Автоматизация процесса управления рисками – важный шаг к цифровизации принятия управленческих решений // Проблемы анализа риска. 2021. Т. 18. № 2. С. 52-59.
14. Письменный Д. Т. Конспект лекций по теории вероятностей, математической статистике и случайным процессам. М. : Айрис-Пресс, 2007. 288 с.
15. Хрипунова, М. Б. Высшая математика: учебник и практикум для вузов. М. : Издательство Юрайт, 2020. 478 с.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Азизян Инара Артушовна, кандидат педагогических наук, доцент, Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета (г. Рязань, ул. Право-Лыбедская, 390000, д. 26/53), inara_azizyan@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Азизян Инара Артушовна – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

THE TASK OF CHOOSING A DISTRIBUTION LAW FOR DIAGNOSING THE STATE OF A TECHNICAL SYSTEM IN THE LEARNING PROCESS

Inara A. Azizyan

Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University

*for correspondence: inara_azizyan@mail.ru



Article info

Submitted:

12 September 2022

Approved after reviewing:

01 October 2022

Accepted for publication:

11 October 2022

Keywords: diagnostics, distribution law, professional competencies.

Abstract.

The relevance of the work: the formation of professional competence of graduates of a technical university in the specialty "Engineering Technology" during the implementation of the educational process, using the example of mathematical cycle disciplines, contributes to a better understanding of the laws of the construction of technological processes, optimization of evaluation, diagnostics, operation and repair of the product.

Studying the elements of professional and basic disciplines in unity, which is the basis of practice-oriented training, contributes to improving the quality of technical education.

The purpose of the work: to substantiate the importance of integrating subject knowledge and tools of professional tasks to strengthen interdisciplinary connections in the context of the formation of professional competencies of graduates of a technical university.

Research methods: the solution of the tasks set in the work, in the context of assessing and diagnosing the reliability of the technical system, was carried out on the basis of comparative and statistical analysis of mathematical models, as well as through graphical interpretation of the results obtained. Practical problems of selection of laws of distribution of reliability characteristics with the help of advanced software products and disciplines of the mathematical cycle are considered.

Results: the tasks representing the elements of basic and special disciplines in the educational process in unity are selected; an algorithm for the implementation of the statistical method for establishing the law of the distribution of the failure-free operation of the technical system by means of two computer programs is developed.

For citation: Azizyan I.A. The task of choosing a distribution law for diagnosing the state of a technical system in the learning process. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 5(153):48-54. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-5-48-54

REFERENCES

1. Azizyan I.A., Mironova E.I. Formation of professional qualities of future engineers in the field of reliability theory during the study of probability distribution. *Higher education today*. 2019; 8:33-38.
2. Azizyan I.A. The study of the risk function as a necessary tool for diagnosis and control of the functioning of systems in the field of mechanical engineering. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2022; 1(149):35-43.
3. Polovko A.M., Gurov S.V. Fundamentals of reliability theory. The workshop. – St. Petersburg: BHV-Petersburg; 2006.
4. Polovko A.M. Derive 5 for a student. St. Petersburg: BHV-Petersburg; 2005.
5. Kuritsky V.Ya. Search for optimal solutions by means of Excel. St. Petersburg: BHV-Petersburg; 2018.
6. Gnedenko B.V., Belyaev Yu.K., Soloviev A.D. Mathematical methods in the theory of reliability. M.: Nauka; 1965.
7. Belyaev Yu.K. Bogatyrev V.A., Bolotin V.V. Reliability of technical systems. M.: Radio and Communications; 1985.
8. Alon N. Spencer D. Probabilistic method: textbook. manual. M.: Binom; 2011.
9. Ushakov I.A. Course of the theory of reliability of systems. M.: Bustard; 2008.
10. Ostreikovskiy V.A. Theory of reliability. M.: Higher School; 2003.
11. Potapova N.V., Panina T.S. Pedagogical science on the problem of the development of overprofessional skills of students. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2021; 2:93-98.
12. Azizyan I.A., Asayeva T.A. Guidelines for performing laboratory work on a PC on the mathematical foundations of reliability theory. Ryazan.: Ryazan Institute (f) MSOU; 2012.
13. Zaikovskiy V.E., Karev A.V. Automation of the risk management process is an important step towards digitalization of managerial decision-making. *Problems of risk analysis*. 2021; 18(2):52-59.
14. Pismenny D.T. Lecture notes on probability theory, mathematical statistics and random processes. Moscow: Iris Press; 2007.
15. Khripunova M.B. Higher Mathematics: textbook and workshop for universities. M.: Yurayt Publishing House; 2020.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Inara A. Azizyan, C. Sc. in Pedagogy, Associate Professor, Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University (Ryazan, Pravo-Lybedskaya str., 390000, 26/53), inara_azizyan@mail.ru

Contribution of the authors:

Inara A. Azizyan - research problem statement; conceptualisation of research; drawing the conclusions; writing the text, research problem statement; scientific management; data collection; data analysis, reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; data analysis; drawing the conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.

