

$$H_{ITW} = \frac{m(v_{max}^2 - v_{min}^2)}{\pi R_i h_p (h_{max} + h_p)}, \quad (4)$$

где m – масса индентора; v_{max} и v_{min} – предударная скорость и скорость отскока индентора.

Сравнение этих двух подходов к расчету основных физико-механических характеристик позволит выявить наиболее точную и информативную методику определения твердости и модуля упругости материалов полимерных изделий и оценить чувствительность метода динамического индентирования к изменению свойств аддитивного полимера в зависимости от толщины его отверждаемого слоя.

Для проведения исследования влияния толщины отверждаемого слоя при SLA-технологии аддитивного производства на физико-механические характеристики полимерных изделий были изготовлены образцы – лопатки типа A1 [4] из фотополимерной смолы Formlabs Black V4. Печать образцов осуществлялась на 3D-принтере Form2 (Formlabs Inc., США) при температуре смолы 31 °С, мощности лазера 250 кВт с пятном 140 мкм. Доотверждение материала образцов проводилось в сушильной камере Form Cure (Formlabs Inc., США) под действием УФ-излучения мощностью 39 Вт и температуры 60 °С. Для исследования было изготовлено 3 вида образцов с различной высотой отверждаемого слоя при печати: 100, 50 и 25 мкм (по 5 образцов каждого вида). Все образцы были предварительно испытаны на растяжение [4]. В результате разрушающих испытаний было установлено, что оптимальная высота отверждаемого слоя при указанных геометрических параметрах выращиваемого изделия составляет 50 мкм. При заданных параметрах SLA-печати модуль упругости увеличивается в среднем на 10 %, а предел прочности примерно на 9 %.

Индентирование образцов осуществлялось с предударной скоростью 3,0 м/с твердосплавным индентором массой 6,8 г с радиусом сферическо-

го наконечника 2,5 мм. Анализ данных ударного нагружения показал, что метод динамического индентирования на качественном уровне подтверждает результаты стандартных испытаний на растяжение. При этом наибольшее изменение динамической твердости и динамического модуля упругости наблюдается между образцами с высотой отверждаемого слоя в 100 и 50 мкм. При уменьшении высоты отверждаемого слоя фотополимерной смолы твердость H_{IT} увеличивается в среднем на 6%, а модуль упругости E_{IT}^* – на 5 %. На ряду с этим наибольшую чувствительность к изменению свойств исследуемых полимерных изделий метод динамического индентирования показал при использовании энергетического подхода анализа регистрируемых данных нагружения материала.

В данном случае изменение динамической твердости H_{ITW} составило порядка 10 %, а модуль упругости E_{ITW}^* – 11 %.

Благодарность. Работа выполнена в рамках Национальной программы стипендий для молодых ученых при финансовой поддержке Всемирной федерации ученых (World Federation of Scientists National Scholarship Programme).

Литература

1. Mechanical characterization of 3D-printed polymers / John Ryan C. Dizon [et al.] // Additive Manufacturing. – 2017. – Vol. 20. – P. 44–67.
2. Complex of devices for determining the physical and mechanical properties of the carbon materials used in the rocket and space technology by the impact indentation method / A. P. Kren [et al.] // Mechanics of Composite Materials. – 2015. – Vol. 51, № 2. – P. 323–328.
3. Контроль неразрушающий. Определение физико-механических характеристик конструкционных материалов методами индентирования : СТБ 2495-2017. – Введ. 01.09.2017. – Минск : Госстандарт, 2017. – 40 с.
4. Пластмассы. Метод испытания на растяжение : ГОСТ 11262 (ISO 527-2:2012). – Введ. 01.09.2019. – М. : Стандартинформ, 2019. – 24 с.

УДК 53.089

О НОВОЙ ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЙ (ТЕОРИЯ РЕЙТИНГОВ)

Романчук В.М.¹, Лаппо П.М.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный университет

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Анализ литературы показывает, что актуальной является проблема количественного измерения качества продукции. Проблема измерения возникает и в теории принятия решений. Предлагается использовать метод рейтинга для измерения предпочтений в теории полезности и в теории принятия решений. Излагается аксиоматический подход к проблеме измерения. Сформулировано аксиоматическое и классическое определение рейтинга. Из аксиоматического определения следует классическое определение для специального множестве объектов. Классическое определение является конструктивным. Для проверки адекватности результатов измерений достаточно сопоставить рейтинги, полученные разными способами измерения (метод альтернатив). Метод рейтинга можно использовать при построении модели оценки качества продукции и в теории принятия решений.

Ключевые слова: теория измерений, рейтинг, функция полезности, квалиметрия.

ABOUT THE NEW MEASUREMENT THEORY (RATING THEORY)

Romanchak V.¹, Lappo P.²

¹Belarusian National Technical University

²Belarusian State University

Minsk, Belarus

Abstract. An analysis of the literature shows that the problem of quantitative measurement of the quality of production is relevant. The problem of measurement also arises in the theory of decision-making. It is proposed to use the rating method to measure preferences in the theory of utility and in the theory of decision-making. An axiomatic approach to the measurement problem is presented. The axiomatic and classical definition of the rating is formulated. From the axiomatic definition follows the classical definition for a special set of objects. The classical definition is constructive. To verify the adequacy of the measurement results, it is sufficient to compare the ratings obtained by different measurement methods (the method of alternatives). The rating method can be used in the construction of a product quality assessment model and in the theory of decision-making.

Key words: measurement theory, rating, utility function, qualimetry.

*Адрес для переписки: Романчук В.М., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: Romanchak@bntu.by*

Задачей количественного измерения является эмпирическое определение количественной структуры [1]. Наиболее просто определить аддитивную количественную структуру [2]. Физические величины: масса, длина, время имеют аддитивную структуру. Аддитивность является естественным условием для проверки адекватности результатов измерений. Но даже не все физические величины аддитивны. Такие как температура или плотность не аддитивны. Полезность, измеряемая субъективно, не является аддитивной. Для измерения таких величин рассматривают репрезентативную теорию измерений.

В основе репрезентативной теории измерений лежит теория множеств (отношения множеств). В репрезентативной теории измерений предполагается существование для каждого свойства, подлежащего измерению, некоторой эмпирической системы с отношениями. Операции между элементами множества отдельно не рассматриваются, а считаются также отношениями.

Такая формулировка операции создала ряд трудностей, связанных с тем, что числовая система с некоторыми отношениям не всегда может быть сведена к полю действительных чисел, для элементов которого определены операции сложения, взятия противоположного знака, умножения и деления [3]. Кроме того, в репрезентативной теории измерений отсутствует встроенный механизм проверки адекватности. Поэтому существуют многочисленные примеры ошибочного применения алгебраических операций при построении математических моделей. Например Парето предполагал, что порядковые шкалы полезности достаточны для формулировки определения экономического равновесия. Тем не менее в теории Парето используют дифференцируемость функции полезности и операции вычитания. В шкале порядка возможны логические операции, но невозможны арифметические действия. Следовательно вычитание

является посторонней операцией в модели Парето. Опираясь на ошибку Парето, Хикс утверждал, что везде, где полезность появляется в экономической теории, она может быть заменена порядковой полезностью [4]. Это ложное утверждение повторяется в современной экономической литературе. Если результатом измерения является отношение порядка и определена шкала порядка, то арифметические действия неуместны [3].

Например, в методе анализа иерархий в результате измерения определены разности значений [5]. Но в методе анализа иерархий вместо операции вычитания необоснованно используют операцию деления, которая является посторонней арифметической операцией.

Если найдены отношения значений, то для значений величины определена шкала логарифмических интервалов. Тем не менее в теории важности критериев в этом случае ошибочно используют недопустимые арифметические операции (шкалу отношений), [6].

Предлагается применять новую математическую модель количественного измерения, в которой определены бинарные операции между элементами множества. Решение проблемы измерения состоит в определении условий, при которых операциям над числами соответствуют операции над эмпирическими величинами. Чтобы избежать ошибок моделирования разработан метод количественного измерения – теория рейтингов [7]. Можно считать, что рейтинг опирается не на теорию множеств, а на общую теорию функций (теорию категорий). В методе рейтинга числа присваиваются не объектам, а упорядоченным парам объектов. Областью определения рейтинга является множество упорядоченных пар объектов. На множестве упорядоченных пар определена композиция (операция сложения). Рейтинг – это отображение, которое сохраняет композицию упорядоченных пар.

Значения рейтинга находят на основании результатов измерения. Для проведения измерения выбирается алгебраическая операция. Теорию рейтинга можно рассматривать как дальнейшее развитие теории измерения Барзилая [3]. Наиболее важными элементами этой теории являются:

1. Классификация моделей измерений по математическим операциям;
2. Принцип отражения;
3. Условие однородности.

Сущность измерения заключается в построении математической системы, которая служит моделью для данной эмпирической системы. Цель этой конструкции – дать возможность применения математических операций для нахождения значений внутри математической системы. Шкалы, которые позволяют применять операции сложения и умножения, вычитания и деления называются сильными. Показано [3], что все модели классической теории измерения порождают *слабые шкалы*, к которым операции сложения и умножения неприменимы. Для действительных чисел можно выполнить операции сложения и умножения, но такие операции являются посторонними, поскольку они не отражают соответствующие эмпирические операции. Посторонние операции нельзя проводить на значениях шкалы – они неуместны и неприменимы; их применение к значениям шкалы является ошибкой моделирования.

Принцип отражения является существенным элементом моделирования, который не был признан в классической теории измерения [3]. Он утверждает, что операции внутри математической системы применимы тогда и только тогда, когда они отражают соответствующие операции внутри эмпирической системы. По принципу отражения необходимым условием применимости операции над значениями шкалы является

существование соответствующей эмпирической операции.

Для выполнения измерений удобно использовать определение рейтинга [7]. В результате сравнения пары объектов необходимо выяснить какой из объектов больше по величине, или на сколько больше, или во сколько раз больше. В первом случае арифметические операции для значений величины не определены. Во втором случае для значений величины определена только разность значений или только отношение значений. Поскольку значения являются действительными числами, то формально можно определить операции сложения и умножения. Но поскольку нет эмпирического обоснования таким операциям, то складывать и умножать значения нельзя.

Литература

1. Michell, J. Quantitative science and the definition of measurement in psychology / J. Michell // *British Journal of Psychology*. – 1997. – № 88. – P. 355–383.
2. Narens, L. Measurement: The theory of numerical assignments / L. Narens, R. D. Luce // *Psychological Bulletin*. – 1986. – № 99. – P. 166–180
3. Barzilai, J. Inapplicable Operations on Ordinal, Cardinal, and Expected Utility / J. Barzilai // *Real-World Economic Review*. – 2013. – № 63. – P. 98–103.
4. Hicks, J. R. Value and Capital. Second Edition / J. R. Hicks. – Oxford University Press, 1946. – 340 p.
5. Саати, Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Л. Саати. – М. : Радио и связь, 1989. – 278 с.
6. Подиновский, В. В. Введение в теорию важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений / В. В. Подиновский. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 64 с.
7. Романчук, В. М. Измерение нефизической величины / В. М. Романчук // *Системный анализ и прикладная информатика*. – 2017. – № 4. – С. 39–44.

УДК 615.8-7

КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОСАНКИ В ПОЛОЖЕНИИ СИДЯ

Самохвал П.М., Василевская А.А., Нехаева М.А., Сапранкова А.А.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Здоровье и благополучие сотрудников – актуальная тема для работодателя в нашем быстро меняющемся мире. Работодатели теряют деньги, если их сотрудники страдают от различных проблем со здоровьем и не могут работать. Основная проблема – боли в пояснице и в области шеи, вызванная неправильным положением сидя. В этой статье описывается концепция реализации системы обнаружения нарушений осанки в положении сидя. Данная концепция реализована при помощи датчиков давления установленных на кресло. Узел Интернета вещей (IoT) на базе Arduino подключает эти датчики к системе. Система работает в реальном времени, определяет нарушения вызванные неправильной позой и уведомляет пользователей.

Ключевые слова: осанка, интернет вещей, здоровье, Arduino.