УДК 378.147.227

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ПРИМЕНЕНИЮ ПРИЕМА ОБЕЗРАЗМЕРИВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Клепфиш Б.Р.

Педагогический институт Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, e-mail: klepfish@bk.ru

Статья посвящена применению информационного подхода к анализу обучения приему обезразмеривания, как разделу предмета «Компьютерное моделирование». Результаты работы обосновывают использование этого приема при обучении компьютерному моделированию и указывают на связь с вариационными задачами для величины взаимной информации, применяемыми для анализа процесса обучения.

Ключевые слова: информационный подход, информатика, компьютерное моделирование, обезразмеривание

INFORMATION-PROCESSING APPROACH TO APPLYING THE METHOD OF NONDIMENSIONALIZATION IN STUDIES OF COMPUTER MODELLING

Klepfish B.R.

South Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: klepfish@bk.ru

The learning of nondimensionalization method in computer modeling from information-processing approach point of view is considered. These considerations strongly suggest that the application of dimensionless models in studies is stated on a reasonable basis. The relationship with variational problems of reciprocal information value which employed in training processes analysis is indicated.

Keywords: information-processing approach, informatics, modeling, nondimensionalization

Ряд профильных курсов информатики использует элементы моделирования в содержании. Методология компьютерного моделирования охватывает различные области – от разработки технических систем до анализа экономических процессов. Важный аспект компьютерного моделирования состоит в изучении, исследовании и разработке процедур, являющихся полезными в решении задач анализа, проектирования и управления объектами, процессами или явлениями. Эти процедуры включают, например, аппроксимацию, численный анализ и решение уравнений. Серьезным препятствием для широкого использования компьютерного моделирования является недостаток квалифицированных специалистов, поэтому изучение методов компьютерного моделирования должно занять соответствующее место в программах университетского образования [8, 9].

Важнейшим этапом моделирования является разделение переменных, с помощью которых строится модель, по степени важности влияния их изменений на выходные характеристики модели объекта. Этот этап способствует пониманию главных свойств и закономерностей существования объекта моделирования. В частности, для понимания характера движения динамических объектов очень полезен прием, называемый обезразмериванием. Идея обезразмеривания заключается в переходе от абсолютных значений расстояний, скоростей, времени и т.д. к относительным, причем отношения строятся к величинам, типичным для данной ситуации. Важнейшая роль обезразмеривания – установление законов подобия [1, 6, 8, 9]. У изучаемого движения есть множество вариантов, определяемых наборами значений параметров или являющихся для них начальными условиями. После обезразмеривания переменных появляются безразмерные комбинации параметров, фактически определяющие характер движения. Если мы изучаем два разных движения с разными размерными параметрами, но такими, что значения безразмерных параметров одинаковы, то движения будут качественно одинаковы (подобны). Число таких комбинаций обычно меньше числа размерных параметров, что также создает удобство при полном численном исследовании всевозможных ситуаций, связанных с исследуемым процессом. Наконец, безразмерные величины физически легче интерпретировать, чем их размерные аналоги, так как они измеряются относительно величин, смысл которых очевиден [1, 6, 8, 9].

Для изучения в курсе компьютерного моделирования элементов теории подобия и, конкретно, приема обезразмеривания, необходимо формирование понятийно-терминологического аппарата. Отметим, что понятие «обезразмеривание» доступно для понимания и связано лишь с понятиями, освоенными в рамках начальных курсов вузовской математики и физики [1, 6, 8, 9].

В связи с этим оказывается очень полезной теория подобия [1, 6], в рамках которой разработаны методы и приемы исследования моделей из разных областей знания.

Математическая модель физического явления представляет собою систему уравнений, связывающих набор присущих ему независимых и зависимых переменных. Такие уравнения построены на основе известных законов природы и отражают представления о физических взаимодействиях в некотором классе явлений (процессов). Каждое из уравнений можно привести к безразмерной форме путем деления всех членов уравнения на размерную часть одного из членов. Операция приведения уравнения к безразмерной форме может быть выполнена двумя способами: введением собственных масштабов переменных данного оператора или введением масштабов той же размерности, сконструированных из других величин данного уравнения [6].

В последние годы осознание роли информации стало причиной появления нового метода научного познания, который получил название информационного подхода. Суть этого метода заключается в том, что при изучении любого объекта, процесса или явления в первую очередь выявляются и анализируются информационные аспекты, которые существенным образом определяют их состояние и развитие [5].

Интерес к механизмам преобразования информации, стоящим за конечным результатом интеллектуальной деятельности, в значительной мере сложился под влиянием так называемой компьютерной метафоры – представления о возможности анализа процессов работы человеческого интеллекта по аналогии с процессами в компьютере. Информационный подход с характерным для него анализом поэтапной обработки информации и специфического участия в ней процессов внимания, восприятия, памяти, мышления позволяет проанализировать особенности решений задач [4]. Для применения информационного подхода к изучению процесса обучения компьютерному моделированию и приему обезразмеривания нужно уточнить приведенные формулировки введенных понятий.

Теория подобия и прием обезразмеривания в компьютерном моделировании. Физические единицы измерения разделяются на основные и производные. Основные единицы измерения задаются в виде тех или иных эталонов, производные единицы измерения получаются из основных в силу определения физической величины. Фундаментальными физическими мерами являются масса, расстояние, время. Масштабы массы M, длины L и времени T называются основными единицами физических величин [6]. Производные единицы конструируются из основных единиц по формуле размерностей

$$[Z_i] = A_i = L^{l_i} M^{m_i} T^{t_i}.$$

Смысл введения производных единиц заключается в том, что будучи более тесно связанными с конкретным физическим явлением, они наглядно и компактно характеризуют те или иные достаточно общие физические ситуации. При этом отношение двух численных значений величины не зависит от выбора масштабов. Показатели степеней в формуле для $[Z_i]$ могут иметь положительные и отрицательные значения, быть целыми и дробными числами.

В рамках приведенных определений, размерностью физической величины называется функция, определяющая, во сколько раз изменится численное значение этой величины при переходе от исходной системы единиц измерения к другой системе. Размерность физической величины всегда представляет собой степенной одночлен. Этот факт следует из фундаментального общефизического принципа ковариантности [1]. Величины, численное значение которых одинаково во всех системах единиц измерения, называются безразмерными, все остальные величины называются размерными. Размерность безразмерной величины равна единице.

Применяя информационный подход, будем полагать, что сведения о физических единицах измерения и связях между ними содержатся в тезаурусе студента.

Совокупность основных единиц измерения, достаточная для измерения характеристик рассматриваемого класса явлений, называется системой единиц измерения. Классом систем единиц измерения называется совокупность систем единиц измерения, отличающихся между собой только величиной основных единиц измерения. Система единиц измерения СИ входит в класс систем измерения, в котором основными единицами измерения являются

$$\text{кг}/M,\ \text{м}/L,\ \text{с}/T,$$

где M, L, T – положительные числа, показывающие, во сколько раз уменьшатся основные единицы массы, длины, времени при переходе от исходной системы СИ к другой системе данного класса. Этот класс обозначается MLT [6].

Таким образом, следует различать:

а) величины размерные, численное значение которых зависит от принятой системы единиц;

б) величины безразмерные, или отвлеченные, численное значение которых не зависит от принятой системы единиц, $[Z] = 1$.

Безразмерные величины могут образовываться в виде отношения двух величин одинаковой размерности A

$$S = Z_1/Z_2;\ \dim S = A/A = 1$$

и в виде особой комбинации величин разной размерности в соответствии с формулами

$$\Pi = \prod_{i=1}^{n} Z_i^{b_i};\ \dim\Pi = \prod_{i=1}^{n} A_i^{b_i} = 1,$$

где Π – традиционный символ произвольного безразмерного комплекса, а $\prod_{i=1}^{n}$ – стандартный символ произведения. Таким образом, комплекс Π представляет собой произведение множества величин Z_i, имеющих размерности A_i, возведенные в такие степени b_i что результирующая размерность оказывается равной 1. Очевидно, что для выполнения этого условия выбор числа размерных величин n не является произвольным, а обусловлен множеством размерностей A_1, ..., A_n. Содержательность комплекса Π определяется тем, что входящие в него величины отражают конкретные физические взаимодействия. Таким образом, безразмерные комплексы позволяют уменьшить число переменных, характеризующих изучаемое явление, в том смысле, что заранее устанавливается определенная взаимосвязь между размерными величинами в виде их безразмерных комбинаций, и делают это изучение независимым от системы мер [6].

Закономерности, определяемые в физической теории или в эксперименте, всегда можно представить в виде

$$a = f(a_1, \ldots, a_k, a_{k+1}, \ldots, a_n),$$

где величины a_1, ..., a_n носят название определяющих параметров, причем аргументы a_1, ..., a_k имеют независимые размерности, а размерности аргументов a_{k+1}, ..., a_n выражаются через размерности определяющих параметров a_1, ..., a_k:

$$[a_{k+1}] = [a_1]^{q_{k+1}} \cdots [a_k]^{r_{k+1}};$$

$$\cdots$$

$$[a_n] = [a_1]^{q_n} \cdots [a_k]^{r_n}.$$

Величины a_1, ..., a_k имеют независимую размерность, если размерность ни одной из этих величин нельзя представить в виде произведения степеней размерностей остальных величин. Размерность определяемой величины a должна выражаться через размерности определяющих параметров a_1, ..., a_k:

$$[a] = [a_1]^q \cdots [a_k]^r.$$

Если бы это было не так, то размерности величин a_1, ..., a_k были бы независимыми и, согласно предыдущему, можно было бы, меняя систему единиц измерения, произвольно менять величину a, оставляя неизменными величины a_1, ..., a_k (а следовательно, и все определяющие параметры a_1, ..., a_n). Это означало бы, что величина зависит не только от параметров a_1, ..., a_n, т.е. что список определяющих параметров в зависимости

$$a = f(a_1, \ldots, a_k, a_{k+1}, \ldots, a_n)$$

заведомо неполон. Таким образом, существуют такие числа q, ..., r, что имеет место формула

$$[a] = [a_1]^q \cdots [a_k]^r.$$

Поэтому полагают

$$\Pi_1 = \frac{a_{k+1}}{a_1^{q_{k+1}} \cdots a_k^{r_{k+1}}}, \cdots, \Pi_{n-k} = \frac{a_n}{a_1^{q_n} \cdots a_k^{r_n}};$$

$$\Pi = \frac{a}{a_1^q \cdots a_k^r}.$$

Величины $\Pi, \Pi_1, \Pi_2, \ldots, \Pi_{n-k}$, очевидно, безразмерны, и при переходе от одной системы единиц к другой их численные значения остаются неизменными. Зависимость $a = f(a_1, \ldots, a_k, a_{k+1}, \ldots, a_n)$, используя комплексы $\Pi, \Pi_1, \Pi_2, \ldots, \Pi_{n-k}$, можно переписать в виде

$$\Pi = \frac{f(a_1, \ldots, a_n)}{a_1^q \cdots a_k^r} = F(a_1, \ldots, a_k, \Pi_1, \ldots, \Pi_{n-k}).$$

Следовательно, зависимость

$$\Pi = F(a_1, \ldots, a_k, \Pi_1, \ldots, \Pi_{n-k})$$

представляется на самом деле через функцию $n - k$ аргументов:

$$\Pi = \Phi(\Pi_1, \ldots, \Pi_{n-k})$$

или, что то же самое, функция f имеет специальный вид

$$f(a_1, \ldots, a_k, a_{k+1}, \ldots, a_n) = a_1^q \cdots a_k^r \Phi(\Pi_1, \ldots, \Pi_{n-k}).$$

Из этих формул следует, что число безразмерных комплексов, составленных из назначенного набора размерных величин, определяется формулой Бэкингема [1]

$$m = n - k,$$

где n – полное число переменных; k – число первичных (независимых) размерностей [1]. Безразмерные величины $\Pi_1, \Pi_2, \ldots, \Pi_{n-k}$ называются параметрами подобия [1,6].

Понимание подобных явлений есть основное для рационального моделирования. Явления называются подобными, если они отличаются только численными значениями определяющих параметров и притом так, что для них соответствующие безразмерные величины $\Pi_1, \Pi_2, \ldots, \Pi_{n-k}$ совпадают. Следовательно, трудоемкость моделирования сокращается на столько порядков, сколько среди определяющих параметров величин с независимыми размерностями [1, 6].

Моделирование обучения приему обезразмеривания. Информационный подход, рассматривающий человека как систему переработки информации, в настоящее время продолжает развиваться среди моделей когнитивной психологии [4, 7]. Знание в рамках этого подхода рассматривается как комплекс реально существующих элементов (символов), хранящихся в памяти человека, которые обрабатываются мозгом, подобно программе в компьютере, и являются источником интеллектуального поведения [7].

В частности, при исследовании процессов обучения было показано, что новички используют при решении задачи преимущественно так называемый обратный вывод, т.е. перебирают все возможные варианты решения, одновременно осуществляя поиск аргументов в пользу каждого из них. Для выполнения указанных действий им требуется значительное время, а полученное таким образом решение часто оказывается ошибочным [7]. Если рассматривать такой процесс обучения в рамках информационного подхода как работу некоторой кибернетической системы, можно, очевидно, предположить, что используется технология программы генерирования информации, которая базируется на принципе программного управления неймановского компьютера. Программа планирует поведение системы не на весь сеанс работы, а на один следующий шаг (одну команду). Реализация этого принципа в рассматриваемой системе сводится к незначительному увеличению базы знаний на очередном шаге самоорганизации по отношению к предыдущему шагу [3].

Задача состоит в том, чтобы включить программу расширения тезауруса, которая также сформирует связи между вводимыми элементами. Механизм интеллектуального отбора такой программы выбирает наиболее ценные из информационных связей всегда с определенной целью – в данном случае с целью понимания. Когда учащегося выручает память, ему не нужна такая программа. Но как только в результате нескольких провалов он почувствует, что метод простого накопления данных не помогает, возникает потребность в другом методе, основанном не на запоминании, а на понимании данных и взаимосвязей между ними [3]. В этом смысле понимание как цель связи обеспечивает адекватность кодов переданных сигналов и кодов принятых сигналов.

Современная версия информационного подхода использует постановку вариационной задачи для величины взаимной информации [3, 10]. При этом предполагается, что эта величина является наилучшей мерой адаптации системы между условиями среды и реакциями системы [3, 10]. Одна из возможных формулировок вариационной задачи записывается следующим образом [10].

В процессах обучения, решения задач и т.д. система выбирает такие реакции r, которые обеспечивают максимизацию средней взаимной информации между системой и условиями среды («стимулами») x:

$$I(X,R)=\sum_x p(x)\sum_r p\left(\frac{r}{x}\right)\log\left[p\left(\frac{r}{x}\right)\Big/p(r)\right]=H(R)-H\left(\frac{R}{X}\right)\to \max,$$

где $p(x)$ и $p(r)$ – вероятности x и r; а $p\,(r/x)$ – условная вероятность значения при данном значении x, $H(R)$ – безусловная энтропия реакций; $H(R/X)$ – условная энтропия реакций [10].

Обычно существуют определенные ограничения, не позволяющие системе достичь абсолютного (безусловного) максимума взаимной информации. В этом случае формулируется более общая вариационная задача с ограничениями, которая может быть решена, например, методом множителей Лагранжа [10].

Результаты наблюдения за системами, оцениваемые с точки зрения кибернетического подхода, демонстрируют, что стабильная система должна иметь определенный минимум сложности для самоорганизации и жизнеспособности. Слишком простая система не способна адекватно реагировать на многообразие возмущающих воздействий внешней среды. В то же время увеличение сложности увеличивает вероятность отказа системы, если последняя не предпринимает мер по ресурсному обеспечению возросшей сложности. При этом нельзя считать, что принятие таких мер всегда полезно для системы, т.к. они отнимают часть ее энергетического и информационного ресурсов [3].

Приведенная выше формула Бэкингема указывает минимальное число параметров, необходимых для размерного описания модели. При рассмотрении в процессе обучения связи условий среды и реакций, можно говорить, что эта формула указывает предел размерности области возможных значений x. Если использовать при обучении модели, для которых число размерных параметров выбрано по формуле Бэкингема, можно говорить, что при этом происходит, по крайней мере, неувеличение максимального значения функционала $I(X, R)$.

Таким образом, информационная структура изучаемого материала упрощается, а это уменьшает нагрузку на систему обработки информации учащегося и требует от него меньше усилий, что способствует более успешному решению поставленной педагогической задачи.

В работе проведен анализ процесса обучения для предметной области, связанной с компьютерным моделированием, которой является теория подобия и размерности. Характер данной предметной области позволяет при построении моделей сформулировать набор правил, похожих на правила, используемые при решении задач линейной алгебры. При использовании полученных таким образом безразмерных моделей снижается вероятность отказа системы обработки информации учащегося из-за возможной нехватки энергетического или информационного ресурса.

Список литературы

1. Баренблатт Г.И. Автомодельные явления – анализ размерностей и скейлинг: учебное пособие. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009. – 216 с.

2. Голицын Г.А., Петров В.М. Информация. Поведение. Язык. Творчество. – М.: ЛКИ, 2007. – 224 с.

3. Гухман В.Б. Философская сущность информационного подхода: дис. …д-ра философских наук. – М.. Тверь, 2001.

4. Когнитивная психология: учебник для вузов / под ред. В.Н.Дружинина, Д.В. Ушакова.– М.: ПЕР СЭ, 2002.– 480 с.

5. Колин К.К. Информационный подход как фундаментальный метод научного познания // Межотраслевая информационная служба / ВИМИ. – 1998. – Вып. 1(102). – С. 3–17.

6. Кутателадзе С.С. Анализ подобия и физические модели.– Новосибирск: Наука, 1986.– 297 с.

7. Ларичев О.И., Нарыжный Е.В. Компьютерное обучение процедурным знаниям // Компьютеры, мозг, познание: успехи когнитивных наук / отв. ред. Б.М. Величковский, В.Д. Соловьев. – М.: Наука, 2008. – С. 235–251.

8. Лапчик М.П., Семакин И.Г., Хеннер Е.К. Методика преподавания информатики: учеб. пособие для студ. пед. вузов. – М.: Издательский центр «Академия», 2001.– 624 с.

9. Могилев А.В., Пак Н.И., Хеннер Е.К. Информатика: учебник для ВУЗов. – М.: Издательский центр «Академия», 2007.– 848 с.

10. Петров В.М., Мажуль Л.А. Финитность развития систем: информационный подход // Когнитивные исследования: Проблема развития: Сборник научных трудов / под ред. Д.В. Ушакова. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2009. – Вып. 3. – С. 56–73.

Рецензенты:

Потетюнко Э.Н., д.ф.-м.н., профессор кафедры теории упругости Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону;

Чикин А.Л., д.ф.-м.н., главный научный сотрудник Института аридных зон Южного научного центра Российской Академии наук, г. Ростов-на-Дону;

Попов Ф.А., д.т.н., профессор, зам. директора по ИТ, Бийский технологический институт (филиал) ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Бийск.

Работа поступила в редакцию 01.03.2011.