

С. Н. Дворяткина

**Методология математического моделирования
как эффективное средство синергии знаний в контексте диалога культур**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-18-10304)

В статье заявлена проблема адаптации ресурсов синергии к модельному подходу при решении профессиональных задач в диалоге естественно-научной и гуманитарной культур. Дана дефиниция важного и актуального феномена «синергии знаний». В аспекте реализации диалога культур выделен глобальный уровень синергии знаний – естественная синергия между обучением и управлением знаниями с актуализацией на идее установления междисциплинарной коммуникации и переноса знания в диалогах дисциплин, и локальный, связанный с математическим моделированием реальных процессов при решении профессиональных проблем.

В основной части работы представлено общее введение в методологию математического моделирования, проведены анализ основных положений методологии математического моделирования и оценка области применения этого метода, сформулированы основные принципы выбора и построения математических моделей при решении профессиональных проблем из различных отраслей знания. Определена роль методики обучения математическому моделированию в процессе математического образования, представлены возможности ее совершенствования через конструктивный синтез междисциплинарного знания.

В заключение показан пример решения профессиональной задачи технического содержания методом математического моделирования с привлечением знаний из смежных областей гидрометеорологии, социологии, радиоэлектроники. Правильная постановка профессионально ориентированных задач и их решение с привлечением гуманитарных средств анализа и математических методов прогнозирования могут быть использованы для повышения показателя сформированности междисциплинарной компетентности, успешного профессионального становления личности специалиста.

Ключевые слова: высшее образование, теория и методика обучения математике, синергия знаний, математическое моделирование, профессиональные задачи.

S. N. Dvoryatkina

**Methodology of Mathematical Modelling
as an Effective Means of Knowledge Synergy in the Context of the Cultures Dialogue**

In the article the problem of adaptation of synergy resources to the model approach at the solution of professional tasks in the dialogue of natural scientific and humanitarian cultures is declared. The definition of the important and actual phenomenon «knowledge synergy» is given. In aspect of realization of epy cultures dialogue the global level of knowledge synergy is allocated – it is natural synergy between tutoring and management of knowledge with updating based on the idea of interdisciplinarity. A local level of knowledge synergy is bound to mathematical model operation of actual processes at the solution of professional problems.

In the main part the introduction to methodology of the mathematical model operation is presented, the analysis of original positions of mathematical model operation methodology and assessment of a range of application of this method are carried out, basic principles of mathematical model operation are formulated. The role of a technique of training in the mathematical model operation in the course of mathematical education is established, possibilities of its improvement through the design synthesis of interdisciplinary knowledge are presented.

The example of the solution of the professional problem of maintenance by the method of the mathematical model operation with engaging knowledge from the interfacing fields of hydrometeorology, sociology, radiotronics is shown in the conclusion. The exact statement of professional focused tasks and their solution with engaging of humanitarian means of the analysis and mathematical methods of prediction can be used to increase the index of the interdisciplinary competence formation, successful professional becoming of the personality of the expert.

Keywords: higher education, the theory and methods of teaching mathematics, knowledge synergy, a mathematical modelling method, professional tasks.

Современный мир сложен и неоднозначен, это определяет новые императивы научного знания. Главный из них – междисциплинарность. В рамках одной дисциплины невозможно найти ответы на вызовы новой реальности. Нужен диалог, тесное взаимодействие гуманитариев, естественни-

ков и специалистов по математическому моделированию [3]. Наиболее успешным и плодотворным подходом последних десятилетий стала теория самоорганизации или синергетика (в пер. с греч. – ‘сотрудничество’, ‘объединение’). Базовым понятием теории совместного действия является

синергия. В самом простом случае термин «синергия» означает эффект, достигаемый при объединении двух и более частей системы, при котором совместное воздействие оказывается большим, чем суммарное усилие частей, то есть «целое больше суммы отдельных частей».

Дефиниция же такого понятия, как «синергия знаний», исследователями точно не определена, тем не менее, можно создать общее видение. Это новое научное понятие, имеющее сложную многоуровневую структуру и подразумевающее совместное взаимодействие знаний из различных научных областей через слияние и интеграцию простых структурных элементов или фрагментов знаний в целостную знаниевую систему с целью ускорения темпа ее развития и достижения сверхаддитивного эффекта. Синергия знаний включает механизмы идентификации и оценки синергетического взаимодействия между новыми и имеющимися знаниями. С добавлением новой информации или отдельных сегментов знаний к существующей базе происходит процесс формирования других типов знаний, приращения и развития растущей совокупности знаниевого массива. Синергия знаний направлена на решение критических проблем путем перехода знаниевой структуры на более высокую качественную ступень во время развития фундаментального знания [4].

В аспекте реализации диалога культур можно выделить как глобальный уровень синергии знаний (естественная синергия между обучением и управлением знаниями с актуализацией на идее установления междисциплинарной коммуникации и переноса знания в диалогах дисциплин), так и локальный, связанный с математическим моделированием реальных процессов и явлений при решении профессиональных проблем.

Наиболее интересные и значимые в практическом плане результаты получают посредством проведения исследований, осуществляемых на стыке наук, что в настоящее время указывает на интенсификацию процесса интеграции научных знаний. Междисциплинарность является проекцией современных тенденций в науке и объективной движущей основой совершенствования и развития.

В то же время методологию математического моделирования необходимо понимать как очередной и закономерный этап пути развития научного познания реальных процессов. Основываясь на анализе основных положений методологии математического моделирования, попытаемся оценить область применения этого метода, обосновать ограничения метода и сформулировать основные

принципы выбора и построения математических моделей при решении профессиональных проблем из различных отраслей знания.

Содержательный и качественный анализ реального объекта трансформируется в количественный анализ с высокой степенью детализации и формализации. Иными словами, описание и дальнейшее исследование объекта или процесса производятся посредством математических формул и методов. Такой подход позволяет задействовать инструментализм высоких технологий, вычислительные мощности современных компьютеров применительно к «оцифрованным» объектам и тем самым производить с ними безопасные и быстрореализуемые виртуальные эксперименты. Результаты таких экспериментов будут максимально приближены или даже полностью соответствовать данным, которые были бы получены при проведении трудоемких, медленных и не всегда безопасных реальных экспериментов. Однако следует отметить, что в современной науке виртуальность не отменяет реальности, а гармонично ее дополняет. Следовательно, овладение методом математического моделирования является неотъемлемым требованием современного этапа развития науки и образования, синергетической эры математического моделирования. Замена реального объекта, явления или процесса его математической моделью – математическим «образом», состоящим из алгоритмически представленных закономерностей, описывающих на языке формул основные характеристики изучаемого процесса (явления), – составляет суть математического моделирования.

Однако ни одна математическая модель не может имитировать реальный процесс. При протекании последних возможны некоторые флуктуации, погрешности, возникающие в ходе инструментальных измерений. В зависимости от целей исследования необходимы различные уровни точности, с которыми та или иная модель описывает реальный процесс. Если рассматривать начальный уровень освоения метода математического моделирования, в ходе которого основным требованием к обучаемому является усвоение основ построения моделей реального явления, то достаточно упрощенных имитаций с довольно значительным расхождением результатов по такому явлению и по модели. При решении научно-исследовательских задач профессионального уровня, например, имитации прохождения ядерной реакции в АЭС, важна максимальная точность и приближенность к реальности. Необходимо учитывать данный аспект и соблюдать разумный баланс между точностью имитации и трудоемко-

стью построения модели относительно сложности математического аппарата, а также затрачиваемыми во время ее работы информационно-вычислительными ресурсами, заранее устанавливая допустимый уровень отклонений.

Методология математического моделирования определяется следующими важными составляющими: законами функционирования методов исследования конкретной отрасли науки, логикой построения данной науки, характеристикой (принципы, особенности) и структурой деятельности (фазы, стадии, этапы). К классическим методологическим принципам математического моделирования можно отнести следующие:

- научности и достоверности фактов и закономерностей, который заключается в применении только установленных наукой законов, инвариантных соотношений для изучаемых явлений;

- корректного применения математического аппарата к изучению реальных процессов и явлений, следование «от объекта к модели», а не наоборот;

- сохранения специальной идентичности по отношению к изучаемому явлению, который состоит в установлении границы между применяемой исследователем математической методологией и его собственными воззрениями на изучаемый предмет;

- адекватного оценивания, устанавливает возможность математического моделирования явлений с достаточной степенью достоверности и необходимой полноты;

- множественности моделей, означает возможность построения нескольких моделей для изучения сложной структуры и прогнозирования поведения системы;

- omnipotentности факторов, который состоит в том, что ни в одной из моделей нельзя учесть наиболее значимые факторы во всей их полноте.

Теперь зададимся вопросом, стоит ли обучать будущих профессионалов методу математического моделирования в процессе математического образования или достаточно ограничиться процедурой установления междисциплинарных связей? По верному утверждению Л. Д. Кудрявцева, в настоящее время методика обучения математическому моделированию разработана совершенно недостаточно, и она может быть успешно выполнена только при тесном содружестве и взаимодействии математиков и соответствующих специалистов, например, физиков, химиков, биологов, социологов, экономистов и др. Безусловно, обучение умения составлять математические модели реальных

явлений – одна из первоочередных задач в процессе профессионального образования [2].

Обучение студентов математическому моделированию имеет, во-первых, непреходящее значение для формирования современного мировоззрения обучаемых, преодоления дисциплинарного мышления, поскольку моделирование, как мы уже отмечали, представляет собой общенаучный метод познания действительности. Во-вторых, нельзя не отметить и методологический аспект обучения студентов математическому моделированию. Правильная ориентация в методологических вопросах математического моделирования позволит студентам лучше понять, что такое математика, как она применяется, что такое математизация знаний. При этом решаются важные методологические проблемы моделирования сложных систем – адекватность математических моделей изучаемому явлению, их универсальность, иерархичность, оснащенность, нелинейность, численная реализация и т. д.

Сегодня методология математического моделирования завоевала прочные позиции в технических, естественно-научных и экономических областях знания. Большинство профессиональных задач основывается на данных, полученных эмпирическим путем, и при построении математических моделей от исследователя требуется наиболее точное описание происходящих процессов и основных зависимостей с минимальными отклонениями от реальных значений. Достичь подобного результата возможно только в том случае, если исследователь обладает обширной базой знаний, охватывающей большие кластеры из различных областей смежных наук, нелинейным, глобально ориентированным мышлением, фундаментальными познаниями в области исследуемого объекта или явления и владеет широким арсеналом методов решения поставленных задач.

Для учебного процесса высшей школы большой интерес представляет построение и изучение прогностических моделей различного уровня сложности, осуществляя процессы междисциплинарного взаимодействия и интеграции знания через диалог дисциплин, направленные на достижение сверхаддитивного эффекта при принятии решения. Способность моделировать явления, объекты, прогнозировать с высокой вероятностью еще несостоявшиеся события, предвидеть их развитие, иллюстрирует широту и глубину овладения знаниями, способность устанавливать междисциплинарные связи. Правильная постановка профессионально ориентированных задач на прогнозирование и верное их решение могут быть использованы для повышения показателя успешного

Таблица 2

Зависимость объема возвращенных телевизоров от температуры воздуха и отклонений напряжения питания от номинального значения

T (месяц)	Y (объем обмена), тыс.ед.	X ₁ (температура), °C	X ₂ (отклонение от номинального напряжения), В
1	120	-4,1	30
2	140	-1,2	13
3	145	-0,8	15
4	199	10,1	5
5	203	13,3	8
6	248	18,3	5
7	270	21	10
8	240	19	1
9	230	11,6	5
10	217	8	3
11	150	0,5	15
12	107	-9,4	30

профессионального становления личности будущего инженера. Проиллюстрируем сказанное на примере решения профессиональной задачи технического содержания методом математического моделирования, привлекая знания из смежных областей гидрометеорологии, социологии, радиоэлектроники.

Задача. В городе N инженерами фирмы «Rapsopis» выявлено, что количество запросов на запасные комплектующие к телевизорам со стороны сервисных центров неравномерно в течение года. В их распоряжении были эмпирические данные по числу телевизоров, возвращенных фирме за предшествующий год (см. табл. 1). Существует ли необходимость интенсифицировать поставки комплектующих частей в сервисные центры в летние месяцы на будущий год [1]?

Таблица 1

Распределение возвращенных телевизоров по месяцам одного года

T (месяц)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Y (объем обмена), тыс.ед.	100	120	122	199	250	248	200	225	217	210	208	110

Этап 1. Построение стохастической модели (фаза математизации)

На данном этапе необходимо построить математическую модель, адекватную реальному процессу (объекту), на основе которой будут получены прогнозируемые значения интересующего нас свойства объекта. В данном случае такой моделью будет служить линейное уравнение регрессии, аппроксимирующее эмпирические показатели и учитывающее влияние случайных факторов, например, перенапряжение и провалы напряжения в сети питания, радиопомехи, помехи от разрядов молнии, помехи от блуждающих токов заземления др. Для выдвижения гипотезы о том, что на работоспособность телевизоров могут влиять сезонные колебания температуры воздуха и перепады напряжения в бытовой электрической сети, которые, в свою очередь, происходят из-за суточных, сезонных и технологических изменений электрической нагрузки потребителей, опираемся на междисциплинарный багаж знаний (табл. 2). Например, условие приемлемого отклонения величины напряжения не более чем на 5 % от номинального, можно взять из радиоэлектроники.

Используя архивы метеорологической информации по среднемесячной температуре за исследуемый период (X₁) и показатели средних значений напряжения, отличающиеся от номинального значения (X₂), построим уравнение множественной линейной регрессии: $\hat{y} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$.

Этап 2. Расчеты в готовой математической модели (фаза дедукции)

Опустив сложные теоретические расчеты, запишем полученное уравнение регрессии: $\hat{y} = 180,67 + 3,18x_1 + 1,77x_2$. Коэффициент детерминации R² = 0,98 показывает степень влияния на результат Y факторов X₁ и X₂. Значимость коэффициента детерминации и коэффициентов регрессии на уровне значимости α=0,05 подтверждается. Действительно, эмпирические значения t-критерия Стьюдента для коэффициентов a₀, a₁, a₂ соответственно равны $t_{эмп}^{a_0} = 18,10$; $t_{эмп}^{a_1} = 4,37$; $t_{эмп}^{a_2} = 3,17$, попадая в критическую область $(-\infty; -2,26) \cup (2,26; +\infty)$ и, следовательно, являются значимыми.

Этап 3. Толкование результатов дедукции и расчетов (фаза интерпретации)

Сущность коэффициентов a₁, a₂ в полученном уравнении регрессии состоит в том, что они показывают степень влияния каждого фактора на результат. Так, увеличение среднемесячной температуры на 10 °C ведет к росту возврата телевизоров на 3 тыс. единиц, а увеличение напряжения от номинального на 1В ведет к росту возврата приближенно на 2 тыс. единиц.

Модель, используемая для прогноза, должна учитывать все факторы, оказывающие существенное влияние на прогнозируемую величину, однако эти факторы не всегда возможно установить. Одни из них могут быть неизвестны исследователю,

по другим факторам нет никакой эмпирической информации или она недостоверна и т. п. В данной задаче мы использовали два фактора – среднемесячную температуру воздуха и отклонение средних значений напряжения от номинального. Оба измеряемых параметра оказались статистически значимыми. Установление значимых факторов зависит в большинстве случаев от глубины междисциплинарных знаний исследователя.

Ключевым моментом в решении задачи является определение прогнозируемого количества поломок телевизоров на будущее лето с учетом данных синоптиков. При известном уравнении регрессии вычислить значение функции в новых прогнозируемых точках не представляет труда. Для оценки всех возможных вариантов по возврату телевизоров предлагаем построить матрицу значений в зависимости от предполагаемых максимально возможных значений температуры и отклонений напряжения питания от номинального значения.

Таблица 3

Матрица значений объема возвращенных телевизоров от максимального значения температуры воздуха и отклонений напряжения питания от номинального

		$\hat{y} = 180,67 + 3,18x_1 + 1,77x_2$			
		июнь	июль	август	max, 2010
X_2	X_1	18,8	26,1	21,7	36
5		249,30	272,52	258,53	304,00
10		258,15	281,37	267,38	312,85
7		252,84	276,06	262,07	307,54

Полученная матрица прогноза (табл. 3) показывает ожидаемые значения количества вышедших из строя телевизоров на будущее лето в зависимости от среднемесячной температуры (например, август 2010 г.) и перепадов напряжения. Линейная модель прогноза применяется как для установления уровня влияния исследуемых факторов на результат, так и для принятия решений об изменении поставок количества комплектующих в жаркие месяцы года. Как видим из матрицы прогноза, при незначительном повышении среднемесячной температуры воздуха поставки комплектующих следует увеличить, по сравнению с прошлым годом, только на 5 %. В случае резкого повышения среднемесячной температуры поставки комплектующих рекомендуется повысить на 16 %.

На начальном этапе изучения методов корреляционного и регрессионного анализа при решении задач на прогнозирование мы ограничиваемся влиянием одного-двух факторов и самой простой, наиболее часто используемой с практической точки зрения моделью линейной (парной или множественной) регрессии. В дальнейшем рекомендуем применять модели нелинейной регрессии и вводить в рассмотрение большее число случайных факторов, что увеличит сложность модели. Выбор вида стохастической модели, ее применение, интерпретация полученных результатов позволяют судить о преодолении дисциплинарного мышления и о междисциплинарной компетентности будущего инженера.

Резюмируя сказанное, можно констатировать, что создание классифицированного и структурированного банка профессиональных и прикладных задач, решение которых базируется на применении метода математического моделирования с одновременной активизацией диалога культур, является важнейшим элементом высшей профессиональной подготовки востребованного современным обществом специалиста.

Библиографический список

1. Дворяткина, С. Н. Развитие вероятностного стиля мышления студентов в обучении математике на основе диалога культур [Текст] : дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.02: защищена 28.12.2012: утв. 30.09.2013 / С. Н. Дворяткина. – Елец, 2012. – 527 с.
2. Кудрявцев, Л. Д. Мысли о современной математике и ее преподавании [Текст] / Л. Д. Кудрявцев. – М. : Физматлит, 2008. – 434 с.
3. Синергетика. Будущее мира и России [Текст] / под ред. Г. Г. Малинецкого. – М. : Изд-во ЛКИ, 2008. – 384 с.
4. Kenneth, M. Learning as Knowledge Integration. – Austin : The University of Texas, 1995. – 495 p.

Bibliograficheskij spisok

1. Dvorjatkina, S. N. Razvitie verojatnostnogo stilja myshlenija studentov v obuchenii matematike na osnove dialoga kul'tur [Tekst] : dis. ... d-ra ped. nauk: 13.00.02: zashhishhena 28.12.2012: utv. 30.09.2013 / S. N. Dvorjatkina. – Elec, 2012. – 527 s.
2. Kudrjavcev, L. D. Mysli o sovremennoj matematike i ee prepodavanii [Tekst] / L. D. Kudrjavcev. – M. : Fizmatlit, 2008. – 434 s.
3. Sinergetika. Budushhee mira i Rossii [Tekst] / pod red. G. G. Malineckogo. – M. : Izd-vo LKI, 2008. – 384 s.
4. Kenneth, M. Learning as Knowledge Integration. – Austin : The University of Texas, 1995. – 495 p.