ИНТЕГРАТИВНЫЙ ПОДХОД К ПРОВЕДЕНИЮ ЗАНЯТИЙ ПО МАТЕМАТИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ В ВУЗАХ МЧС РОССИИ

Е.С. Калинина, кандидат педагогических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Интегративный подход к преподаванию математических дисциплин через реализацию межпредметных связей рассматривается как одно из педагогических условий, способствующих формированию готовности будущих специалистов МЧС России к компетентному решению профессиональных задач. На конкретном примере изучена методика проведения интегративного лабораторного занятия по высшей математике, демонстрирующего интеграцию математических, естественнонаучных, специальных дисциплин и информационных технологий.

Ключевые слова: интегративный подход, межпредметные связи, обучение высшей математике, интегративное профессионально-ориентированное задание

INTEGRATIVE APPROACH TO THE TEACHING PROCESS ON MATHEMATICAL DISCIPLINES IN HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS OF EMERCOM OF RUSSIA

E.S. Kalinina. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

An integrative approach to the teaching of mathematical disciplines through the implementation of intersubject communications is one of the pedagogical conditions which form preparedness of future specialists of EMERCOM of Russia for a competent professional tasks solving. We studied the technique of integrative laboratory class on the higher mathematics and demonstrated integration of mathematical, natural-science, special disciplines and information technologies.

Keywords: integrative approach, intersubject communications, higher mathematics teaching, integrative professionally oriented task

В настоящее время, в связи со значительным увеличением числа задач в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, требующих для своего решения применения современных математических моделей и методов, все большую актуальность приобретает проблема повышения качества математической подготовки будущих специалистов МЧС России.

Одним из путей решения данной проблемы, а также повышения эффективности образовательного процесса в вузах пожарно-спасательного профиля в целом, является реализация интегративного подхода к преподаванию математических дисциплин с целью усиления их профессиональной направленности. Основным дидактическим инструментом такой интеграции служат межпредметные связи, объединяющие в единое целое все структурные элементы учебного процесса – цели, содержание, формы, методы и средства обучения.

Исходя из анализа научных работ в области педагогики, межпредметную интеграцию можно определить как «естественную взаимосвязь наук учебных дисциплин, предметов, отдельных разделов и тем на основе объединяющей идеи последовательного, всестороннего раскрытия изучаемых процессов и явлений» [1].

Анализ учебных планов и рабочих программ по специальности «Пожарная безопасность», а также опыт преподавания в Санкт-Петербургском университете Государственной противопожарной службы МЧС России показали, что для вузов пожарно-спасательного профиля наиболее эффективной и актуальной является интеграция математических, естественнонаучных и специальных дисциплин с активным использованием информационных технологий.

Основным средством реализации интегративного подхода при обучении математическим дисциплинам выступает решение интегративных профессионально-ориентированных заданий. Под интегративным профессионально-ориентированным математическим заданием будем понимать задание, условие и требование которого определяют собой модель некоторой ситуации, возникающей в профессиональной деятельности будущего специалиста МЧС России, а исследование этой ситуации осуществляется средствами математических, естественнонаучных и специальных дисциплин.

В вузах МЧС России выделяем три вида интегративных профессионально-ориентированных заданий: профессионально-ориентированные задачи, задания для выполнения лабораторных работ, проекты профессионально направленного обучения. Каждый вид задания используется при определенной форме организации учебного процесса, с применением специфичных методов и средств обучения. Выполняя соответствующие педагогические функции, каждый вид имеет свои механизмы влияния на мотивацию обучающихся и усвоение ими как математических, так и профессиональных знаний и умений. Именно по этим причинам рассмотрим три типа профессионально-ориентированных заданий, хотя все они объединены общим признаком – интегративной связью математики с естественнонаучными и специальными дисциплинами, а также будущей профессиональной деятельностью.

Методологической основой интеграции знаний в процессе выполнения профессионально-ориентированных заданий служит математическое моделирование.

В качестве примера реализации интегративного подхода к изучению дисциплины «Высшая математика» специальности «Пожарная безопасность» рассмотрим методику проведения лабораторного занятия по теме «Применение дифференциальных уравнений для прогнозирования динамики опасных факторов пожара в помещении».

Целью лабораторной работы является изучение принципов математического моделирования взаимосвязанных термогазодинамических процессов, характеризующих пожар в помещении как сложное физическое явление, при котором изменяются со временем параметры состояния газовой среды и ограждающих конструкций.

Во вводной части лабораторного занятия следует сделать акцент на актуальности и практическом применении изучаемой темы при решении профессиональных задач. Согласно Федеральному закону от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (ФЗ № 123-ФЗ), прогнозирование динамики опасных факторов пожара играет первостепенную роль при решении большинства задач пожарной безопасности зданий и сооружений. В частности, математические модели развития пожара лежат в основе методики определения расчетных величин пожарного риска [2], оценки достаточного времени эвакуации из здания, проведении пожарно-технических экспертиз, разработки эффективных противопожарных мероприятий и др.

Постановку интегративного профессионально-ориентированного задания по изучаемой теме можно сформулировать следующим образом. Исследовать динамику среднеобъемных значений опасных факторов пожара при свободном развитии пожара в помещении, имеющем форму прямоугольного параллелепипеда и расположенном в одноэтажном здании.

Каждому обучающемуся выдается свой вариант индивидуального задания, содержащий исходные данные для расчетов и характеристики помещения.

В теоретической части лабораторной работы обучающимся необходимо ознакомиться со справочной и нормативной литературой по изучаемой теме; сформировать общую физико-математическую картину развития пожара; обосновать выбор метода исследования.

В основе математической модели пожара лежит система (системы) дифференциальных уравнений, вытекающих из фундаментальных законов природы – первого закона термодинамики, закона сохранения массы и закона сохранения импульса [3]. Эти уравнения отражают всю совокупность взаимосвязанных физико-химических процессов, присущих пожару.

Опасными факторами пожара (ОПФ), установленными ст. 9 ФЗ № 123-ФЗ, являются: повышенная температура окружающей среды, пламя и искры, пониженная концентрация кислорода, снижение видимости в дыму, тепловой поток, токсичные продукты горения и термического разложения. С научной точки зрения ОПФ являются физическими понятиями и формируют локальное предметное поле физики рассматриваемого интегративного лабораторного занятия.

В настоящее время при прогнозировании динамики ОФП используют три основных вида математических моделей: интегральные, зонные и полевые модели [2].

Для решения поставленной задачи применима интегральная математическая модель пожара, позволяющая прогнозировать средние значения параметров состояния среды в помещениях малого объема простейшей геометрической конфигурации. По сравнению с другими моделями, достоинством интегральной модели является простота, недостатком – менее детальное описание состояния опасных факторов пожара в помещении. Однако «с дидактической точки зрения, когда требуется показать только характер их изменения, общую картину происходящего на пожаре, влияние на развитие пожара активных систем (пожаротушения, вентиляции и др.), среднеобъемных значений вполне достаточно» [4].

В экспериментальной части лабораторной работы, на первом этапе исследования необходимо, используя индивидуальные исходные данные, выдаваемые каждому обучающемуся, составить систему обыкновенных дифференциальных уравнений интегральной математической модели пожара с полным разъяснением всех вошедших в нее физических величин.

С позиций физики газовая среда, заполняющая изучаемое помещение, представляет собой открытую термодинамическую систему. Внешней средой по отношению к этой системе являются ограждающие конструкции (стены, потолок, пол) и наружная атмосфера. В результате взаимодействия с внешней средой путем массо- и теплообмена состояние рассматриваемой термодинамической системы изменяется [5].

Систему дифференциальных уравнений будем составлять с учетом допущений, принятых в работе [3]: «газовая среда внутри помещения при пожаре является смесью идеальных газов; состояние газовой среды помещения и параметры тепломассообмена в каждый момент времени однозначно определяются среднеобъемными значениями параметров состояния газовой среды; в каждой точке пространства внутри помещения в любой момент времени реализуется локальное равновесие; геометрическое положение пожарной нагрузки в помещении не влияет на параметры тепломассообмена через открытые проемы с окружающей средой и теплоотвода в ограждающие конструкции; поверхности равных давлений внутри и снаружи помещения в области проема являются плоскостями и совпадают друг с другом» [6].

Условия в помещении при пожаре в каждый момент времени t характеризуются среднеобъемными или интегральными параметрами состояния, важнейшими из которых являются давление p_n, плотность ρ_n, температура T_n и концентрация y_i компонентов среды.

Основным в интегральной модели является, полученное из уравнения Клапейрона, усредненное уравнение состояния газовой среды, заполняющей помещение:

$$p_n = \rho_n \cdot R \cdot T_n, \quad (1)$$

где R – универсальная газовая постоянная.

Из закона сохранения массы вытекают следующие дифференциальные уравнения.

Уравнение материального баланса пожара в помещении:

$$V \frac{d\rho_n}{dt} = G_B + \psi - G_\Gamma, \tag{2}$$

где V – объем помещения; G_B – расход поступающего воздуха из окружающей атмосферы в помещение в момент времени t; ψ – скорость выгорания (газификации) горючего материала; G_Γ – расход газов, покидающих помещение через проемы в изучаемый момент времени [3, 5, 6].

Дифференциальное уравнение баланса кислородной массы:

$$\rho_n V \frac{dy_1}{dt} = G_B \left(y_{1B} - y_1 \right) + G_\Gamma y_1 \left(1 - m_1 \right) - \psi \left(y_1 + \eta L_1 \right), \tag{3}$$

где y_1 – среднеобъемная концентрация кислорода в момент t; y_{1B} – концентрация кислорода в наружном воздухе; $y_{1\Gamma}$ – концентрация кислорода в уходящих газах; L_1 – масса кислорода, необходимая для сгорания единицы массы горючего материала (стехиометрический коэффициент для кислорода); η – коэффициент полноты сгорания; m_1 – коэффициент, учитывающий отличие концентрации кислорода в уходящих газах от среднеобъемной концентрации кислорода, рассчитываемый по формуле [3, 5, 6]:

$$m_1 = \frac{y_{1\Gamma}}{y_1} \le 1.$$

Дифференциальное уравнение баланса продуктов горения:

$$\rho_n V \frac{dy_2}{dt} = \psi \left(L_2 - y_2 \right) - G_\Gamma y_2 \left(m_2 - 1 \right) - G_B y_2, \tag{4}$$

где y_2 – среднеобъемная концентрация какого-либо продукта сгорания в момент t; L_2 – количество продукта, образующегося в результате сгорания единицы массы вещества (стехиометрический коэффициент для продукта горения); $y_{2\Gamma}$ – концентрация продукта в уходящих газах; m_2 – коэффициент, учитывающий отличие концентрации токсичного газа в уходящих газах от среднеобъемной концентрации этого газа [3, 5, 6]:

$$m_2 = \frac{y_{2\Gamma}}{y_2} \ge 1.$$

Дифференциальное уравнение баланса инертного газа:

$$\rho_n V \frac{dy_3}{dt} = G_B \left(y_{3B} - y_3 \right) - G_\Gamma y_3 \left(m_3 - 1 \right) - \psi y_3, \tag{5}$$

где y_3 – среднеобъемная концентрация инертного газа в помещении; y_{3B} – концентрация газа в наружном воздухе; $m_3 = y_{3Г} / y_3$ – коэффициент, учитывающий различие концентраций газа в уходящих газах и в помещении [3, 5, 6].

Из первого закона термодинамики выводится уравнение энергии. Изучаемая термодинамическая система, то есть газовая среда внутри помещения, характеризуется тем, что она не совершает работы расширения. Кинетическая энергия видимого движения газовой среды в помещении пренебрежимо мала по сравнению с ее внутренней энергией. Потоки массы через проемы характеризуются тем, что в них удельная кинетическая энергия газа пренебрежимо мала по сравнению с удельной энтальпией [3, 5]. На основании вышесказанного получается следующее дифференциальное уравнение энергии пожара:

$$\frac{1}{(k-1)}\frac{d}{dt}\left(p_n V\right) = \eta Q_н^р \psi + I_П \psi + c_{PB} T_B G_B - c_{Pn} T_n n G_Г - Q_w, \qquad (6)$$

где $Q_н^р$ – низшая теплота сгорания; T_B – температура наружного воздуха; $I_П$ – энтальпия газифицированного горючего вещества; Q_w – поток тепла в рассматриваемый момент времени *t*; $k = c_p / c_v$ – показатель адиабаты; *n* – коэффициент, учитывающий различие энтальпии уходящих газов и среднеобъемной энтальпии. Как правило, при пожаре $n \geq 1$ [3, 5, 6].

Левая часть уравнения (6) представляет собой скорость *H* изменения внутренней тепловой энергии газовой среды в помещении за единицу времени в рассматриваемый малый промежуток времени *dt*, то есть:

$$\frac{1}{(k-1)}\frac{d}{dt}\left(p_n V\right) = \frac{dH}{dt}.$$

В правой части уравнения энергии (6) первое слагаемое соответствует количеству тепла, поступающего за единицу времени в газовую среду в результате горения (так называемая скорость тепловыделения). Второе слагаемое есть поток энергии в помещении, поступающий вместе с продуктами газификации (пиролиз, испарение) горючего материала. Третье слагаемое представляет собой сумму внутренней тепловой энергии поступающего за единицу времени воздуха и работы проталкивания, которую совершает внешняя атмосфера. Четвертое слагаемое есть сумма внутренней тепловой энергии, которую уносят за единицу времени уходящие газы, и работы выталкивания, которую совершает рассматриваемая термодинамическая система. Пятое слагаемое является тепловым потоком, поглощаемым ограничивающими конструкциями и излучаемым через проемы [3, 5].

Совокупность алгебраического уравнения (1) и пяти дифференциальных уравнений (2–6) представляет собой математическую модель свободного (без применения огнетушащих веществ) развития пожара в помещении. При наличии тушения пожара данную модель можно видоизменить путем введения в дифференциальные уравнения дополнительных слагаемых [3, 5].

Искомыми функциями в системе (1–6) являются интегральные (среднеобъемные) параметры газовой среды: $\rho_n(t)$, $p_n(t)$, $T_n(t)$, $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$, а независимой переменной – время *t*. Число уравнений равно числу неизвестных. В качестве коэффициентов, уравнения содержат целый ряд других физических величин, значения которых либо выдаются обучающимся в индивидуальных заданиях, либо находятся из справочной литературы [3, 5].

Начальные условия, определяющие задачу Коши для системы дифференциальных уравнений, имеют вид:

$$
\left.\begin{aligned}
&\text{при } t = 0: \\
&p_n = p_{0n};\;\; \rho_n = \rho_{0n};\;\; T_n = T_{0n}; \\
&y_1 = y_{01};\;\; y_2 = y_{02};\;\;\; y_3 = y_{03}.
\end{aligned}\right\} \qquad (7)
$$

Условия (7) представляют собой данные о параметрах состояния газовой среды перед началом пожара [3, 5, 6].

Следующим этапом исследования является проведение компьютерного эксперимента. В общем случае система обыкновенных дифференциальных уравнений, присущая интегральной математической модели, аналитического решения не имеет [3, 5], в связи с чем требуется применение численных методов. Этот подход связан с большим объемом вычислений и может быть реализован только с помощью ЭВМ. На сегодняшний день существует множество специализированных программных продуктов, реализующих математические модели пожара. Однако на занятиях по высшей математике наибольшие дидактические возможности для исследования системы дифференциальных уравнений (1–7) как модели пожара предоставляют профессиональные математические пакеты прикладных программ, такие как MatLab, MathCad, Wolfram Mathematica и др.

Для проведения компьютерного эксперимента по изучаемой теме рекомендуется использовать интегрированную среду MathCad. Порядок реализации в среде MathCad модели пожара вида (1–7) рассмотрен в работе [6, с. 4]. В результате решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений с помощью среды MathCad обучающиеся получают наглядные графические зависимости искомых ОПФ от времени развития пожара.

На завершающем этапе экспериментальной части лабораторной работы на основании полученных графических зависимостей обучающиеся должны проанализировать: динамику развития отдельных ОФП; последовательность наступления различных ситуаций; сделать итоговый вывод о прогнозе развития пожара. Результаты исследования оформляются в виде отчета.

Рассмотренный пример наглядно продемонстрировал межпредметную интеграцию знаний по дисциплинам «Высшая математика», «Физика», «Химия», «Теория горения и взрыва», «Гидравлика и противопожарное водоснабжение», «Информационные технологии». Кроме того, первичные навыки научно обоснованного прогнозирования динамики опасных факторов пожара, выработанные в рамках изучения дисциплины «Высшая математика», будут востребованы на старших курсах при освоении обучающимися таких профилирующих дисциплин, как «Физико-химические основы развития и тушения пожаров», «Пожарная безопасность в строительстве», «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре», «Производственная и пожарная автоматика», «Пожарная тактика», «Расследование и экспертиза пожаров» и др.

Следует отметить, что интегративные лабораторные работы рассмотренного типа могут быть организованы как комплексные лабораторно-практические занятия, проводимые несколькими преподавателями разных кафедр.

Таким образом, реализация интегративного подхода в образовательном процессе вузов МЧС России способствует повышению эффективности освоения математических, естественнонаучных и специальных дисциплин, развивает познавательную потребность и положительную мотивацию обучающихся, формирует высокий уровень освоения профессиональных компетенций.

Литература

1. Багова Л.Л. Межпредметная интеграция в образовательном процессе и ее проблемы на этапах становления педагогической науки // Вестник Майкопского гос. технол. ун-та. 2014. № 1. С. 57–61.

2. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: Приказ

МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 (с изм. от 12 дек. 2011 г. и 2 дек. 2015 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие. М.: Акад. ГПС МВД России, 2000. 118 с.

4. Субачев С.В., Субачева А.А. Имитационное моделирование развития и тушения пожаров в системе подготовки специалистов противопожарной службы // Прикладная информатика. 2008. № 4 (16). С. 27–37.

5. Храпский С.Ф. Прогнозирование опасных факторов пожара: конспект лекций. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. 80 с. URL: http://studopedia.net/9_58029_ lektsiya--differentsialnie-uravneniya-pozhara.html. (дата обращения: 25.03.2017).

6. Михайлова Н.А. Численная реализация интегральной математической модели пожара в помещении в интегрированной среде MATHCAD // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. 2014. № 11 (32). С. 4. URL: http://vestnik.vgasu.ru/ attachments/Mihailova.pdf. (дата обращения: 25.03.2017).

References

1. Bagova L.L. Mezhpredmetnaya integratsiya v obrazovatelnom protsesse i ee problemy na etapakh stanovleniya pedagogicheskoy nauki // Vestnik Maykopskogo gos. tekhnol. un-ta. 2014. № 1. Pp. 57–61.

2. Metodika opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska v zdaniyakh, sooruzheniyakh i stroeniyakh razlichnykh klassov funktsionalnoy pozharnoy opasnosti: Prikaz MChS Rossii ot 30 iyunya 2009 g. № 382 (s izm. ot 12 dek. 2011 g. i 2 dek. 2015 g.). IPS «KonsultantPlyus».

3. Koshmarov Yu.A. Prognozirovanie opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii: uchebnoe posobie. M.: Akad. GPS MVD Rossii, 2000. 118 p.

4. Subachev S.V., Subacheva A.A. Imitatsionnoe modelirovanie razvitiya i tusheniya pozharov v sisteme podgotovki spetsialistov protivopozharnoy sluzhby // Prikladnaya informatika. 2008. № 4 (16). Pp. 27–37.

5. Khrapskiy S.F. Prognozirovanie opasnykh faktorov pozhara: konspekt lektsiy. Omsk: Izd-vo OmGTU, 2012. 80 p. URL: http://studopedia.net/9_58029_ lektsiya--differentsialnie-uravneniya-pozhara.html. (accessed: 25.03.2017).

6. Mikhaylova N.A. Chislennaya realizatsiya integralnoy matematicheskoy modeli pozhara v pomeshchenii v integrirovannoy srede MATHCAD // Internet-Vestnik VolgGASU. 2014. № 11 (32). Pp. 4. URL: http://vestnik.vgasu.ru/ attachments/Mihailova.pdf. (accessed: 25.03.2017).