

# Построение спиралей фондирования в математической подготовке инженеров-энергетиков

## Construction of funding spirals in the mathematical training of power engineers

УДК 378

DOI: 10.12737/2500-3305-2024-9-4-163-172

### **Ходырева Н.Г.**

Канд. пед. наук, доцент, заведующий кафедрой Фундаментальных дисциплин филиала ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Волжском

### **Khodyreva N.G.**

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Fundamental Disciplines of the Volzhsky Branch of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute»; Volgograd region, Volzhsky

### **Устинова Л.Г.**

Канд. пед. наук, доцент, доцент кафедры Фундаментальных дисциплин филиала ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Волжском; Волгоградская область, г. Волжский

### **Ustinova L.G.**

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor; Associate Professor of the Department of Fundamental Disciplines of the Volzhsky Branch of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute»; Volgograd region, Volzhsky

### **Аннотация**

В статье рассматривается процесс фондирования содержания математической подготовки инженеров-энергетиков, его сущность, компоненты и этапы. В качестве средства реализации концепции фондирования в обучении предлагается спираль фондирования, оснащенная методическим и историческим материалом. Описывается процесс моделирования спирали фондирования, ее функции и место в учебном процессе. На примере содержательной линии «Дифференциальные уравнения» демонстрируется моделирование спирали фондирования с историко-методическим оснащением в рамках изучения курса высшей математики. Рассматриваются возможности использования построенной спирали фондирования для проектирования содержания обучения, планирования наполнения учебных тем, подбора учебных задач и заданий профессиональной направленности. Приводятся примеры прикладных задач, направленных на применение математических знаний и умений в профессиональной сфере, на развитие исследовательских компетенций студентов.

**Ключевые слова:** фондирование; спираль фондирования, математика; дифференциальное уравнение; обучение; методика преподавания.

## Abstract

The article discusses the process of funding the content of mathematical training of power engineers, its essence, components and stages. As a means of implementing the concept of funding in training, a funding spiral is proposed, equipped with methodological and historical material. The process of modeling the funding spiral, its functions and place in the educational process is described. Using the example of the content line "Differential Equations", the modeling of the funding spiral with historical and methodological equipment is demonstrated as part of the study of the course of higher mathematics. The possibilities of using the constructed funding spiral for designing the content of training, planning the content of educational topics, selecting educational tasks and tasks of professional orientation are considered. Examples of applied tasks aimed at the application of mathematical knowledge and skills in the professional sphere, the development of research competencies of students are given.

**Keywords:** funding; funding spiral, mathematics; differential equation; training; methods of training.

Одной из главных целей освоения дисциплин математического цикла в энергетическом вузе является приобретение студентами опыта реализации фундаментальных знаний в профессиональной сфере. Компетенции, сформированные у молодого специалиста, должны включать навыки математического моделирования и экспериментального исследования в области энергетики, умения формулировать проблемы, устанавливать связи между исследуемым объектом и производственным процессом, анализировать данные, проводить расчеты, делать выводы. Вследствие этого проектирование содержания математической подготовки инженеров-энергетиков должно быть ориентировано на усиление профессиональной направленности процесса обучения математике.

Создание условий для повышения качества фундаментальной и прикладной математической подготовки будущих специалистов возможно посредством использования концепции фундирования знаний и опыта личности обучающегося. Концепция была разработана в Ярославском государственном педагогическом университете Е.И. Смирновым, Р.М. Зайниевым, В.В. Афанасьевым и другими учеными под руководством профессора В.Д. Шадрикова [4]. Ее реализация направлена на согласование и оптимизацию взаимодействия фундаментального и профессионального компонентов в вузовской подготовке специалистов.

Согласно определению Р.М. Зайниевой, **фундирование** – «это процесс создания условий для актуализации базовых учебных элементов школьной и вузовской математики с последующим теоретическим обобщением структурных единиц, раскрывающим их сущность, целостность и трансдисциплинарные связи в направлении профессиональных знаний и формирования личности специалиста» [2, с. 145]. Отличительной особенностью концепции фундирования от традиционного построения содержания образования является определение профессионально-ориентированной теоретической базы, на основе которой моделируются и реализуются вузовские дидактические модули, расширяющие и углубляющие, в свою очередь, школьные учебные элементы.

Применительно к процессу обучения математике студентов энергетического вуза использование концепции фундирования создает условия для поэтапного расширения и углубления школьных предметных знаний, формирования на их основе целостной системы научных знаний и практических умений с их последующим преобразованием и применением в профессиональной деятельности. Фундирование, как механизм формирования познавательной и профессиональной компоненты будущей деятельности, направлено также на формирование мотивационной и эмоциональной сферы студентов, развитие рефлексии и саморегуляции, на адаптацию к профессии.

Концепция фундирования математических элементов (знаний, умений, навыков, методов, алгоритмов, приемов учебной деятельности) предполагает реализацию в проектировании процесса математической подготовки инженеров-энергетиков следующих компонентов:

- определение содержания и уровней базового школьного учебного элемента, подлежащего обобщению;
- определение содержания и механизмов реализации уровней (фундаментального, технологического и профессионального) развертывания вузовского учебного элемента;
- определение и реализация технологий фундирования (диагностическое целеполагание, управление познавательной и творческой деятельностью студентов, формирование профессиональной мотивации в освоении предметных знаний и умений);
- соблюдение методической адекватности базовых школьных и вузовских учебных элементов на основе современных методологических концепций [5, с. 138].

Фундирование содержания математической подготовки инженеров-энергетиков является поэтапным процессом, направленным на актуализацию и обобщение школьных знаний в направлении формирования целостной системы научных и методических знаний и профессионализации. На первом фундаментальном этапе происходит расширение и углубление школьных знаний, формирование теоретической и практической составляющей математического образования будущего инженера. На втором, технологическом этапе, осуществляется практическая реализация приобретенных знаний и умений, их включение в структуру профессиональной деятельности. Третий, профессиональный этап, направлен на совершенствование и углубление практических умений, развитие исследовательских компетенций студентов в профессиональной сфере [5, с. 137].

Средством реализации концепции фундирования в учебном процессе вуза является спираль фундирования. Это способ планирования и организации учебного процесса, построенный на установлении преемственности знаний, опыта и качеств личности обучающихся, с целью их развития от школьных характеристик до профессиональных компетенций будущего инженера-энергетика.

Моделирование спирали фундирования базового учебного элемента школьной математики применительно к инженерному образованию включает в себя следующие направления:

- определение содержания дисциплины «Высшая математика», исходя из целей и задач инженерного образования: отбор тематического содержания, структуры, этапов изучения, интегративных знаний, практических компонентов и т.п.;
- актуализация научных знаний, алгоритмов, математических методов, процедур, используемых в профессиональных дисциплинах, включение прикладных задач в дидактические модули, проектирование единого подхода к определениям, обозначениям, чертежам;
- установление преемственности содержательных линий школьной математики и дидактических блоков вузовского обучения, интеграция содержания, приемов и методов освоения школьного, научного и профессионального знания, усиление прикладного и деятельностного компонентов обучения математике.

Реализация спиралей фундирования в процессе обучения высшей математике предполагает постепенное развертывание во времени содержания дидактических модулей, начиная с первого семестра, где происходит актуализация школьного предметного опыта, с последующим теоретическим обобщением на следующих этапах освоения дисциплины, а затем с практическим расширением в профессиональных дисциплинах на старших курсах для решения прикладных задач. Основной принцип фундирования – спиралевидное приобретение знаний.

Важным моментом является проектирование методического оснащения спиралей фундирования, которое должно включать формы и способы организации учебной деятельности, активизирующие самостоятельную поисковую деятельность студентов и повышающие интерес к учению, а также контрольно-коррекционные механизмы. Использование спиралей фундирования должно сопровождается также стимулированием эмоциональной и мотивационной сферы обучаемых, что достигается посредством использования системы прикладных и профессионально-ориентированных задач, а также включением в каждое звено спирали исторического аспекта формирования понятий.

Вопросы историко-методической оснащённости спирали фундирования были рассмотрены в работе А.И. Шабалиной, которая параллельно с содержательной составляющей рассматривает также историческую и методическую основы. С точки зрения автора оснащённая спираль фундирования – это «концепция фундирования математических элементов, оснащённая историко-методическим блоком, которая способствует формированию у обучаемых профессиональных умений и мотивации на профессию» [7, с. 129]. Историко-методическое оснащение включает элементы историзма и генезиса учебных элементов; отбор базовых и интегративных учебных элементов, анализ их структуры; установление соответствия знаковых систем; выбор методов решения задач с упором на вариативность; формирование культуры мышления и речи; развитие личностных качеств в направлении профессионализации.

Рассмотрим пример построения спирали фундирования содержательной линии «Дифференциальные уравнения» с историко-методическим оснащением в рамках изучения курса высшей математики при подготовке инженеров-энергетиков (рис. 1).

Теория дифференциальных уравнений является одним из самых больших разделов современной математики. Ее важнейшая особенность – широкое применение в смежных дисциплинах: физике, химии, технике, экономике и т.д. Построенная математическая модель реального явления в виде дифференциального уравнения вместе с краевыми условиями дает возможность изучать это явление, прогнозировать его развитие, делать количественные оценки изменений, происходящих с течением времени, оказывать управляющее воздействие.

Дифференциальные уравнения делятся на два обширных класса: обыкновенные дифференциальные уравнения и дифференциальные уравнения в частных производных. В первом случае искомая функция зависит от одной независимой переменной, во втором – от двух и более переменных.

Теория обыкновенных дифференциальных уравнений включает в себя уравнения первого порядка, их виды и методы решения; уравнения высших порядков, допускающие понижение порядка уравнения; линейные дифференциальные уравнения высших порядков и методы их решения; системы дифференциальных уравнений. Важной задачей является нахождение решений, которые удовлетворяют начальным условиям (решение задачи Коши), установление единственности решения, определение его устойчивости. Значимыми для приложений являются исследование характера решения и нахождение методов численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений.

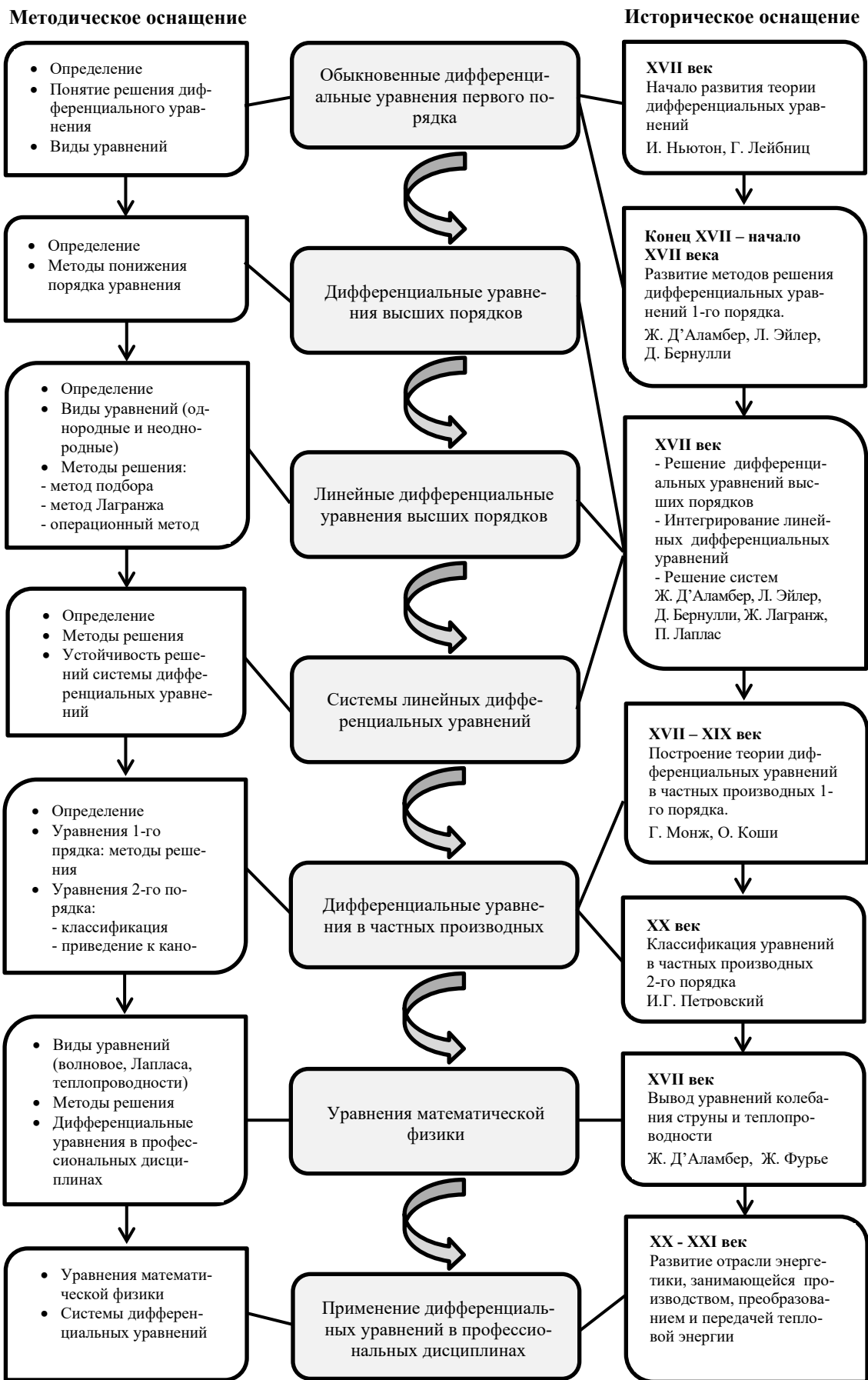
Изучение обыкновенных дифференциальных уравнений берет свое начало в XVII в. Понятие дифференциального уравнения ввел Исаак Ньютон для описания траекторий движения тел в механике. Сам термин «дифференциальное уравнение» был предложен Г. Лейбницем в 1676 г. К началу XVIII в. были найдены методы интегрирования простейших дифференциальных уравнений первого порядка. Значительный вклад в развитие способов решений дифференциальных уравнений высших порядков в первой половине XVIII в. внесли Ж.Д'Аламбер, Л. Эйлер, Д. Бернулли и другие ученые.

Теория уравнений с частными производными возникла позже, во второй половине XVIII в. на основе конкретных физических задач, приводящих к исследованию отдельных уравнений второго порядка, которые получили название уравнений математической физики. К ним относят волновое уравнение, уравнение теплопроводности и уравнение Лапласа. Изучение основных уравнений математической физики дало возможность провести классификацию дифференциальных уравнений второго порядка с частными производными, разработать методы приведения этих уравнений к каноническому виду.

В настоящее время развивается теория усреднения дифференциальных операторов, изучается поведение решений эволюционных уравнений, для систем обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений с частными производными подробно изучаются аттракторы (предельные режимы).

Важнейшей частью методического оснащения данной спирали фундаментирования является блок, раскрывающий применение дифференциальных уравнений в профессиональных дисциплинах направления Теплоэнергетика и теплотехника. Специфика применения дифференциальных уравнений зависит от целей и задач дисциплины и ее характера: теоретического или прикладного.

## Дифференциальные уравнения



**Рис. 1.** Спираль фундаментирования содержательной линии дифференциальных уравнений с историко-методическим оснащением

Так, например, в фундаментальной для данного направления дисциплине «Тепломассообмен» стационарные процессы переноса теплоты в твердых телах рассматриваются через решение стационарного уравнения теплопроводности для стержня длиной  $l$  с помощью системы алгебраических конечно-разностных уравнений. Процессы нестационарной теплопроводности описываются уравнением в частных производных, которое интегрируется методом разделения переменных Фурье.

В дисциплинах прикладного характера выполнение тепловых расчетов паровых котлов осуществляется с помощью систем дифференциальных уравнений, для решения которых используется метод конечных приращений. Расчет преобразования энергии в турбинной ступени выполняется с помощью дифференциальных уравнений в частных производных, решаемых с помощью интегрирования.

Построенная таким образом спираль фундирования включает в себя методическую и историческую составляющие и является основой для разработки содержательной линии «Дифференциальные уравнения» в рамках дисциплины «Высшая математика». Данная содержательная линия разбивается на два логически целостных модуля: «Обыкновенные дифференциальные уравнения» и «Дифференциальные уравнения в частных производных».

Изучаемые темы внутри каждого модуля укрупненно имеют следующую структуру: краткая историческая справка, теоретический материал, учебные задачи и задания профессиональной направленности, связанные с теплоэнергетикой и использующие определенные методы решения дифференциальных уравнений. При этом прикладные задачи подбираются таким образом, чтобы их сложность нарастала по мере развертывания учебного материала и изучения новых методов решения дифференциальных уравнений.

В качестве примера рассмотрим прикладную задачу, предлагаемую студентам в заключение изучения раздела первого модуля «Обыкновенные дифференциальные уравнения первого порядка».

*Задача.* Известно, что скорость охлаждения тела в воздухе пропорциональна разности между температурой тела и температурой воздуха. Найти зависимость температуры тела  $T$  от времени  $t$ , если за 10 мин. температура тела снизилась от  $100^\circ$  до  $60^\circ$ , а температура воздуха была постоянной и равнялась  $20^\circ$ .

*Решение.* Скорость охлаждения тела температуры  $T$  есть производная  $\frac{dT}{dt}$ , где  $T$  и  $t$  (согласно условию задачи) связаны равенством

$$\frac{dT}{dt} = k(T - 20), \text{ или } \frac{dT}{T - 20} = k dt.$$

Последнее уравнение является обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка с разделенными переменными. Проинтегрировав обе части равенства, получим

$$\ln|T - 20| = kt + \ln C;$$

$$T = 20 + Ce^{kt}.$$

Полученное равенство является общим решением дифференциального уравнения. Найдем значение  $C$ , отвечающее начальным условиям. Подставляя в общее решение  $t = 0$  и  $T = 100^\circ$ , получим:

$$100 = 20 + Ce^0, \text{ то есть } C = 80^\circ.$$

Следовательно, искомая зависимость определяется частным решением  $T = 20 + 80e^{kt}$ . Коэффициент пропорциональности  $k$  находим из условия: при  $t = 10$  мин. температура стала равной  $60^\circ$ , т.е.

$$60 = 20 + 80e^{10k} \text{ или } e^{10k} = \frac{1}{2},$$

откуда

$$10k = \ln \frac{1}{2} = -\ln 2 \text{ и } k = -0,1 \ln 2 \approx -0,07.$$

Таким образом, температура тела в данной задаче зависит от времени и изменяется по закону

$$T = 20 + 80e^{-0,1t \ln 2} \approx 20 + 80e^{-0,07t}.$$

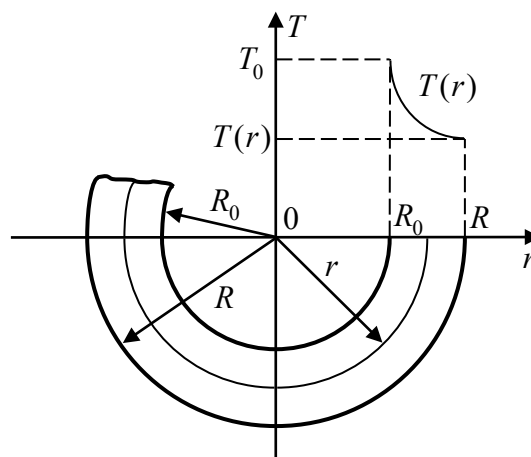
*Ответ:*  $T \approx 20 + 80e^{-0,07t}$ .

Рассмотренная задача является несложной, как в плане составления уравнения, так и по способу решения, что очень важно на первом этапе изучения дифференциальных уравнений. Тем не менее задача демонстрирует значимость данной темы для развития профессиональных умений, повышая интерес и усиливая мотивацию. При выполнении подобных заданий необходимо обучать студентов навыкам математического моделирования, акцентируя внимание на этапы этого процесса: постановку задачи, выбор и обоснование метода решения, проверку адекватности модели, ее практическое использование и анализ результатов.

Решение такого рода задач с последовательным их усложнением проходит сквозной линией при изучении всех тем раздела «Дифференциальные уравнения». При этом достигаются как обучающие цели – углубление базовых математических знаний, так и развивающие – формирование умений применять полученные знания в профессиональной деятельности.

Итогом изучения содержательной линии «Дифференциальные уравнения» должно послужить творческое задание, требующее от студентов построения и исследования математической модели реального теплового процесса.

Например, рассматривается металлический трубопровод тепловой магистрали, покрытый кольцевым слоем теплоизоляции, т.е. бесконечно длинный цилиндр, имеющий внутренний радиус  $R_0$  и внешний радиус  $R$  (рис. 2) [1]. Внутри цилиндра поддерживается температура  $T_0$ , а на внешней поверхности цилиндра контактирует с внешней средой, имеющей постоянную температуру  $T_c$ . Интенсивность теплообмена характеризует постоянный коэффициент  $\alpha$ .



**Рис. 2.** Металлический трубопровод тепловой магистрали

Базовой задачей является построение распределения температуры  $T(r)$ , меняющейся вдоль отсчитываемой от оси цилиндра радиальной координаты  $r$ , где  $r \in [R_0; R]$  (рис. 2). Нахождение этого распределения важно, во-первых, для оценки количества теплоты, уходящего в окружающую среду, во-вторых, для суждения об эффективности применяемой теплоизоляции, в-третьих, для выбора внешнего радиуса  $R$ , обеспечивающего допустимые теплотери.



Рассматривая процесс распространения теплового потока вдоль радиуса  $r$ , и используя закон Фурье и закон сохранения энергии, в процессе решения задачи приходят к обыкновенному дифференциальному уравнению второго порядка с переменными коэффициентами:

$$\frac{d^2T}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dT}{dr} = 0,$$

которое определяет функцию распределения температуры  $T(r, C_1, C_2)$ , зависящую от двух произвольных констант  $C_1$  и  $C_2$ . Конкретное частное решение задачи определяется, исходя из заданных краевых условий: температуры на внутренней поверхности слоя радиуса  $R_0$  и температуры на внешней стенке.

Выполнение подобного задания создает возможности для развития умений студентов анализировать реальный объект, выделять его наиболее существенные свойства, определять переменные и описывать зависимость основных свойств объекта от допустимых значений переменных с помощью дифференциальных уравнений, устанавливать внешние связи объекта с помощью ограничений.

Подводя итог, можно отметить следующее. Реализация концепции фундирования математических знаний студентов-энергетиков направлена на поэтапное формирование целостной системы научных знаний и практических умений с их последующим преобразованием и применением в профессиональной деятельности. Достижение этой цели возможно посредством построения оснащенной спирали фундирования, которая включает в себя методическую и историческую составляющие. Внедрение оснащенной спирали фундирования в процесс изучения высшей математики предполагает подбор заданий профессиональной направленности, выполнение которых способствует формированию у студентов навыков моделирования инженерных объектов и процессов, накопление опыта по применению математических знаний за пределами высшей математики.

В дальнейшем исследование проблем построения и реализации спиралей фундирования в процессе изучения высшей математики в энергетическом вузе планируется в двух направлениях. Первое направление включает в себя совершенствование методов, средств и технологий обучения с ориентацией на реализацию концепции фундирования в учебном процессе. Второе направление связано с усилением взаимосвязей вузовского учебного материала со школьным курсом математики, построение единых содержательных линий, обеспечивающих преемственность школьных учебных элементов и вузовских дидактических модулей.

## Литература

1. Агафонов С.А. Дифференциальные уравнения: Учеб. для вузов / С.А. Агафонов, А.Д. Герман, Т.В. Муратова; Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 352 с.
2. Зайниев Р.М. Реализация концепции фундирования в математической подготовке будущих специалистов [Текст] / Р.М. Зайниев, Е.И. Смирнов // Ярославский педагогический вестник. – 2010. – № 2. – С. 144-151.
3. Лунгу К.Н. Фундирование опыта личности как основа профессионально-прикладной направленности обучения студентов технических вузов [Текст] / К.Н. Лунгу // Ярославский педагогический вестник. – 2009. – №4 (61). – С.120-124.
4. Подготовка учителя математики: Инновационные подходы: Учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальности 032100 «Математика» [Текст] / В.В. Афанасьев [и др.]; Под ред. В.Д. Шадрикова. – М.: Гардарики, 2002. – 383 с.
5. Смирнов Е.И. Фундирование в определении содержания математического образования будущего учителя [Текст] / Е.И. Смирнов, В.Н. Белкина,

- А.С. Тихомиров, Т.Л. Трошина // Ярославский педагогический вестник. – 2013. – №3. – Том II. – С.134-140.
6. Цветков Ф.Ф. Тепломассообмен: учеб. пособие для вузов [Текст] / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 550 с.
  7. Шабалина А.И. Основные характеристики оснащенных спиралей фундирования математико-методических умений будущего учителя математики [Текст] / А.И. Шабалина // Ярославский педагогический вестник. – 2010. – №4. – Том II. – С.123-129.