

ской научно-технической конференции для молодых ученых и студентов с международным участием (Пенза, 14-15 марта 2019 г.). Пенза: Издательство Пензенского государственного аграрного университета, 2019. С. 196-199.

5. Бевз Д.А., Дуганова Е.В. Стенд для диагностики стояночной тормозной системы // Будущее науки-2019: материалы 7-й Международной молодежной научной конференции (Курск, 25-26 апреля 2019 г.). Курск: Издательство Юго-Западный государственный университет, 2019. С. 15-18.

6. Захаров Ю.А., Шарагин А.Е. Обоснование актуальности работ по восстановлению макрогеометрии тормозных дисков автомобилей // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 1. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/01/46165> (дата обращения: 28.08.2021).

7. Фрикционная смесь и ее влияние на характеристики колодок // Информационный портал «авто компоненты». 2017. URL: <https://a-kt.ru/articles/frikcionnaya-smes-i-ee-vliyanie-na-kharakteristiki-kolodok> (дата обращения: 28.08.2021).

Физико-математические науки

УТОЧНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФОРМЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ОДНОСЛОЙНОЙ КАТУШКИ С ТОКОМ

Карякин А.А., Карякин А.В.

*Георгиевский региональный колледж «Интеграл»,
Георгиевск, e-mail: kavo545@mail.ru*

Проведены измерения магнитного поля однослойной катушки с током с помощью длинной магнитной стрелки от буссоли. Увеличение сечения проводника и величины постоянного тока в катушке до 1600 ампер, позволило увеличить напряженность создаваемого магнитного поля, что в свою очередь привело к снижению колебаний магнитной стрелки и уменьшению искажений от внешних магнитных полей. Величина создаваемого магнитного поля в сотни раз превысила величину естественного поля Земли и позволила исследовать форму магнитного поля катушки индуктивности более точно. Исследовано магнитное поле внутри и снаружи однослойной катушки диаметром 12 см. Определен угол отклонения стрелки от оси катушки в зависимости от направления тока. Обнаружена винтовая пространственная форма силовых линий внутри и снаружи катушки.

Катушки индуктивности находят широкое практическое применение в технике и уточнение физических принципов работы позволяет разрабатывать более эффективные электрические устройства: дроссели, соленоиды, трансформаторы, электродвигатели, генераторы. Главными параметрами катушки индуктивности являются: индуктивность, сопротивление обмоток и рабочий ток. При прохождении постоянного тока по катушке она становится электромагнитом со своим собственным северным и южным полюсом, такими же как у постоянного магнита. Магнитное поле, как одна из компонент электромагнитного поля, создается неизменными во времени токами, протекающим по проводящему телу, неподвижному в пространстве по отношению к наблюдателю [1]. Линиями магнитной индукции называют кривые, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора B в этой точке [2]. Магнитная стрелка компаса ориентируется вдоль силовых линий магнитной индукции. Известно, момент сил, действу-

ющих на стрелку или контур с током, зависит от угла α между силовыми линиями и направлением стрелки.

$$M = p_m \cdot B \cdot \sin \alpha, \quad (1)$$

где p_m – магнитный момент стрелки. Исследуемая катушка представляет достаточно простую конструкцию из одинаковых витков проводника постоянного сечения и форма её магнитного поля известна давно. После обнаружения отклонений линий магнитной индукции и уточнения формы магнитных полей у прямого и плоского проводника в 2020 году [3] возникла необходимость уточнить геометрическую форму магнитного поля катушки индуктивности.

Материалы и методы исследования

Измерения проводятся, как и двести лет назад с помощью простой магнитной стрелки с несколькими условиями, повышающими точность измерений. Первое условие: «использовать при измерении точную магнитную стрелку». Обычная стрелка туристического компаса имеет длину 30 мм., и точность шкалы 5–10° недостаточную для определения отклонений линий магнитной индукции. В эксперименте используется стрелка буссоли ОБК длиной 150 мм., с точностью шкалы 0.5°, что на порядок превышает точность туристического компаса. Второе условие: «использование стрелки компаса без корпуса». При проведении измерений стрелка обязательно извлекается из корпуса буссоли, так как материал корпуса буссоли имеет свойство намагничиваться под воздействием создаваемого магнитного поля катушки, тем самым увеличивая погрешность. При измерении стрелка устанавливается на небольшой медной оси, закрепленной на немагнитном основании. Крепление стрелки на оси позволяет не только свободно поворачиваться ей в горизонтальной плоскости (плоскости горизонта) на 360°, но и отклоняться в вертикальной плоскости на угол до 10°. Третье условие: «использовать при измерении единственную магнитную стрелку». Стрелка компаса сама по себе является небольшим постоянным магнитом, поэтому использование одновременно нескольких стрелок может привести к их взаимодействию и погрешности. В каждом измерении используется только единственная магнитная стрелка.

Четвертое условие: «использовать простую катушку без сердечника из медного проводника». В качестве объекта измерения используется простейшая бескаркасная катушка, состоящая из однослойной рядовой намотки одножильным проводом. Катушка имеет круглое сечение диаметром 120 mm., и состоит из 36 витков провода диаметром 7.6 mm. Провод имеет постоянное круглое сечение 7.6x7.6 mm. и состоит из диаманитного материала. Выбор материала проводника обусловлен низкой намагничиваемостью меди. Используемый в эксперименте проводник из сплава меди не имеет магнитных примесей, ввиду того что постоянный магнит не притягивается и не удерживается. Используемый провод имеет достаточную жесткость и позволяет обойтись без удерживающего каркаса, Рис. 1. Измерения проводятся при постоянном токе, поэтому реактивное сопротивление, ЭДС самоиндукции, добротность не определяются при достижении целей исследования.

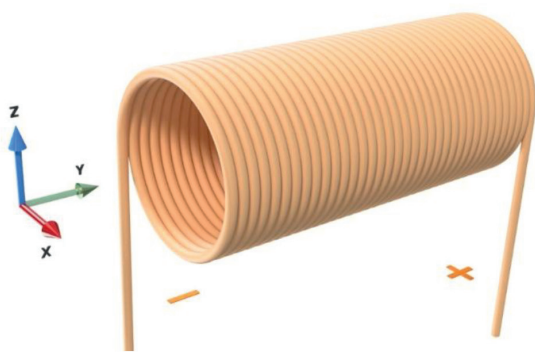


Рис. 1. Вид катушки и координатных осей. Ось катушки совпадает с направлением оси Y

Пятое условие: «использование стабильного источника постоянного тока». Постоянный ток, как разновидность однонаправленного тока не изменяется по величине и направлению. Увеличение постоянного тока в катушке до 1600 ампер, позволяет увеличить напряженность создаваемого магнитного поля, что в свою очередь снижает колебания магнитной стрелки и уменьшает влияние внешних магнитных полей. Измерения постоянного тока проводятся токоизмерительными клещами Fluke 376 с относительной погрешностью 2%. В эксперименте измерения проводятся при постоянных токах величиной 840 и 1600 ампер, что приводит к быстрому нагреву проводника. Время включения тока и измерения составляет 10 секунд. Время отключения необходимо для остывания проводника и составляет не менее 10 минут.

Источником постоянного тока являются аккумуляторные батареи напряжением

12 В емкостью 100 А/ч. Увеличение тока происходит за счет подключения параллельно дополнительного аккумулятора. Использование аккумуляторных батарей предпочтительнее использования силового выпрямителя переменного тока, ввиду отсутствия пульсаций, которые могут приводить к дополнительной погрешности. Шестое условие: «разместить на расстоянии любые локальные источники магнитных полей». В исследовании учитывается принцип суперпозиции (наложения) магнитных полей [5]. При проведении измерений катушка размещается на расстоянии не менее 1 метра от любых предметов, содержащих ферромагнитные элементы: мебель с металлической фурнитурой, инструменты, электронные приборы, железные опилки, аккумуляторы, армированный бетон. Размещение на достаточном удаленном расстоянии источников вторичных магнитных полей, являющихся «паразитными» для эксперимента, позволяет пренебречь их влиянием на результирующее поле и на стрелку компаса.

Седьмое условие: «уменьшить влияние магнитного поля Земли». Магнитное поле Земли имеет величину порядка 40–60 мкГн на поверхности, и достаточно для изменения направления магнитной стрелки компаса. Для исключения погрешности вызванной магнитным полем Земли катушка перед измерением специально поворачивается в горизонтальной плоскости. При включении тока в катушке магнитная стрелка поворачивается в направлении север-юг, соответственно момент поля Земли, определяемый по формуле (1) будет минимален, $\sin \alpha \rightarrow 0$. Соответственно рассчитывать и находить магнитный момент стрелки не требуется.

Погрешность стрелки выражается в разной длине концов, либо неправильной балансировке. Погрешность стрелки можно не учитывать, если половина измерений проводится с одной намагничиваемостью, а затем с помощью сильного постоянного магнита полюса стрелки перемещаются и измерения проводятся повторно. Величина погрешности измерений двойным приемом не превышает 0.5°. Окружающая температура воздуха при проведении измерений составляет 21 °С. Направлением тока принимается движение заряженных частиц от «+» к «-» [6]. За направление вектора магнитной индукции принимается направление, которое указывает северный полюс вращающейся магнитной стрелки буссоли. Экспериментом предусматривается проверка основных утверждений, касающихся магнитного поля катушки:

- направление линии магнитной индукции зависит от направления тока в проводнике;
- линии магнитной индукции симметричны относительно оси катушки;
- магнитное поле внутри однородно;

- магнитное поле катушки неоднородное ввиду того, что силовые линии магнитной индукции не прямолинейны;
- линии магнитной индукции замкнуты, т.е. не имеют начала и конца;
- линии магнитной индукции внутри параллельны;
- для длинной катушки линии внутри и снаружи параллельны его оси;

В эксперименте исследуется сложная пространственная форма магнитного поля катушки с постоянным током, для определения которой, необходимо провести сотни измерений в различных точках внутри и снаружи катушки. Измерения поля разделяются на нескольких частей, в каждом из которых катушка предварительно переориентируется в пространстве для выполнения «седьмого» условия. Положение стрелки проецируется на плоскость и измеряется величина отклонения конца стрелки от направления координатных осей. Измерения включает серию измерений:

- внутри катушки на плоскость XY;
- внутри катушки на плоскость YZ;
- снаружи витков катушки на плоскость XZ;
- снаружи витков катушки на плоскость XY;
- с торца катушки на плоскость XY;
- с торца катушки на плоскость YZ;

Результаты исследования и их обсуждение

В эксперименте достигнуты высокие значения параметров магнитной индукции, энергии магнитного поля, плотности тока в проводнике, скорости движения электронов по проводнику. Полученные значения плотности тока превышают допустимые значения для нормальной работы проводника продолжительное время без принудительного охлаждения проводника. Для измерений применяется кратковременный режим работы катушки с током, достаточный для устойчивой фиксации положения стрелки компаса.

Обнаружено, что внутри катушки в плоскости XY стрелка буссоли и соответственно линии магнитной индукции направлены вдоль оси только в центре катушки, Рис. 2. При перемещении стрелки от центра к виткам катушки наблюдается отклонения, тем большие, чем ближе к виткам. При измерении выявлено, что положение стрелки в центре катушки неустойчиво и наблюдаются боковые отклонения оси стрелки к виткам катушки. Стрелка, закрепленная на гибком основании, отклоняется из-за большей напряженности магнитного поля вблизи витков катушки, чем в центре. Густота линий магнитной индукции тем чаще, чем ближе к проводнику. Внутри катушки в области оси расположена область с наименьшим модулем магнитной индукции. При смещении от оси к виткам проводника магнитная индукция увеличивается, достигая максимального уровня на внутренней стороне в середине витков катушки.

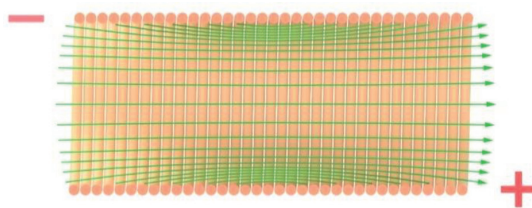


Рис. 2. Линии магнитной индукции внутри катушки в проекции на плоскость XY

Поворот катушки вокруг оси на 90° и дальнейшие измерения направлений линий подтверждает симметричность линий магнитной индукции относительно оси катушки. При изменении направления тока в катушке направление линий изменяется на противоположное. Внутренние линии магнитной индукции при проекции на плоскость XY имеют форму гиперболы и симметричны относительно оси катушки.

Обнаружено, что стрелка, размещенная внутри катушки, имеет уклон 4 мм в плоскости YZ. Величина уклона постоянна и составляет 3° . Линии магнитной индукции за ближайшей боковой стороной имеют уклон вниз. Линии магнитной индукции у дальней стороны катушки имеют уклон вверх.

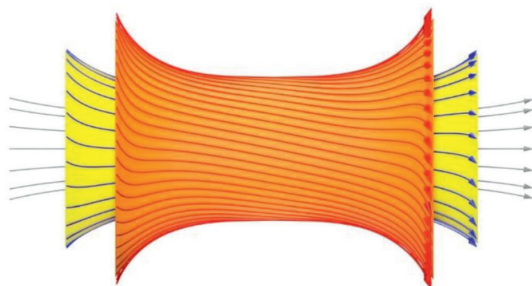


Рис. 3. Пространственная форма внутренних линий

Пространственная форма внутренних линий представляет собой винтовые линии по образующей поверхности второго порядка [7]. Наименьший ход имеют линии магнитной индукции катушки, расположенные близко к виткам проводника и имеющие максимальное отклонение. При приближении к центру катушки отклонение линий уменьшается, соответственно ход линий увеличивается. Установлено, что внутренние линии магнитной индукции катушки с током – это винтовые линии, имеющие «правое» направление, Рис. 3.

С внешней стороны катушки наблюдается постоянное отклонение внешней линии по всей длине, Рис. 4. Длина катушки, состоящей из 36 витков провода диаметром 7.6 мм, вместе с зазорами составляет 278 мм. Отклонения измеряются при вертикальном размещении

оси стрелки над катушкой на близком расстоянии, чтобы вращение стрелки осуществлялось в параллельной плоскости XY. Величина отклонения конца стрелки от оси Y постоянная и составляет 19 мм. или угол 14° . Угол рассчитывается с использованием обратной тригонометрической функции арксинуса [8]. Общее смещение магнитной линии на всей длине исследуемой катушки в плоскости XY составляет 70 мм.

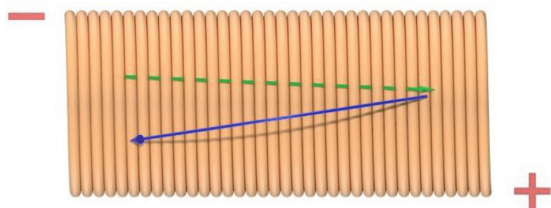


Рис. 4. Линия магнитной индукции внутри катушки за ближайшими витками отмечена зеленым прерывистым цветом. Линия магнитной индукции снаружи витков катушки отмечена синим цветом

Отдельный виток магнитной линии катушки, представляет собой совокупность внутренней и внешней линии. Обнаружено значительное расхождение начала и конца отдельного витка, проходящего через внутреннюю и внешнюю части катушки. Выявлено, что линии магнитной индукции отдельного витка не замкнуты и не параллельны друг другу или оси катушки. Обнаружено, что направление вращения внутренней линии совпадает с направлением намотки витков. Направление вращения наружной линии противоположно направлению витков. Наклон внешней линии совпадает с наклоном витков проводника в плоскости YZ. Наклон линий может быть вызван шагом витков проводника при намотке. Угол наклона отдельного витка катушки в плоскости YZ составляет 1.84° . Измеренный угол отклонения стрелки составляет 14° . Очевидно, что отклонение стрелки превышает угол наклона витка и вызвано другой причиной.

Магнитные линии – винтовые линии обвивают снаружи катушку, только в противоположном направлении намотки витков и большим ходом. Обнаружено, что при измерении снаружи витков катушки в плоскости XY линии магнитной индукции симметричны относительно оси катушки и разнонаправлены в плоскости XZ, Рис. 5.

Установлено, что при разной величине тока от 840 до 1600 ампер отклонение стрелки постоянно. Таким образом увеличение величины тока в два раза не приводит к изменению величины отклонения. Подтверждено, что направление линий зависит от направления тока в проводнике.

Обнаружена симметричная форма линий магнитной индукции исходящих из торца ка-

тушки при измерении в плоскости XY относительно оси катушки. С торцов катушки линии форма линий одинакова, но направление линий противоположное.

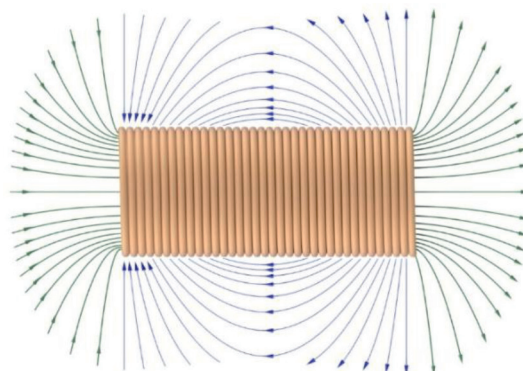


Рис. 5. Линии магнитной индукции катушки в проекции на плоскость XY

При измерении в плоскости XZ обнаружено смещение линий магнитной индукции относительно оси катушки, Рис. 6. Для серии измерений катушка и ось стрелки компаса предварительно ориентируется осями вверх. Стрелка свободно вращается в горизонтальной плоскости над катушкой при отсутствии тока. Обнаружено, что при включении тока направление стрелки и линия оси катушки не пересекаются. Длинная стрелка буссоли, размещенная на расстоянии 20 см от оси катушки с любого торца, указывает на постоянное смещение влево на 4 мм или угол 3° . На большем расстоянии величина смещения стрелки уменьшается. Визуализация направлений стрелки приводит к пространственной винтовой форме линий магнитного поля вблизи торцов катушки.

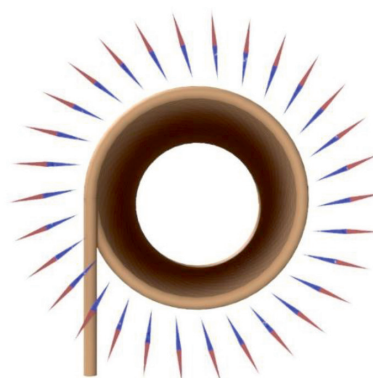


Рис. 6. Отклонение стрелки относительно оси катушки в плоскости XZ

На основании множества измерений отдельных отклонений стрелки в плоскостях XY и YZ

катушки, выстраивается сложная форма магнитного поля в виде закручивающейся структуры похожей на воронку. Вблизи оси магнитные линии параллельны линии оси катушки. При приближении к краям закручивание линий увеличивается. Вблизи витков проводника напряженность магнитного поля и отклонения линии магнитного поля достигают максимума. Форма поверхности винтовых линий, выходящих из торцов – это однополостной гиперболоид вращения с осью, совпадающей с осью катушки. Установлено, что исходящие из торцов катушки линии магнитной индукции – это винтовые линии, имеющие «правое» направление и переменный ход.

Пространственная форма отдельной наружной линии представляет собой винтовую линию по образующей поверхности второго порядка, Рис. 7. Форма поверхности в виде эллипсоида получается вращением эллипса вокруг одной из его осей, совпадающей с осью катушки. Поверхность эллипсоида составляет множество точек с одинаковой напряженностью. Для множества линий магнитного поля катушки с током существует множество соответствующих образующих поверхностей. Все линии магнитной индукции, проходящие по образующей поверхности эллипсоида симметричны относительно оси эллипсоида. Наименьший ход имеют наружные линии магнитной индукции катушки, расположенные близко к виткам проводника и имеющие максимальное отклонение. При увеличении расстояния от линии до витков катушки отклонение линий уменьшается, соответственно ход линий увеличивается. Установлено, что внешние линии магнитной индукции катушки с током – это винтовые линии, имеющие «левое» направление и переменный ход.

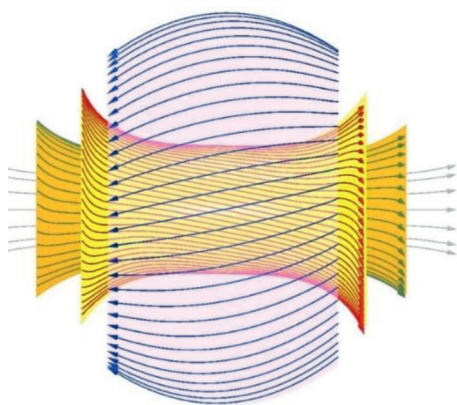


Рис. 7. Пространственная форма внешних и внутренних линий по поверхностям второго порядка

Длина исследуемой катушки позволяет определить только смещение наружных линий магнитной индукции на 70 мм или 14°. Расчет-

ная длина катушки при которой линии опишут полный оборот вокруг витков катушки составляет 150 см. Теоретически при кратном увеличении длины катушки возможно существование наружных линий магнитной индукции, огибающих катушку несколько раз.

Выводы

С помощью длинной и более точной магнитной стрелки от буссоли и условий, уменьшающих погрешность измерений, проведены пространственные измерения магнитного поля катушки с током. Обнаружена область слабой напряженности по оси катушки и максимальной напряженности в середине витков с внутренней стороны. Обнаружен внутри катушки уклон стрелки вниз на 3°. Снаружи катушки уклон стрелки буссоли достигает 14°. Обнаруженные отклонения стрелки превышают угол намотки проводника. Отклонения стрелки одинаковы при токах 840 и 1600 ампер. Обнаружены смещения стрелки на торцах катушки на 3°.

Установлены две группы линий магнитной индукции катушки отличающиеся пространственной геометрической формой. Внешние линии магнитной индукции катушки с током имеют форму винтовых линий по поверхности вращения эллипсоида с «левым» направлением и переменным ходом. Внутренние и исходящие из торцов катушки линии магнитной индукции имеют форму винтовых линий по поверхности вращения однополостного гиперболоида с «правым» направлением и переменным ходом.

Экспериментом подтверждаются следующие утверждения, касающихся магнитного поля катушки:

- направление линии магнитной индукции зависит от направления тока в проводнике;
- линии магнитной индукции симметричны относительно оси катушки;
- магнитное поле катушки неоднородное ввиду того, что силовые линии магнитной индукции не прямолинейны;

Экспериментом не подтверждаются следующие утверждения, касающихся магнитного поля катушки:

- магнитное поле внутри однородно;
- линии магнитной индукции замкнуты, т.е. не имеют начала и конца;
- линии магнитной индукции внутри параллельны;
- для длинной катушки поле внутри и снаружи параллельны его оси;

Эксперимент уточнил пространственную форму магнитного поля у простой по конструкции катушки с током. Обнаружение винтовых форм линий магнитной индукции представляется важным и требует дальнейших исследований.

Список литературы

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле, Высшая школа, Москва, 1988. С. 263.

2. Тамм И.Е. Основы теории электричества, Учебное пособие для вузов. М.: ФИЗМАЛИТ, 2003. С. 613.

3. Материалы Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум 2020», Евроазиатская научно-промышленная палата, Москва, 2020. Том V. С. 122.

4. Яворский Б.М., Селезнев Ю.А. Физика, Справочное руководство: Для поступающих в вузы. М.: ФИЗМАЛИТ, 2004. С. 592.

5. Трофимова Т.И. Справочник по физике для студентов и абитуриентов. М.: Издательство АСТ, 2001. С. 399.

6. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики, Электричество и магнетизм. Т. 2. М.: ФИЗМАЛИТ, 2019. С. 488.

7. Лазарев С.И., Очиев Э.Н., Абоносимов О.А. Начертательная геометрия для первокурсника. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. С. 68.

8. Ганеева А.Р. Тригонометрия, Курс лекций. Елабуга: Изд-во Елабужский институт, 2014. С. 55.

Филологические науки

КОМПАРАТИВНЫЕ ОБОРОТЫ С ПРЕДЛОГОМ В ПРОТИВОПОЛОЖНОСТЬ НА ЗАНЯТИЯХ ПО РКИ

Маслова А.В., Зетба Н.Р.

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж,
e-mail: antonina.maslova@gmail.com

В статье на материале художественных произведений русских писателей XIX-XXI веков рассматривается употребление предложно-падежных сочетаний с производным компаративным предлогом *в противоположность* на занятиях по русскому языку как иностранному. Цель статьи показать, что компаративы, появившиеся в деловом, научном, публицистическом стилях и постепенно проникающие в тексты художественной литературы, могут служить достаточной тренировочной базой для овладения иностранными обучающимися семантики производных компаративных предлогов. В статье анализируются семантические особенности предложно-падежных сочетаний с производным компаративным предлогом *в противоположность* в художественных произведениях XIX-XXI веков.

В настоящее время мы наблюдаем формирование многокультурной образовательной системы. Она предполагает особое внимание к изучению языка образовательного процесса. Поэтому высшим учебным заведениям, в которых обучаются иностранные граждане, необходимо разрабатывать различные методики изучения русского языка как неродного и русского языка как иностранного [2, с. 157]. В программах этих курсов предлогам обычно не уделяется достаточного внимания, так как считается, что предлоги – это служебная часть речи, которая нераздельно связана с изучением знаменательных частей речи и учащиеся осваивают значение предлогов в составе предложных сочетаний. Однако при таком подходе навык дифференцирования и использования предлогов в различных видах речи плохо формируется. В связи с этим учащиеся сталкиваются с тем, что они с трудом отличают предлог от схожего префикса, не могут обоснованно выбрать предлог, опираясь на логические связи между словами, строить свою речь, используя синонимичные предлоги.

Чтобы помочь обучающимся преодолеть названные трудности в освоении системы русских

предлогов, нам думается, что целесообразно уделять определённое время на изучение темы «Предлоги».

В.А. Богородицкий писал, что предлоги – это «словечки отношений», правильный выбор которых обеспечивает правильность их употребления и смысловую точность высказывания [3, с. 104]. В Лингвистическом энциклопедическом словаре дается следующее определение: «предлог – это разряд служебных, морфологически неизменяемых слов, выражающих различные отношения между зависимыми и главными членами словосочетания и осуществляющих подчинительную синтаксическую связь внутри словосочетания и предложения» [4, с. 394].

Общеизвестно, что предлоги разнообразны, имеют разную структуру, этимологию и сочетаемость с падежными формами. Освоение обучающимися системы предлогов вызывает затруднения, а потому требуется не только анализ, но и заучивание. В данной статье мы предлагаем анализ семантики компаративных оборотов с предлогом *в противоположность*.

Отметим, что стабильные навыки и умения вырабатываются при постоянной коммуникации, чтении художественных и научных текстов, в специальных упражнениях, в которых показано многообразие предлогов и возможности их использования в речи.

В системе современного русского языка в XIX-XXI веках активно развивается стилистическая система литературного языка. В результате этого процесса ускорилось формирование образованных от предложно-падежных форм существительных, наречий и деепричастий производных предлогов.

Ученые считают, что овладение обучающимися производными компаративными предлогами – затруднительная задача [1, с. 182], для решения которой рекомендуется возвращаться к этому материалу несколько раз в процессе обучения в ходе анализа письменных работ или в процессе реализации такого вида работы, как комментированное чтение, используя контексты из русской художественной литературы XIX-XXI веков.

В данной статье мы выбрали контексты, в которых наиболее ярко проявляется семантика производного предлога *в противоположность* в составе компаративных оборотов.