УДК 004.04 DOI: http://dx.doi.org/10.21686/1818-4243-2020-3-44-55 Ю.Ю. Дюличева

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь. Россия

О применении технологии дополненной реальности в процессе обучения математике и физике

Целью работы является исследование современных подходов к применению дополненной реальности в процессе обучения математике и физике, а также разработка мобильного приложения с графическими подсказками в дополненной реальности для решения типовых задач динамики.

Материалы и методы. Проведенное исследование включало обзор современных работ в области применения дополненной реальности для изучения математики и физики, мобильных приложений под iOS для изучения математики: Geo GebraAR для изучения поверхностей второго порядка: игра MultiplicationAR для изучения в занимательной форме таблииы умножения: приложение VectorAR для изучения векторов, векторного и скалярного произведений, прямоугольной и косоугольной систем координат и приложений для изучения физики: Physics-Lab для проведения опытов в дополненной реальности при изучении соединений электрической иепи, астрофизики и электромагнетизма: Galileo для изучения теоретического материала по физике с демонстрацией в дополненной реальности гравитационной рогатки, парадоксов в механике и т. п.; приложение Arious для знакомства обучающихся с великими физиками и сделанными ими открытиями в дополненной реальности. В работе проанализированы инструменты, которые могут применять учителя при создании контента дополненной реальности такие, например, как HPReveal, web-приложение Augment и отмечена высокая личная заинтересованность учителей во внедрении технологии дополненной реальности в учебный процесс.

Результаты. В ходе работы были исследованы трудности, с которыми сталкиваются обучающиеся при изучении математики и физики; изучены возможности технологии дополненной реальности для преодоления этих трудностей; разработано мобильное приложение с возможностью получения графических подсказок при решении задач динамики, которое позволило

обучающимся, испытывающим трудности с пониманием сил и их проекций, получить устойчивый навык решения типовых задач динамики. При разработке мобильного приложения были написаны методы на основе создания объектов из базовых классов SCNNode, SCNBox, SCNPlane, SCNText, SCNGeometry, SCNGeometry Element, SCNShape, SCNMaterial библиотеки ARKit. Для проведения эксперимента была создана пилотная группа из 14 обучающихся, 9 из которых испытывали трудности при решении задач динамики. Результаты эксперимента продемонстрировали положительное отношение обучающихся к применению технологии дополненной реальности и 7 обучающихся из 9, испытывающих трудности, получили навык решения типовых задач динамики.

Заключение. По результатам проведенного исследования можно сделать вывод об эффективности применения приложений дополненной реальности при изучении абстрактных концепций в математики и физике. Разработанное мобильное приложение с графическими подсказками в режиме дополненной реальности позволило улучшить показатели успеваемости обучающихся в пилотной группе. Важную роль при внедрении АR-технологии в учебный процесс играет учитель, который помогает поддерживать заинтересованность обучающегося на протяжении всего занятия. К недостаткам приложений дополненной реальности можно отнести их узкую направленность на изучение определенного процесса, явления или понятия.

Полученные результаты могут быть применены в учебном процессе для проведения занятий по математике и физике с целью увеличения мотивации и заинтересованности обучающихся.

Ключевые слова: дополненная реальность, ARKit, электромагнетизм, оптика, динамика, поверхности второго порядка, инновационная технология в образовании.

Yulia Yu. Dyulicheva

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

About the Usage of the Augmented Reality Technology in Mathematics and Physics Learning

The purpose of the work is the investigation of the modern approaches to augmented reality usage in mathematics and physics learning and the development of mobile application with graphical tips in the augmented reality mode for solving the dynamics typical problems. Materials and methods. The review of the modern articles on the augmented reality usage for mathematics and physics learning is provided; the iOS applications usage in mathematics learning such as GeoGebraAR for second order surfaces learning; the game MultiplicationAR for the multiplication table studying in an fascinating way; VectorAR application for vectors, cross and dot products, Cartesian and skew coordinate systems learning and iOS apps for physics learning such as Physics-Lab for conducting of the experiments with electrical circuits connections in the augmented reality, astrophysics and electromagnetism learning; Galileo application for accompanying of the theoretical material in physics with experiments to demonstrate paradoxes in mechanics, gravitational slingshot etc.;

Arious application for students' acquaintance with famous physicists and their discoveries in the augmented reality are considered. The analysis of tools for lecturers that can be used for the augmented reality content creation, such as HP Reveal and web-application Augment is performed. It should be noted the high personal interests of lecturers for the augmented reality technology implementation. Results. In the course of the work, the difficulties encountered by students in the study of mathematics and physics and possibilities of the augmented reality usage to overcome these difficulties are studied. A mobile application with the ability to receive graphical tips for solving dynamics problems that aimed at students with difficulties of forces and their projections understanding is developed. The methods for the mobile application are developed based on the basic classes of ARKit framework such as SCNNode, SCNBox, SCNPlane, SCNText, SCNGeometry, SCNGeometryElement, SCNShape, SCNMaterial etc. To conduct the experiments a pilot group of 14 random students

is created, 9 of which experienced difficulties in solving some types of dynamic problems. The results of the experiment show a positive attitude of students to use of the augmented reality. 7 of 9 students who had difficulties got the skills to solve typical dynamic problems. Conclusion. Based on results of the research, we can conclude about the effectiveness of the augmented reality usage for studying of the abstract concepts in mathematics and physics. The developed mobile application with graphical tips in the augmented reality mode has improved the students' performance in the pilot group. The lecturers play an important role in the implementation of AR-technology

in the educational process. They help to maintain the student's interest to AR-technology throughout the lesson. The disadvantages of the augmented reality applications include their narrow focus on studying of specific process, phenomenon or concept. The results of research can be applied in the educational process for mathematics and physics learning in order to increase the motivation and interest of students.

Keywords: augmented reality, ARKit, electromagnetism, optics, dynamics, second order surfaces, innovation technology in education.

Введение

По данным исследований за 2015 год в Европе наблюдались низкие достижения обучающихся в области математического образования, гендерный дисбаланс при выборе профессий, связанных с точными науками, и недостаточный интерес к дисциплинам математического профиля [1, 2]. В 2018 году в Программе международной оценки учащихся PISA отмечалось, что большинство подростков испытывают беспокойство и напряженность на уроках математики [3]. Важной особенностью при изучении математики является эмоциональная составляющая и предыдущий положительный опыт [4]. На способность к изучению математики влияет отношение обучающегося к этой дисциплине, а не когнитивные навыки [5]. Тревожность обучающихся при изучении математики и, как следствие, низкая успеваемость по математическим дисциплинам могут иметь долгосрочные последствия и сказаться на выборе будущей профессии, когда обучающиеся всячески пытаются избежать посещения занятий и поступления в ВУЗ на те специальности, которые требуют знаний в области математики [6]. Следует заметить, что тревожность часто возникает из-за эмоционального и физического непринятия учебного материала, вызванного непониманием связи между изучаемым учебным материалом и его применимостью для познания реального мира, что приводит к отсутствию мотивации у обучающихся.

Невелировать тревожность, связанную с трудностями восприятия абстракций, при изучении математики, и увеличить понимание невидимых глазу сложных физических явлений реального мира может помочь позитивный опыт и рост мотивации обучающихся, поэтому актуальной задачей исследования является поиск инновационных технологий, применимых для изучения математики и физики и направленных на погружение в атмосферу решаемой задачи и увеличение вовлеченности обучающихся в учебный процесс. Одной из таких инновационных технологий в образовании является технология дополненной реальности (AR-технология). Дополненная реальность позволяет визуализировать математические объекты в реальном окружении, развивает пространственное ние, способствует развитию реальной математики через установление связей между знакомыми, повседневными предметами в реальном окружении обучающегося и геометрическими объектами. Дополненная реальность широко применяется при изучении геометрии, однако не ограничивается простой визуализацией геометрических объектов, а создает среду для взаимодействия обучающегося с виртуальными объектами в реальном окружении. Технологию дополненной реальности, наряду с технологиями виртуальной и смешанной реальности, относят к «ключевым образовательным технологиям следующего десятилетия» [9].

Значительные трудности испытывают обучающиеся и при изучении физики, например, при решении задач, связанных с пониманием сил, действующих на тела. Проведение экспериментов часто требует наличия дорогостоящего или специфического оборудования, что затрудняет организацию демонстрационного материала на уроках физики. Кроме того, в физике изучается много невидимых глазу полей, например, электромагнитное поле. С помощью технологии дополненной реальности появляется возможность демонстрации распространения таких полей, что способствует увеличению качества воспринимаего материала. Дополненная реальность создает атмосферу погружения в решение проблемы и в среду эксперимента. Отличием технологии дополненной реальности от виртуальной реальности является то, что она изолирует обучающегося от реального мира, а расширяет его, дополняя полезным цифровым контентом [10]. Применению дополненной реальности в учебном процессе посвящены многочисленные обзоры. В работе [11] описываются возможности применения технологии дополненной реальности на уроках в школе на примере использования интерактивной раскраски в дополненной реальности Quiver для детей младшего школьного возраста; интеллектуальных игр ("Карусель отличников"); квестов ("Безопасность в большом городе") с элементами дополненной реальности и AR-симуляторов спортив-

ных игр (AR Basketball, AR Soccer). Исследованию перспектив применения технологии дополненной реальности в образовательной сфере высшей школы с выявлением позитивного отношения преподавателей Сибирского федерального университета к внедрению технологии дополненной реальности в учебном процессе, описанием проекта с дополненной реальностью "СФУ SCIENCE", а также инновационных лабораторий проектов с дополненной реальностью, которые появляются в ВУЗах Российской Федерации (лаборатория виртуальной реальности в Южном федеральном университете, VR-системы решения широкого круга прикладных задач в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, появление новых образовательных программ магистратуры для подготовки специалистов в сфере разработки приложений дополненной и виртуальной реальности в Дальневосточном федеральном университете и т.п.) посвящена статья [12]. Обзор по статьям, посвященным исследованиям примененения технологии дополненной реальности в процессе обучения физике, химии, биологии, медицине, инженерии представлен в [13]; положительные результаты применения технологии дополненной реальности в учебном процессе при изучении медицины, географии, химии, математики, физики, биологии, астрономии и истории описываются также в работе [14].

Целью работы является изучение современных достижений технологии дополненной реальности в процессе изучения математики и физики, а также разработка мобильного приложения, использующего технологию дополненной реальности в режиме вывода графических подсказок при решении задач динамики.

AR-технология при изучении математики

Широкое распространение технология дополненной реальности получила в связи с возможностью визуализировать учебный материал. Эффективность изучения геометрии влияет на качество подготовки будущих инженеров, архитекторов и невозможно без получения практических навыков.

При изучении стереометрии обучающимся часто сложно представить, что получается в сечении геометрического тела плоскостью. Технология дополненной реальности может быть использована для демонстрации таких кривых, как парабола, эллипс и гипербола, которые получаются в сечении при взаимодействии виртуальной плоскости с конусом. Для реализации такого учебного приложения были использованы шары Данделена в AR-среде, которые позволили продемонстрировать не только три главных типа конических сечений, но и такие трудно воспринимаемые обучающимися понятия, как фокус конического сечения и директриса [15]. Применение приложения SISEULER в учебном процеспозволяет обучающимся изучить теорему о выпуклых многогранниках. Используя карточки с маркерами, на которых изображено количество вершин, ребер и граней выпуклого многогранника, обучающийся в режиме дополненной реальности может увидеть выпуклый многогранник с соответствующей эйлеровой характеристикой [16]. Применение дополненной реальности позволяет обучающимся наблюдать, как изменение параметра влияет на изменение графика функции. Наблюдение за динамикой поведения функции в режиме дополненной реальности стимулирует обучающихся к выдвижению гипотез о причинах такого поведения,

постепенно переходя от геометрических представлений к алгебраическим преобразованиям [17].

Важнейшее значение для формирования первого позитивного опыта при изучении математики имеют игровые приложения на основе дополненной реальности для детей младшего школьного возраста. Такая игра, за счет наглядности, позволяет ученикам легче усваивать геометрическую терминологию, формировать геометрические представления и понимать свойства геометрических фигур и тел. Как показывают эксперименты, дети стали давать на 35% больше правильных ответов при узнавании геометрических фигур после использования игры с дополненной реальностью, чем без неё [18]. Взаимодействие с виртуальным персонажем при изучении математики в режиме дополненной реальности позволяет получить позитивный опыт за счет обратной связи и поддержки обучающегося с помощью подсказок, представленных в занимательной форме. В статье [19] описано мобильное приложения AR Math, позволяющее обучающимся устанавливать связи между предметами из окружения и геометрическими фигурами, а также их свойствами. Обучающийся может совершать виртуальные манипуляции с объектами и использовать транспортир в дополненной реальности. Приложение AR Math реализует следующие модули: 1) представление виртуальной и математической ситуации; 2) поиск конкретных предметов быта в реальном окружении и их распознавание на основе алгоритмов компьютерного зрения, 3) решение задачи обнаружения объектов и отнесения их к определенному классу; 4) интерактивное взаимодействие обучающихся виртуальным персонажем, помогающим решить математическую задачу или записать

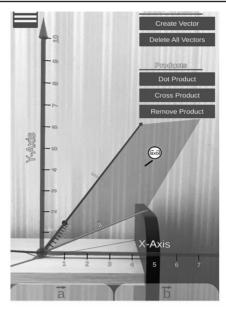
решение в виде математического выражения на основе понимания семантики (или сопоставить найденное решение одному из предложенных математических выражений). Реализация модулей AR Math основана на применении алгоритмов машинного обучения, включая, например, алгоритм k-средних для выделения кластеров объектов по цвету или форме. Наличие виртуального помошника, который вовлекает обучающихся в среду дополненной реальности с помощью «повествования» занимательной истории и постановки проблемы способствует изучению реальной математики.

Об эффективности восприятия учебного материала на основе дополненной реальности можно судить на основе эксперимента, описанного в [20]. На математической выставке были представлены экспонаты, снабженные табличками с описанием, а часть экспонатов AR-контенсопровождалась том. С помощью приложения HP Reveal были созданы интерактивные модели циклоиды, гиперболоида; представлена анимация экспоненциального роста на примере выкладывания зерен пшеницы на клетках шахматной доски и т. п. Участники эксперимента были разделены на две группы: те, кто использовал AR-контент при изучении экспонатов и те, кто не использовал. До посещения выставки участники двух экспериментальных групп ответили на вопросы анкеты типа: «Какой высоты должно быть зеркало, чтобы увидеть себя в полный рост?» и т. п. После посещения выставки участникам снова предложили ответить на вопросы этой анкеты. Результаты опроса показали, что уровень математических знаний повысился именно у той группы посетителей выставки, которые использовали AR-контент при изучении экспонатов.

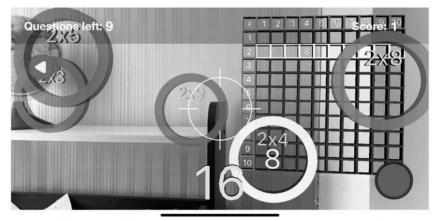
Применение тестов с элементами дополненной реаль-



Бутылка Клейна в GeoGebra AR



Построение векторного произведения двух векторов в Vector AR



Изучение таблицы умножения в приложении дополненной реальности Multiplication table AR

Рис. 1. Мобильные приложения с дополненной реальностью для изучения математики

ности позволяет повысить эффективность дистанционного обучения. В случае, когда обучающийся испытывает затруднения при подготовке к тесту или выполняет тренировочные задания, он может посмотреть подсказку в режиме дополненной реальности и убедиться. что он выполняет задания верно или увидеть, в чем ошибается. Такие тренировочные тесты с использованием QR-кода для решения однотипных задач с разбором правильных решений в режиме дополненной реальности описаны в работе [1].

Рассмотрим некоторые мобильные приложения под iOS с дополненной реальностью изучения математики, представленные на рисунке 1. Мобильное приложение GeoGebra AR позволяет исследовать поверхности второго порядка, бутылку Клейна, винтовую лестницу в реальном окружении под разным углом. причем геометрический объект пользователь может разместить в любой части комнаты. В работе [21] описана полезность «математических» для развития пространственного мышления. На основе приложения GeoGebra во время прогулки при наведении гаджета на окружающие архитектурные сооружения пользователь может видеть сопоставленные им математические объекты.

Приложение Multiplication AR позволяет детям дошкольного и младшего школьного возраста изучить таблицу умножения в игровой форме с использованием режима дополненной реальности. В реальном окружении дети видят различные примеры на умножение - мишени и прицел с готовым ответом. Необходимо выстрелить в мишень с примером, соответствующим заданному правильному ответу. Например, в мишенях расположены выражения: 2х8, 2х2, 2х6, 2х10, 2х1, а прицелу соответствует число 20. Обучающемуся необходимо попасть в мишень с примером 2х10. Приложение Vector AR предназначено для изучения прямоугольной и косоугольной систем координат, скалярного и векторного произведения векторов.

Исследование эффективности применения приложения AR Math для изучения геометрических тел и их объемов описано в [22]. Для проведения эксперимента было создано две группы обучающихся: экспериментальная группа из 32 человек, в которой использовалось приложение с дополненной реальностью, и контрольная группа из 31 человека, в которой изучение проводилось с помощью обычного видео-контента и компьютерных программ без использования AR-технологии. Для двух групп обучающихся сначала проводилось предварительное тестирование для выявления первоначального уровня знаний, а затем, после изучения учебного материала в группах, проводилось повторное тестирование с выявлением когнитивной полезности инструментов обучения. Результаты повторного тестирования продемонстрировали рост успеваемости и мотивации у обучающихся экспериментальной группы.

AR-технология при изучении физики

Обучающиеся часто испытывают существенные затруднения при решении задач физики в связи с отсутствием наглядности и трудностями в понимании сути физических явлений. Без демонстрации на примерах студентам сложно понять теоретические модели, описывающие физические явления, и действие невидимых глазу сил и полей. Проведение экспериментов является фундаментальной основой для понимания сущности физических явлений и процессов. Обучающиеся лучше учатся, когда они не только изучают теоретические концепции, но и способны применять их на практике - продемонстрировать эксперимент и объяснить его результаты. Важным преимуществом AR при изучении физики является то, что студенты видят виртуальные объекты и себя во время опытов в реальном окружении, что создает восприятие реалистичности наблюдаемых опытов.

Одним из наиболее известных приложений, создающих трехмерную виртуальную среду для проведения экспериментов в процессе изучения основных законов механики, является PhysicsPlayground. Адаптеры отслеживают характеристики объектов в режиме реального времени и демонстрируют обучающемуся разложение абсолютной скорости на составляющие, а также помогают обучающимся понять действие сил, траектории движения и характеристики различные движения. Для эффективной работы с приложением необходимо наличие дорогостоящего оборудования, включающего дисплей с креплением, панель взаимодействия обучающегося с приложением и беспроводную ручку [23].

При проведении экспериментов с линзой обучающиеся испытывают трудности с пониманием фокусного расстояния. Улучшению понимания экспериментов с линзой способствует применение приложений с дополненной реальностью на основе маркерной технологии. Для проведения экспериментов использовались три типа маркеров: маркер для свечи, маркер для выпуклой линзы и маркер для флуоресцентного экрана. При наведении гаджета на маркеры на экране устройства появляются соответствующие им 3D-модели объектов. Перемещая маркер свечи на определенное расстояние от экрана и помещая между ними маркер линзы, который дает на экране четкое изображение свечи в двух положениях линзы, обучающиеся могут наблюдать за изменением фокусного расстояния линзы [24].

Рассмотрим эксперименты в режиме дополненной реальности при изучении электромагнитных полей. В исследовании отмечаются трудности, которые испытывают обучающиеся, когда необходимо представить с помощью пространственного воображения, как магниты оказывают влияние друг на друга. Традиционным способом демонстрации силовых магнитных линий является размещение металлической стружки вокруг постоянного магнита. Недостатком такого подхода является попытка объяснения трехмерных понятий на плоскости. В среде Кіпест на основе закона Био-Савара обучающиеся могут наблюдать за построением вектора индукции магнитного поля в дополненной реальности. Применение дополненной реальности способствовало повышению интереса обучающихся, запоминанию учебного материала на более длительное время и росту мотивации обучающихся для дальнейшего активного изучения учебного материала по физике с погру-

жением в эксперимент на основе AR-технологии [26]. В работе [27] отмечается, что среди 33 опрошенных обучающихся, использовавших приложение дополненной реальности для изучения магнитного поля, не было получено ни одного отрицательного отзыва и 32 обучающихся отметили улучшение понимания явления магнетизм за счет визуализашии магнитных полей, возможности свободно перемешать виртуальные магниты в реальном окружении и наблюдать за изменением магнитного поля. В [28] демонстрируются примеры применения дополненной реальности при изучении электромагнетизма на основе: 1) моделирования катушки Гельмгольца, создающей классическую конфигурацию статических магнитных полей; 2) моделирования магнитного поля, излучаемого рупорной антенной.

Большую роль для получения практических навыков обучающихся в научных лабораториях имеет использование симуляторов различных устройств в дополненной реальности. Применение интерактивного симулятора в дополненной реальности, позволяющего обучающимся изменять направление и скорость вращения электродвигателя, дает возможность наблюдать за изменением силы магнитного поля, силы тока и анализировать значение силы Лоренца. Моделирование позволяет увидеть, как изменяется значение силы Лоренца, и улучшить понимание основных концепций за счет наблюдения за невидимыми глазу силами и полями [29].

На основе приложения AR Curcuit и маркерной технологии обучающиеся могут изучать типы соединений элементов электрической цепи; опытным путем устанавливать рабочую схему из разных элементов-маркеров, обеспечивающую протекание электри-

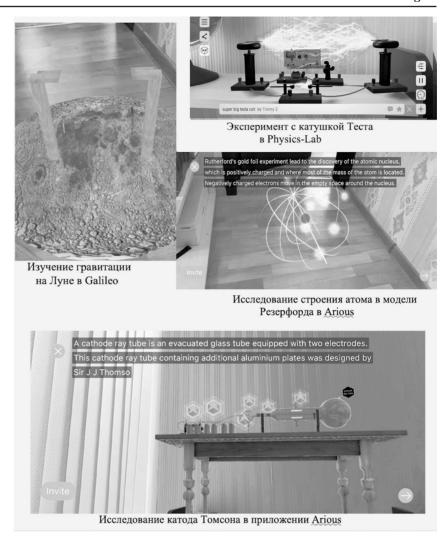


Рис.2. Мобильные приложения с дополненной реальностью для изучения физики

ческого тока, знакомиться с понятиями замкнутой и разомкнутой цепи [30, 31].

Большое значение для реалистичности восприятия экспериментов обучающимися в режиме дополненной реальности имеет использование симулятора физики объектов. На основе Microsoft Kinect v.2 был разработан симулятор для демонстрации деформаций, которые возникают при столкновениях и ударах 3D-моделей реальных объектов, сделанных из различных материалов. Обучающиеся могли наблюдать различия удара о стену водного шара, шара для боулинга и футбольного мяча [32].

Рассмотрим некоторые мобильные приложения под iOS с дополненной реальностью для изучения физики,

представленные на рисунке 2. Приложение Physics-Lab предназначено для изучения соединений электрической цепи, астрофизики и электромагнетизма. В режиме дополненной реальности обучающиеся могут наблюдать, как за готовыми экспериментами с катушкой Тесла, соленоидом, реостатом со скользящим контактом, мультиметром, зуммером, триггером Шмитта и т.п., так и проводить собственные эксперименты с построением цепи с помощью различных элементов. Обучающиеся могут посмотреть эксперименты, проведенные другими пользователями этого приложения или друзьями, обсудить результаты экспериментов в чате. С приложением Galileo обучающиеся могут в занимательной форме познакомиться с парадоксами в механике, ускорителями заряженных частиц, гравитационными волнами, гравитационной рогаткой, магнитными полями, скоростью света и маятником Фуко. Например, обучающиеся в дополненной реальности могут видеть поверхность Луны, наблюдать за падением двух тел с различной массой и делать выводы о величине ускорения. Приложение Arious позволяет не только познакомиться с изобретениями великих ученых, в частности, физиков, но и взаимодействовать с изобретенными ими устройствами и моделями. В приложении доступна модель атома Нильса Бора, открытие электрона Томсоном и открытие ядра Резерфордом. Например, в режиме дополненной реальности обучающийся может увидеть катод Томсона и, прикасаясь к маркерам, исследовать работу устройства, по принципу которого были сконструированы электронно-лучевые трубки телевизоров.

В процессе исследования обучающие отметили, что дополненная реальность интереснее, чем обучающий контент в книгах или видео-контент. Однако для полного погружения в эксперимент и создания реалистичности физических экспериментов требуется использование дополнительных дорогостоящих устройств таких, например, как Microsoft Hololens V2, что можно отнести к недостаткам некоторых приложений с дополненной реальностью [32].

Разработка мобильного ARприложения с графическими подсказками для решения типовых задач динамики

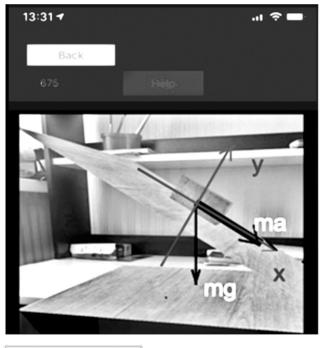
Разработаем мобильное приложение, которое в режиме дополненной реальности будет выводить подсказки для решения задач динамики. Для разработки дидактического

прототипа AR-приложения необходимо: 1) выявить учебный материал, который необходимо сопровождать AR-контентом; 2) определить необходимые ресурсы; 3) разработать дизайн дидактического прототипа; 4) выбрать пилотную группу для тестирования прототипа; 5) осуществить анализ эффективности дидактического прототипа [33].

Перед разработкой приложения была случайным образом выбрана группа из 14 обучающихся — пилотная группа. Мы провели опрос среди участников пилотной группы и выяснили, что наибольшие трудности при решении задач динамики у 9 респондентов вызывает понимание того, ка-

кие силы действуют на тело, как они направлены и как записать действие сил в проекциях на оси координат, при этом 100% обучающихся прежде не использовали приложения с дополненной реальностью в процессе обучения.

Для создания мобильного приложения с графической подсказкой в режиме дополненной реальности использована библиотека ARKit. Для реализации графической подсказки на языке Swift были написаметоды createPlaneNode, createBoxNode, createVectorNode, createTextNode на основе создания объектов базовых классов SCNNode, SCNBox, SCNPlane, SCNText, SCNGeometry,



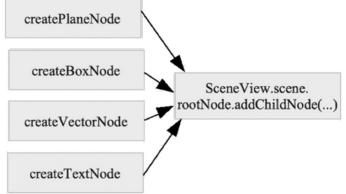


Рис.3. Мобильное приложение для решения задач динамики с графическими подсказками в режиме дополненной реальности

SCNGeometry Element, SCNShape, SCNMaterial и объконфигурации класса ARWorldTrackingConfiguration для создания AR-сессии. Все объекты графической подсказки были добавлены в сцену с помощью метода sceneView. scene.rootNode.addChildNode. где sceneView – объект класса ARSCNView. Работа приложения представлена на рисунке 3 слева, а основные методы для реализации графической подсказки — справа.

Применение приложения с графической подсказкой позволило обучающимся приобрести навык решения задач динамики определенного типа. Так, 7 из 9 обучающихся, испытывающих трудности в построении проекций сил при записи дифференциального уравнения, после применения графических подсказок в режиме дополненной реальности справились с решением задач такого же типа на модульном контроле без использования мобильного приложения. Несмотря на демонстрацию эффективности применения AR-приложения, следует отнести к недостаткам узкую направленность такого учебного приложения.

Для преподавателей существуют различные среды для добавления 3D-моделей и иного контента в дополненную реальность. Наиболее популярным является приложение HP Reveal (https://www.hpreveal.com), которое позволяет легко добавлять обучающий контент к любой задаче из учебника и не требует знания языков программирования. Достаточно записать видео с разбором решения задачи или доказа-

тельством утверждения и «наложить» ауру из этого контента на картинку из учебника. помощью аур, созданных в HP Reveal на основе видео-роликов, можно пояснить обучающимся суть эксперимента, который они должны выполнить, или визуализировать задания к лабораторным работам [34]. Еще одной удобной средой для учителей является web-приложение Augment (http://www.augment.com), помощью которого можно отобразить 3D-модель в дополненной реальности. Для этого надо добавить модель из web-приложения и поделиться с обучающимися ссылкой на автоматически созданный QR-код.

Заключение

Использование инструменновых образовательных технологий в преподавании математики и физики делает процесс обучения более интерактивным и занимательным, повышает мотивацию и достижения обучающихся в области математических дисциплин, позволяют установить между полученными математическими знаниями физическими явлениями окружающего мира. Разработка мобильного приложения с графическими подсказками на основе фреймверка ARKit, направленного на оказание помощи обучающимся при решении задач динамики определенного типа, и его применение на практических занятиях в Крымском федеральном университете имени В.И. Вернадского, позволили выработать у обучающихся навык решения задач динамики. Несмотря на

эффективность применения приложений дополненной реальности в учебном процессе, требуются дальнейшие исследования по изучению их влияния на успеваемость, а также разработка педагогических методик, направленных на дальнейшее внедрение этой технологии в учебный процесс. Важно отметить, что ключевую роль во внедрении инновационных технологий в учебный процесс и поддержании заинтересованности у обучающихся к этим технологиям играет именно учитель [35]. Исследование мнений 20 учителей с различным опытом и специализацией из Северо-Западной продемонстрировало Греции высокий уровень личной заинтересованности учителей в изучении новой технологии, но препятствиями являются такие факторы, как нехватка времени; ограничения, связанные с учебным планом; отсутствие опыта по созданию 3D-моделей и финансовые затраты, связанные с прохождением курсов для повышения квалификации в области создания элементов дополненной реальности [36].

Таким образом, дополненная реальность способна погрузить обучающегося в среду взаимодействия с геометрическими фигурами и телами или в среду реального физического эксперимента и повысить мотивацию и заинтересованность, но при этом важно понимать, что технология дополненной реальности направлена на координацию совместных усилий преподавателя и обучающегося по усвоению сложных математических абстракций в ходе проведения экспериментов.

Литература

- 1. Figueiredo M. Teaching Mathematics with Augmented Reality // 12th International conference on technology in mathematics teaching. 2015. Vol. 183.
- 2. Kuhn J., Nussbaumer A., Pirker J., Karatzas D., Pagani A., Conlan O., Memmel M., Christina M. Steiner, Gutl C., Albert D., Dengel A.

Advancing Physics Learning Through Traversing a Multi-Modal Experimentation Space // Workshop Proceedings of the 11th International Conference on Intelligent Environments. 2015. P. 373—380. DOI: 10.3233/978-1-61499-530-2-373.

3. Luttenberger S., Wimmer S., Paechter M. Spotlight on math anxiety // Psychology Research

- and Behavior Management. 2018. Vol. 11. P. 311–322. DOI: 10.2147/PRBM.S141421.
- 4. Garcia-Santillán A., Escalera-Chávez M., Moreno-Garcia E., Santana-Villegas J. Factors that Explains Student Anxiety toward Mathematics // Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education. 2015. Vol. 12(2). P. 361—372. DOI: 10.12973/eurasia.2016.1216a.
- 5. Jackson, E. Mathematics anxiety in student teachers [Электрон.pecypc] // Practitioner Research in Higher Education. 2008. Vol. 2(1). P. 36–42. Режим доступа: http://insight.cumbria.ac.uk/91/
- 6. Ashcraft M., Krause J. Working memory, math performance, and math anxiety // Psychonomic Bulletin & Review. 2007. Vol. 14 (2). P. 243–248. DOI: 10.3758/BF03194059.
- 7. Bishop A. Review of research on visualization in mathematics education // Focus on Learning Problems in Mathematics. 1989. 11 (1). P. 7–16.
- 8. Serin H., Oz Yu. Technology-integrated Mathematics Education at the Secondary School Level // International Journal of Social Sciences & Educational Studies. 2017. Vol.3. No. 4. P. 148–155. DOI: 10.5296/ijld.v7i4.12082
- 9. Becker S.A., Brown M., Dahlstrom E., Davis A., DePaul K., Diaz V., Pomerantz J. NMC Horizon Report: 2018 Higher Education Edition. EDUCAUSE: Louisville, KY, USA, 2018. ISBN: 978-1-933046-01-3.
- 10. Kounavis C.D., Kasimati A.E., Zamani E.D. Enhancing the Tourism Experience through Mobile Augmented Reality: Challenges and Prospects. Int. J. Eng. Bus. Manag. 2012. No. 4. P. 1–6. DOI: 10.5772/51644.
- 11. Григорьева Т.И., Потапов А.А., Пронина О.И. Дополненная реальность в образовании // Материалы Международной Интернет-конференции «Виртуальная реальность современного образования». VRME 2018. (8—11 октября, Москва.) 2018. С.34—39.
- 12. Набокова Л.С., Загидуллина Ф.Р. Перспективы внедрения технологий дополненной и виртуальной реальности в сферу образовательного процесса высшей школы // Профессиональное образование в современном мире. 2019. Т. 9. № 2. С. 2710—2719. DOI: 10.15372/PEMW20190208.
- 13. Sirakaya M, Sirakaya D.A. Trends in Educational Augmented Reality Studies: A Systematic Review // Malaysian Online Journal of Educational Technology. 2018. Vol. 6. Iss. 2. P. 60–74. DOI: 10.17220/mojet.2018.04.005.
- 14. Saidin N.F., Abd halim N.D., Yahaya N. A Review of Research on Augmented Reality in Education: Advantages and Applications // International Education Studies. 2015. Vol. 8(13). 8 p. DOI: 10.5539/ies.v8n13p1.
- 15. Norma Patricia Salinas Martinez, Ricardo Pulido Understanding the Conics through Augmented

- Reality // Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education. 2017. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00620a
- 16. Lemos B. M. SISEULER: Um software para apoio ao ensino da Relação de Euler. Dissertação (Mestrado Profissional em Educação Matemática) Vassouras: Universidade Severino Sombra. 2011. 147 p.
- 17. Salinas P., Gonzalez-Mendivil E. Augmented Reality and Solids of Revolution // International Journal for Interactive Design and Manufacturing. 2017. Vol. 11. P. 829–837. DOI: 10.1007/s12008-017-0390-3.
- 18. Leitao R., Joao M.F. Rodrigues, Aderito Fernandes Marques Mobile Learning: Benefits of Augmented Reality in Geometry Teaching // Cenhancing Art, Culture and Design With Technological Integration. 2018. Chapter 12. DOI: 10.4018/978-1-5225-5023-5.ch012
- 19. Kang S., Shokeen E., Byrne V.L., Norooz L., Bonsignore E., Williams-Pierce C., Joe E. Froehlich ARMath: Augmenting Everyday Life with Math Learning. 2019. DOI: 10.1145/3313831.3376252.
- 20. Sommerauer P., Müller O. Augmented reality in informal learning environments: A field experiment in a mathematics exhibition, Computers & Education. 2014. DOI: 10.1016/j. compedu.2014.07.013.
- 21. Martinez-Sevilla Alvaro, Urena Carlos, Recio Tomas. Augmented Reality, Maths Walks and GeoGebra // Extended Abstract for a contributed talk at CAGDME. 2018. 5 p.
- 22. Wen-Hung Chao, Ron-Chi Chang. Using Augmented Reality to Enhance and Angage Students in Learning Mathematics // Advances in Social Sciences Research Journal. 2018. Vol. 5(12). P. 455–464. DOI: 10.14738/assrj.512.5900.
- 23. Kaufmann H., Meyer B. Simulating Educational Physical Experiments in Augmented Reality // Proceedings of ACM SIGGRAPH ASIA 2008 Educators Program, ACM Press, New York. USA: NY, 2008. 8 p.
- 24. Su Cai, Feng-Kuang Chiang, Xu Wang Using the Augmented Reality 3D Technique for a Convex Imaging Experiment in a Physics Course // International Journal of Engineering Education. 2013. Vol.29. No. 4. P. 856–865.
- 25. Marcus van Bergen Visualizing Magnetic Fields in Augmented Reality // Bachelor Informatica. University of Amsterdam. 2018. 35 p.
- 26. Su Cai, Feng-Kuang Chiang, Yuchen Sun, Chenglong Lin, Joey J. Lee Applications of Augmented Reality-Based Natural Interactive Learning in Magnetic Field Instruction // Interactive Learning Environment. 2017. Vol.25. No.6. P. 778—791. DOI: 10.1080/10494820.2016.1181094.
- 27. S. da Hora Macedo, E. dos Santos Leite, F. Arantes Fernandes Teaching the Magnetic field of a Bar-shaped Magnet using Augmented Reality // International Journal on New Trends in Education and Their Implications. 2014. Vol. 5 (1). P. 145–156.

- 28. A Buchau, W. M. Rucker Augmented Reality in Teaching of electrodynamics // COMPEL International Journal of Computations and Mathematics in Electrical. 2009. P. 948–963. DOI: 10.1108/03321640910959026.
- 29. Barki F., Sumardani D., Muliyati D. The 3D simulation of Lorentz Force based on Augmented Reality Technology // 4th Annual Applied Science and Engineerong Conference, Journal of Physics: Conference Series, 1402 066038. 2019. 7 p.
- 30. Jian Gu, Nai Li, Henry Been-Lirn Duh A Remote Mobile Collaborative AR System for Learning in Physics // IEEE Virtual Reality (19–23 March, Singapore). 2011. DOI: 10.1109/VR.2011.5759496.
- 31. Kuhn Johen, Nussbaumer Alexander, Johanna Pirker, Dimosthenis Karatzas, Pagani Alain, Conlan Owen, Memmel Martin, Steiner Christina M., Gutl Christian, Albert Dietrich, Dengel Andreas. Advancing Physics Learning Through Traversing a Multi-Modal Experimentation Space // Workshop Proceedings of the 11th International Conference on Intelligent Environments. 2015. P. 373–380. DOI: 10.3233/978-1-61499-530-2-373.
- 32. Nak-Jun Sung, Jun Ma, Yoo-Joo Choi, Min Hong Real-Time Augmented Reality Physics Simulator for Education // Applied Sciences. 2019. Sergio Vol. 9. P. 4019. https://doi.org/10.3390/app9194019.

References

- 1. Figueiredo M. Teaching Mathematics with Augmented Reality. 12th International conference on technology in mathematics teaching. 2015: 183.
- 2. Kuhn J., Nussbaumer A., Pirker J., Karatzas D., Pagani A., Conlan O., Memmel M., Christina M. Steiner, Gutl C., Albert D., Dengel A. Advancing Physics Learning Through Traversing a Multi-Modal Experimentation Space. Workshop Proceedings of the 11th International Conference on Intelligent Environments. 2015: 373-380. DOI: 10.3233/978-1-61499-530-2-373.
- 3. Luttenberger S., Wimmer S., Paechter M. Spotlight on math anxiety. Psychology Research and Behavior Management. 2018; 11: 311-322. DOI: 10.2147/PRBM.S141421.
- 4. García-Santillán A., Escalera-Chávez M., Moreno-Garcia E., Santana-Villegas J. Factors that Explains Student Anxiety toward Mathematics. Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education. 2015; 12(2): 361-372. DOI: 10.12973/eurasia.2016.1216a.
- 5. Jackson, E. Mathematics anxiety in student teachers [Internet]. Practitioner Research in Higher Education. 2008; 2(1): 36-42. Available from: http://insight.cumbria.ac.uk/91/
- 6. Ashcraft M., Krause J. Working memory, math performance, and math anxiety. Psychonomic Bulletin & Review. 2007; 14 (2): 243-248. DOI: 10.3758/BF03194059.

- 33. Salinas Patricia, Gonzalez-Mendivil Eduardo, Quintero Eliud, Rios Horacio, Ramirez Hector, Morales Sergio. The Development of a Didactic Prototype for the Learning of Mathematics Trough Augmented Reality // Procedia Computer Science. 2003. 25. P. 62–70. DOI: 10.1016/j. procs.2013.11.008.
- 34. Yechkalo Y., Tkachuk V., Hruntova T., Brovko D., Tron V. Augmented Reality in Training Engineering Students: Teaching Methods // ICTERI 2019: ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer: Proceedings of the 15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. (June 12–15). Volume II: Workshops. Kherson, Ukraine. 2019. P. 952–959.
- 35. Drijvers Paul. Digital Technology in Mathematics Education: Why It Works (or Doesn't) // Selected Regular Lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education. Springer, Cham. 2015. 20 p. DOI: 10.1007/978-3-319-17187-6 8.
- 36. Tzima Stavroula, Styliaras Georgios, Bassounas Athanasios. Augmented Reality Applications in Education: Teachers Point of View // Education Sciences. 2019. Vol. 9(99). P. 18. DOI: 10.3390/educsci9020099.
- 7. Bishop A. Review of research on visualization in mathematics education. Focus on Learning Problems in Mathematics. 1989. 11 (1): 7-16.
- 8. Serin H., Oz Yu. Technology-integrated Mathematics Education at the Secondary School Level. International Journal of Social Sciences & Educational Studies. 2017; 3; 4: 148-155. DOI: 10.5296/ijld.v7i4.12082
- 9. Becker S.A., Brown M., Dahlstrom E., Davis A., DePaul K., Diaz V., Pomerantz J. NMC Horizon Report: 2018 Higher Education Edition. EDUCAUSE: Louisville, KY, USA, 2018. ISBN: 978-1-933046-01-3.
- 10. Kounavis C.D., Kasimati A.E., Zamani E.D. Enhancing the Tourism Experience through Mobile Augmented Reality: Challenges and Prospects. Int. J. Eng. Bus. Manag. 2012; 4: 1–6. DOI: 10.5772/51644.
- 11. Grigor'yeva T.I., Potapov A.A., Pronina O.I. Augmented reality in education. Materialy MezhdunarodnoyInternet-konferentsii"Virtual'naya real'nost' sovremennogo obrazovaniya. VRME 2018 = Materials of the International Internet conference "Virtual reality of modern education. VRME 2018. (October 8-11, Moscow). 2018: 34-39. (In Russ.)
- 12. Nabokova L.S., Zagidullina F.R. Prospects for the implementation of augmented and virtual reality technologies in the sphere of the educational process of higher education. Professional'noye obrazovaniye v sovremennom mire = Vocational

- education in the modern world. 2019; 9; 2: 2710-2719. DOI: 10.15372/PEMW20190208. (In Russ.)
- 13. Sirakaya M, Sirakaya D. A. Trends in Educational Augmented Reality Studies: A Systematic Review. Malaysian Online Journal of Educational Technology. 2018; 6; 2: 60-74. DOI: 10.17220/mojet.2018.04.005.
- 14. Saidin N.F., Abd halim N.D., Yahaya N. A Review of Research on Augmented Reality in Education: Advantages and Applications. International Education Studies. 2015; 8(13): 8. DOI: 10.5539/ies.v8n13p1.
- 15. Norma Patricia Salinas Martinez, Ricardo Pulido Understanding the Conics through Augmented Reality. Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education. 2017. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00620a
- 16. Lemos B. M. SISEULER: Um software para apoio ao ensino da Relação de Euler. Dissertação (Mestrado Profissional em Educação Matemática) Vassouras: Universidade Severino Sombra. 2011. 147 p.
- 17. Salinas P., Gonzalez-Mendivil E. Augmented Reality and Solids of Revolution. International Journal for Interactive Design and Manufacturing. 2017; 11: 829-837. DOI: 10.1007/s12008-017-0390-3.
- 18. Leitao R., Joao M.F. Rodrigues, Aderito Fernandes Marques Mobile Learning: Benefits of Augmented Reality in Geometry Teaching. Cenhancing Art, Culture and Design With Technological Integration. 2018. Chapter 12. DOI: 10.4018/978-1-5225-5023-5.ch012
- 19. Kang S., Shokeen E., Byrne V.L., Norooz L., Bonsignore E., Williams-Pierce C., Joe E. Froehlich ARMath: Augmenting Everyday Life with Math Learning. 2019. DOI: 10.1145/3313831.3376252.
- 20. Sommerauer P., Müller O. Augmented reality in informal learning environments: A field experiment in a mathematics exhibition, Computers & Education. 2014. DOI: 10.1016/j. compedu.2014.07.013.
- 21. Martinez-Sevilla Alvaro, Urena Carlos, Recio Tomas. Augmented Reality, Maths Walks and GeoGebra. Extended Abstract for a contributed talk at CAGDME. 2018. 5 p.
- 22. Wen-Hung Chao, Ron-Chi Chang. Using Augmented Reality to Enhance and Angage Students in Learning Mathematics. Advances in Social Sciences Research Journal. 2018; 5(12): 455-464. DOI: 10.14738/assrj.512.5900.
- 23. Kaufmann H., Meyer B. Simulating Educational Physical Experiments in Augmented Reality. Proceedings of ACM SIGGRAPH ASIA 2008 Educators Program, ACM Press, New York. USA: NY, 2008. 8 p.
- 24. Su Cai, Feng-Kuang Chiang, Xu Wang Using the Augmented Reality 3D Technique for a Convex Imaging Experiment in a Physics Course. International Journal of Engineering Education. 2013; 29; 4: 856-865.
 - 25. Marcus van Bergen Visualizing Magnetic

- Fields in Augmented Reality. Bachelor Informatica. University of Amsterdam. 2018. 35 p.
- 26. Su Cai, Feng-Kuang Chiang, Yuchen Sun, Chenglong Lin, Joey J. Lee Applications of Augmented Reality-Based Natural Interactive Learning in Magnetic Field Instruction. Interactive Learning Environment. 2017; 25; 6: 778-791. DOI: 10.1080/10494820.2016.1181094.
- 27. S. da Hora Macedo, E. dos Santos Leite, F. Arantes Fernandes Teaching the Magnetic field of a Bar-shaped Magnet using Augmented Reality. International Journal on New Trends in Education and Their Implications. 2014; 5 (1):145-156.
- 28. A Buchau, W. M. Rucker Augmented Reality in Teaching of electrodynamics. COMPEL International Journal of Computations and Mathematics in Electrical. 2009: 948-963. DOI: 10.1108/03321640910959026.
- 29. Barki F., Sumardani D., Muliyati D. The 3D simulation of Lorentz Force based on Augmented Reality Technology. 4th Annual Applied Science and Engineerong Conference, Journal of Physics: Conference Series, 1402 066038. 2019. 7 p.
- 30. Jian Gu, Nai Li, Henry Been-Lirn Duh A Remote Mobile Collaborative AR System for Learning in Physics. IEEE Virtual Reality (19-23 March, Singapore). 2011. DOI: 10.1109/VR.2011.5759496.
- 31. Kuhn Johen, Nussbaumer Alexander, Johanna Pirker, Dimosthenis Karatzas, Pagani Alain, Conlan Owen, Memmel Martin, Steiner Christina M., Gutl Christian, Albert Dietrich, Dengel Andreas. Advancing Physics Learning Through Traversing a Multi-Modal Experimentation Space. Workshop Proceedings of the 11th International Conference on Intelligent Environments. 2015: 373-380. DOI: 10.3233/978-1-61499-530-2-373.
- 32. Nak-Jun Sung, Jun Ma, Yoo-Joo Choi, Min Hong Real-Time Augmented Reality Physics Simulator for Education. Applied Sciences. 2019; 9: 4019. https://doi.org/10.3390/app9194019.
- 33. Salinas Patricia, Gonzalez-Mendivil Eduardo, Quintero Eliud, Rios Horacio, Ramirez Hector, Morales Sergio. The Development of a Didactic Prototype for the Learning of Mathematics Trough Augmented Reality. Procedia Computer Science. 2003; 25: 62-70. DOI: 10.1016/j. procs.2013.11.008.
- 34. Yechkalo Y., Tkachuk V., Hruntova T., Brovko D., Tron V. Augmented Reality in Training Engineering Students: Teaching Methods. ICTERI 2019: ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer: Proceedings of the 15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. (June 12-15). Volume II: Workshops. Kherson, Ukraine. 2019: 952-959.
 - 35. Drijvers Paul. Digital Technology in

Mathematics Education: Why It Works (or Doesn't). Selected Regular Lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education. Springer, Cham. 2015. 20 p. DOI: 10.1007/978-3-319-17187-6 8.

36. Tzima Stavroula, Styliaras Georgios, Bassounas Athanasios. Augmented Reality Applications in Education: Teachers Point of View. Education Sciences. 2019; 9(99): 18. DOI: 10.3390/educsci9020099.

Сведения об авторе

Юлия Юрьевна Дюличева

К.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры прикладной математики Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского Симферополь, Россия Эл. почта: dyulicheva yu@mail.ru

Information about the author

Yulia Yu. Dyulicheva

Cand. Sci. (Computer Science)., Associate Professor, Associate Professor, Department of Applied Mathematics
V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia
E-mail: dyulicheva yu@mail.ru