НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ»

SCIENTIFIC PUBLISHING CENTER «ACADEMY OF NATURAL HISTORY»

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ № 6

SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES 2020

Журнал «Научное обозрение. Технические науки» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-57440
ISSN 2500-0799

Учредитель, издательство и редакция: ООО НИЦ «Академия Естествознания», Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47 Адрес редакции: 410056, Саратовская область, г. Саратов, ул. им. Чапаева В.И., д. 56

Founder, publisher and edition: LLC SPC Academy of Natural History, Post address: 105037, Moscow, p.o. box 47 Editorial address: 410056, Saratov region, Saratov, V.I. Chapaev Street, 56

Подписано в печать 30.12.2020
Дата выхода номера 30.01.2021
Формат 60×90 1/8

Типография ООО НИЦ «Академия Естествознания», 410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5

Signed in print 30.12.2020
Release date 30.01.2021
Format 60×90 8.1

Typography LLC SPC «Academy Of Natural History» 410035, Russia, Saratov region, Saratov, 5 Mamontovoi str.

Технический редактор Байгузова Л.М.
Корректор Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.

Тираж 1000 экз.
Распространение по свободной цене
Заказ НО 2020/6
© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

Журнал «НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ» выходил с 1894 по 1903 год в издательстве П.П. Сойкина. Главным редактором журнала был Михаил Михайлович Филиппов. В журнале публиковались работы Ленина, Плеханова, Циолковского, Менделеева, Бехтерева, Лесгафта и др.

Journal «Scientific Review» published from 1894 to 1903. P.P. Soykin was the publisher. Mikhail Filippov was the Editor in Chief. The journal published works of Lenin, Plekhanov, Tsiolkovsky, Mendeleev, Bekhterev, Lesgaft etc.

М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

С 2014 года издание журнала возобновлено Академией Естествознания

From 2014 edition of the journal resumed by Academy of Natural History

Главный редактор: М.Ю. Ледванов
Editor in Chief: M.Yu. Ledvanov

Редакционная коллегия (**Editorial Board**)
А.Н. Курзанов **(A.N. Kurzanov**)
Н.Ю. Стукова **(N.Yu. Stukova)**
М.Н. Бизенкова **(M.N. Bizenkova)**
Н.Е. Старчикова **(N.E. Starchikova)**
Т.В. Шнуровозова **(T.V. Shnurovozova)**

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2020 г.

В журнале представлены научные обзоры, статьи проблемного и научно-практического характера

The issue contains scientific reviews, problem and practical scientific articles

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)

СТАТЬИ

УЛУЧШЕНИЕ РАБОТЫ ГИДРОЦИЛИНДРОВ АГРЕГАТОВ

Бейсембаев К.М., Юрченко В.В., Малыбаев Н.С., Аманбаев А.Т., Тасболат Д.С. 5

ОБЗОР ОНЛАЙН-СЕРВИСОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ

Бужинская Н.В. 11

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ НА ОСНОВЕ РЕГИСТРА СДВИГА С ЛИНЕЙНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРЯДКА ТОЧКИ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ

Буковшин В.А., Чуб П.А., Черкесова Л.В. 17

РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ PVLIB

Ильичев В.Ю., Юрик Е.А. 26

ОТСЛЕЖИВАНИЕ И РЕНДЕРИНГ ИЗОБРАЖЕНИЙ В КОНТЕКСТЕ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМАРТФОНА

Маслов А.С., Козина А.В., Белов Ю.С. 31

УРАВНЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ ВЯЗКОУПРУГОГО СТЕРЖНЯ И ЕГО РЕШЕНИЕ ОПЕРАТОРНЫМ МЕТОДОМ

Морозов А.В., Булекбаев Д.А., Орлова Е.В., Родионова М.С. 37

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТЕНДА ДЛЯ ХОЛОДНОЙ ОБКАТКИ ДВИГАТЕЛЕЙ

Рогонова О.В., Щепетков А.В., Столяров А.В. 42

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ХРАНЕНИЯ ПОХОДНОГО ИНВЕНТАРЯ ДЛЯ СЕВЕРНЫХ ТУРИСТИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ

Власов А.Б., Пышко Е.Ю. 47

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В ПЛАСТИНЕ С ПЕРЕМЕННЫМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Губарева К.В., Попов А.И., Зинина С.А., Шульга А.С., Чуянов Д.О. 52

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ФРЕЙМВОРКОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ В ЦЕЛЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ

Чулин К.В., Белов Ю.С., Гришунов С.С. 58

CONTENTS

Technical sciences (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)

ARTICLES

IMPROVING THE OPERATION OF HYDRAULIC CYLINDERS OF UNITS

Beisembayev K.M., Yurchenko V.V., Malybaev N.S., Amanbaev A.T., Tasbolat D.S. 5

OVERVIEW OF ON-LINE SERVICES USED IN SOFTWARE PRODUCT DESIGN

Buzhinskaya N.V. 11

AN ALGORITHM FOR THE FORMATION OF PSEUDORANDOM NUMBERS BASED ON A SHIFT REGISTER WITH LINEAR FEEDBACK USING THE ELLIPTIC CURVE POINT ORDER

Bukovshin V.A., Chub P.A., Cherkesova L.V. 17

CALCULATION OF SOLAR POWER PLANT CHARACTERISTICS USING PVLIB SOFTWARE MODULE

Ilichev V.Yu., Yurik E.A. 26

TRACKING AND RENDERING IMAGES IN THE CONTEXT OF AUGMENTED REALITY USING A SMARTPHONE

Maslov A.S., Kozina A.V., Belov Yu.S. 31

EQUATION OF VIBRATIONS OF A VISCOELASTIC ROD AND ITS SOLUTION BY THE OPERATOR METHOD

Morozov A.V., Bulekbaev D.A., Orlova E.V., Rodionova M.S. 37

DESIGNING A STAND FOR COLD RUNNING MOTORS

Rogonova O.V., Schepetkov A.V., Stolyarov A.V. 42

AUTOMATED SYSTEM FOR KEEPING TRIPPING EQUIPMENT FOR NORTHERN TOURIST ROUTES

Vlasov A.B., Pyshko E.Yu. 47

SIMULATION OF THE HEAT EXCHANGE PROCESS IN A PLATE WITH VARIABLE THERMAL PROPERTIES

Gubareva K.V., Popov A.I., Zinina S.A., Shulga A.S., Chuyanov D.O. 52

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF FRAMEWORKS FOR WEB APPLICATION DEVELOPMENT IN ORDER TO DIGITALIZE THE ECONOMY

Chulin K.V., Belov Yu.S., Grishunov S.S. 58

УДК 622:658.513:004.3

УЛУЧШЕНИЕ РАБОТЫ ГИДРОЦИЛИНДРОВ АГРЕГАТОВ

Бейсембаев К.М., Юрченко В.В., Малыбаев Н.С., Аманбаев А.Т., Тасболат Д.С.
НАО «Карагандинский технический университет», Караганда, e-mail: kakim08@mail.ru

Применение силовых гидроцилиндров в секциях крепей агрегатов создает эффективные возможности управления состоянием забоя и функционирования машины, обеспечивает простоту фиксации параметров за счет записи давления датчиками в полостях гидроцилиндра. Его сопряжение с датчиками, а затем с узлами машины и внешней средой позволяет легко описать особенности их совместной работы: дать информацию о характере нагружения крепи породами кровли, уточнять взаимодействия деталей и узлов. Так, датчики системы натяжения цепи забойного конвейера дополнительно описывают динамику взаимодействия звеньев цепи с зубьями звездочки и позволяют уточнить расчеты приводов. Они встраиваются в элементы горной машины, осуществляя обратную связь в системе управления, их применение решает многие проблемы разработки, и в частности устойчивости секций при отработке пластов крутого и наклонного падения, обеспечивает автоматизированное маневрирование секциями крепи при обходе геологических нарушений. За счет камерных технологий выемки твердых минералов. Исследования выполнены на основе системного анализа конструктивных схем крепей агрегатов, особенностей работы и расчета гидроцилиндров, оснащенных датчиками с применением имитационных моделей в программном пакете Adams.

Ключевые слова: гидравлический цилиндр, крепь, датчик, моделирование, конструкция

IMPROVING THE OPERATION OF HYDRAULIC CYLINDERS OF UNITS

Beisembayev K.M., Yurchenko V.V., Malybaev N.S., Amanbaev A.T., Tasbolat D.S.
NJC Karaganda technical University, Karaganda, e-mail: kakim08@mail.ru

The use of hydraulic power cylinders in the sections of the units creates effective possibilities for controlling the state of the face and the functioning of the machine. A simple fixation of the parameters of the machine is ensured by recording the pressure sensors in the cavities of the hydraulic cylinders. Connecting sensors with hydraulic cylinders, and then with machine units and the external environment, makes it easy to record the peculiarities of joint work: to give information about the nature of the loading of the support by the roof rocks, to clarify the interactions of parts and assemblies. So the sensors in the hydraulic jacks of the chain tension of the face conveyor additionally provide information on the dynamics of the interaction of the links chains with sprocket teeth and allow you to refine the calculations of the drives. Moreover, they are easily integrated into the elements of the mining machine. Provide feedback of the control system with the work environment. Their use solves many development problems and, in particular, the stability of the sections during the development of seams of steep and inclined incidence, provides automated maneuvering of the support sections when bypassing geological faults. The studies were carried out on the basis of an analysis of the structural schemes of the units and the features of the operation of hydraulic cylinders using simulation models in the Adams software package.

Keywords: hydraulic cylinder, support, sensor, strike, modeling, design

В настоящее время основной объем подземной добычи угля обеспечивается агрегатами с механизированными крепями. Они обеспечивают управление боковыми породами очистного забоя. Выполняют передвижение забойного конвейера.

Крепь состоит из секций (рис. 1) с насосной станцией, распределительной и измерительной аппаратурой. Исполнительными органами крепи являются гидростойки, гидродомкраты передвижения крепи и конвейера, вспомогательные гидроцилиндры для управления конвейером и боковой устойчивостью секций. Еще большие возможности возникают при встраивании датчиков в системы гидропривода. Информативность таких систем резко возрастает, причем схемы установки просты, а работа надежна. Будучи гибким звеном управления, они гармонично входят в систему и расширяют класс решаемых задач [1; 2].

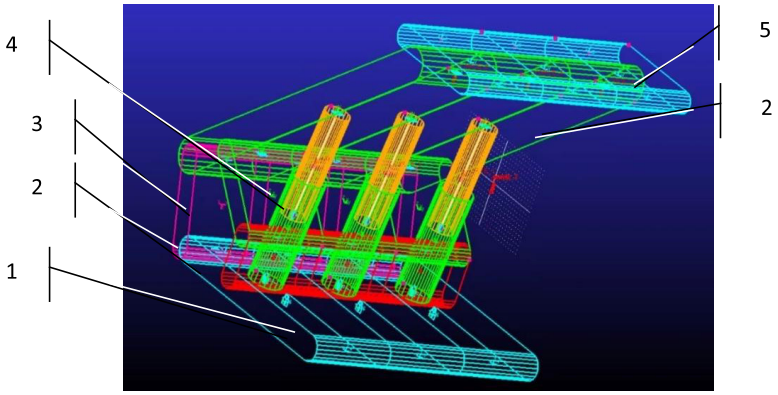
Цель работы: исследование и проработка конструктивных схем таких систем, их обоснование и улучшение в программном пакете Adams.

Материалы и методы исследования основаны на анализе конструктивных схем, нахождении новых решений, обосновании и применении пакетов моделирования системы CAD/CAM на основе методов объектно ориентированного программирования с линеаризацией уравнений динамики.

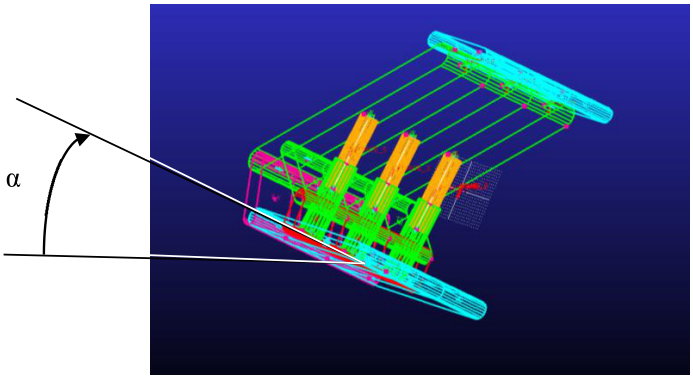
Результаты исследования и их обсуждение

Создание очистных крепей с маневрирующими функциями [3] позволит повысить эффективность работы лав и безопасность персонала, облегчив труд людей. Секции крепи установлены по всей длине лавы (100–300 м), они активно поддерживают породы кровли и управляют их состоянием. По мере снятия стружки угля секции передвигаются к забою за счет конвейер-балки, вначале отталкивая её, а затем подтягиваясь к ней в момент, когда другие сек-

ции удерживают её. Существуют и схемы, когда передвижка осуществляется отталкиванием одной секции от другой, а затем подтягиванием отстающей к опережающей. Причем домкраты передвижения в этом случае установлены по бокам секции, так что один конец домкрата связан с одной секцией, а другой – с другой. Секции не связаны с конвейером, и возможна технология работ с выемкой минерала комбайном и поворотным конвейером на собственном ходу. При выемке по простиранию на крутых и наклонных пластах завальные концы секций крепи под собственным весом сползают по падению пласта (рис. 1). Показано моделирование группы секций крепи типа ОКП 70 в пакете Adams [4]. Чтобы предотвратить сползание секций, их передвигают с активным подпором, за счет подтягивания к конвейеру с опорой на соседние секции. На рис. 2 рассмотрен пример предотвращения сползания завальных частей основания за счет привязки конвейер-балки крепи на вентиляционном штреке [5; 6]. Забойные части 1 не могут сползать, поскольку прикреплены домкратами передвижения к конвейеру. Как показывает модель (рис. 2), сползание основания в рассмотренной схеме возможно за счет зазоров крепления домкратов в проушинах и не может быть большим, частично компенсируется ходом гидроцилиндра на величину Δ. При этом гидрораспределитель крепи должен быть модернизирован. В данном случае Δ = (Lл – Lп) – дополнительно контролируется сигналами гирконовых датчиков, связанных со штоками левого и правого домкрата передвижения. Значения Δ = 0 можно добиться подачей давления в штоковые полости. Скорости перемещения и развиваемого усилия поршня различны при прямом и обратном ходе поршня за счёт разницы площадей со стороны поршня и штока, что влияет на режим передвижения.

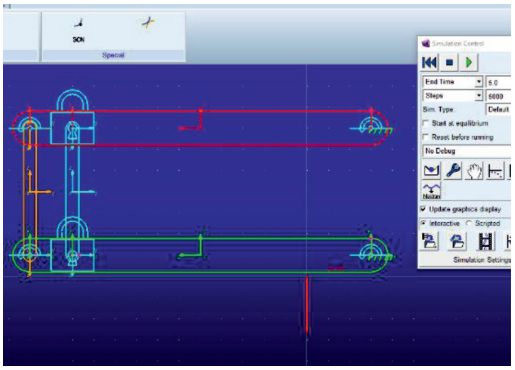


а)

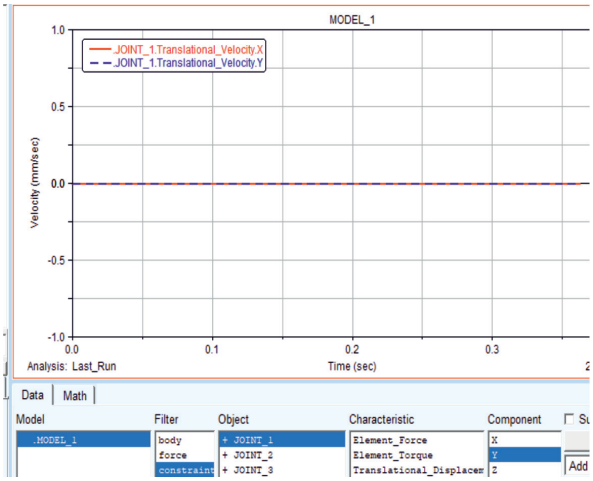


б)

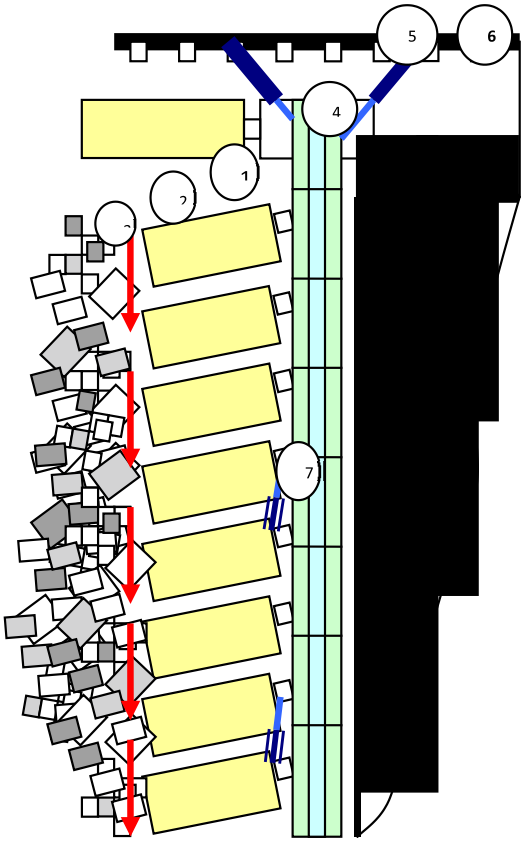
Рис. 1. Группа секций крепи ОКП 70 (а) и ее положение при выемке по простиранию пласта (б); α – угол падения пласта; 1 – забойная и 2 – завальная части основания, 3 – рычаги лемнискатного механизма, 4 – гидростойка



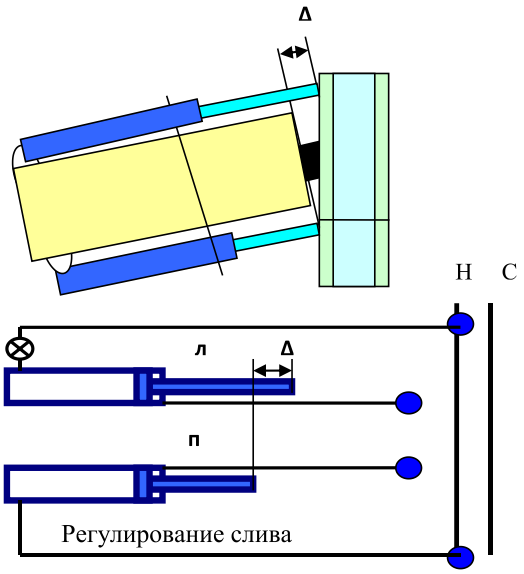
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Проблемы разработки при выемке по простиранию: а) моделирование сползания; б) графики скоростей сползания по осям (для схемы слева сползание отсутствует); в) 1 – секция крепи, 2 – сползание завальных частей под действием их веса и обрушенных пород (3), 4 – конвейер, 5 – домкрат удержания конвейера, 6 – штрековая крепь, 7 – домкрат для равномерного распределения веса конвейера, Δ – разница между выдвижением левого и правого домкрата; г) управление разницей хода Δ за счет регулирования слива в левом домкрате и ускорения движения правого (нижнего)

В гидроцилиндрах применяют два режима работы: сопротивление вдавливанию поршня через шток – в гидростойке, и выдвижения штока – в домкратах передвижения и бокового распора. При износе проушин крепления гидроцилиндров и возникновении эксцентриситета возможен изгиб штока [4]. Расчет гидроцилиндров с учетом эксцентриситета можно выполнить на основе [2; 4], а также с применением системы АРМ FEM, интегрированной в «КОМПАС-3D» включающей конечно-элементный анализ трехмерной твердотельной модели. Позволяет с учетом распределения температур провести следующие расчеты: статический, устойчивости, собственных частот и форм колебаний. Для подключения системы АРМ FEM при установке «КОМПАС-3D» [7] следует поставить галочку напротив опции. После активации библиотеки станет доступна инструментальная панель АРМ FEM. Для выполнения прочностного анализа расчета служит команда «Расчет в панели инструментов – Разбиение и расчет». После вызова команды на экране появляется диалоговое окно, запрашивающее вид производимого расчета. Выбран статистический расчет и расчет на устойчивость (рис. 3).

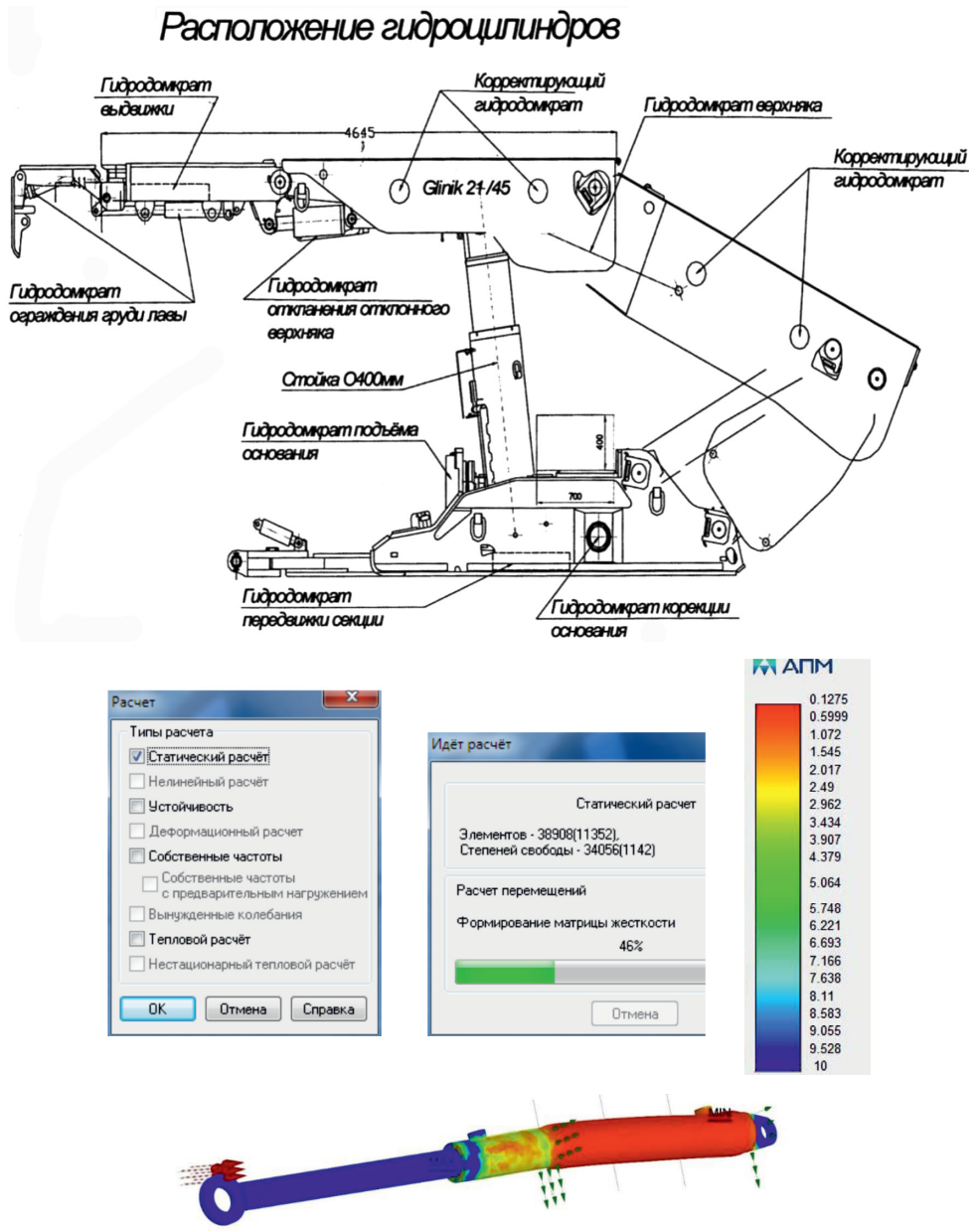


Рис. 3. Схема расположения гидроцилиндров крепи типа «Глиник» и диалоговое окно команды «Расчет» – «Коэффициент запаса по прочности»

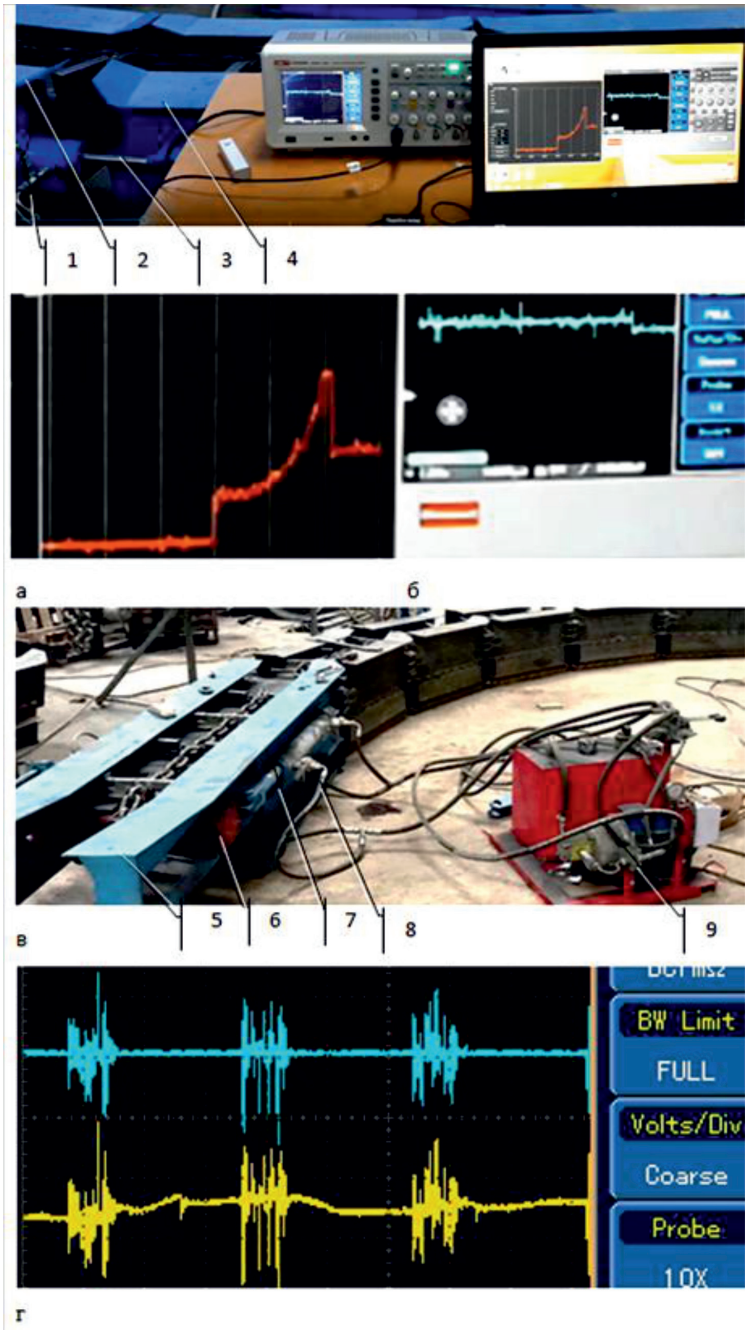


Рис. 4. Осциллографирование поворота приводного решетака с отображением на ноутбуке (а) и осциллографе (б) при угле поворота 30 ° (а, б) и натяжении цепи (в) при α = 90 ° с регистрацией давления в поршневых и штоковых полостях домкратов: 1 – датчик; 2 – приводной решетак; 3 – гидродомкрат; 4 – поворотный решетак; 5 – натяжной решетак с выдвижной платформой 6, домкратами 7, датчиками 8 и насосной станцией 9

Важный элемент применения гидравлических систем – это упрощение контроля работы технологической машины за счет установки гидродатчиков давления в поршневые и штоковые полости гидроцилиндров [8]. По их показаниям можно не только отслеживать состояние самих гидроцилиндров [3], но и основных узлов технологической машины. Например, фиксация давления в гидростойках крепи позволяет установить параметры обрушения слоев кровли при подвигании лавы и уточнить такие параметры, как толщина слоев, их прочностные характеристики [8; 9], а по осциллограммам давления в гидроцилиндрах натяжения звездочек приводов установить

особенности их зацепления с цепным тяговым органом, получить важные расчеты для моделирования приводов (рис. 4). Очевидно, что они информативны, так, по осциллограмме на рис. 4, г можно сказать, что она характеризует процесс зацепления звена цепи и звездочки, представляющий, по [10], большой интерес для исследователей приводов. Гидродатчики легко встраиваются в элементы горной машины. Осуществляют обратную связь системы управления со средой работы. Их применение решает многие проблемы разработки, и в частности устойчивости секций при отработке пластов крутого и наклонного падения, обеспечивает автоматизированное маневрирование секциями крепи при обходе геологических нарушений. В них функциональные возможности сочетаются с возможностями их регистрации не только собственных процессов, но и процессов узлов, с ними сочлененных, что является важным преимуществом по сравнению с другими системами.

Заключение

На основе пакета объектно ориентированного программирования Adams рассмотренны улучшенные режимы работы силовых гидроцилиндров, которые позволяют сочетать их рабочие функции с функциями непрерывного измерения параметров технологических машин. Так, перенос домкратов поворота 3 на рис. 4 в другие аналогичные зоны, где будут применяться поворотно-поступательные шарниры, позволит прогнозировать возможные в них нагрузки при работе конвейера, и в то же время он полностью будет выполнять их функции. Применение гидроцилиндров в системе передвижения агрегатов решает вопросы маневрирования забоем при обходе нарушений, а при выемке крутонаклонных пластов позволяет обеспечить направленное движение секций. Датчики измерения параметров машин и среды в гидроцилиндрах должны быть встраиваемыми на постоянной основе и использоваться для управления машинами.

Список литературы

1. Кривенко А.Е. Основы проектирования горных машин и оборудования М.: Горная книга, 2010. 105 с.

2. Гуляев В.Г. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. Донецк, «ДонНТУ», 2011. 322 с.

3. Бейсембаев К.М., Грузинская Т.Н., Куракбаев Д.К., Оразбеков Д.Е., Шакарим Е.Е. Моделирование робототехники для очистных забоев // Научное обозрение. Технические науки. 2017. № 3. С. 5–10.

4. Бейсембаев К.М., Решетникова О.С., Акижанова Ж.Т., Абдрахманов Е.М., Лапушкин А.А., Макухин О.С. Робототехника, образование и ресурсосберегающие технологии // Научное обозрение. Педагогические науки. 2019. № 1. С. 10–15.

5. Talli A.L., Kottursheltar B.B. Forward Kinematic Analysis, Simulation & Workspace Tracing of Anthropomorphic Robot Mani pulator by Using MSC. ADAMS. 2015. V. 4. № 1. P. 18462–18468.

6. Ilango Mahalingam, Chandramouli Padmanabhan. Planar multibody dynamics of a tracked Vehicle using Imaginary Wheel model for tracks. Defence Science Journal. 2017. V. 67. № 4, July. P. 460–464.

7. Kompas 3d. [Electronic resource]. URL: https://ascon.ru/products/7/review/ (date of access: 15.11.2020).

8. Черняк И.Л., Охременко А.Ф. Периодические проявления горного давления в очистных забоях // Изв. вузов. Горный журнал. 1988. № 11. С. 48–52.

9. Бейсембаев К.М., Векслер Ю.А., Жетесов С.С., Каппасов Н., Мендикенов К.К. Исследование состояния горного массива при подвигании лавы // Известия высших учебных заведений Горный журнал. 2013. № 3. С. 69–76.

10. Осичев А.В., Ткаченко А.А. Оценка влияния приводной звездочки на динамические усилия в рабочем органе скребкового конвейера СР72 // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. Випуск 4/2009 (57). Частина 1. С. 10–13.

УДК 004.4

ОБЗОР ОНЛАЙН-СЕРВИСОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ

Бужинская Н.В.

Нижнетагильский государственный социально-педагогический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», Нижний Тагил, e-mail: nadezhda_v_a@mail.ru

В условиях постоянного усложнения рынка программного и аппаратного обеспечения возникает необходимость в применении новых подходов к проектированию и разработке продуктов. Любой программный продукт должен быть выполнен в заданные сроки с учетом запланированных ресурсов. Однако конкуренция в сфере производства программных продуктов приводит к тому, что на первый план выходят интересы потенциальных потребителей. Поэтому этап проектирования очень важен в подготовке программного продукта. От грамотной постановки цели зависит эффективность процесса проектирования. Кроме того, необходимо учесть, что ошибки проектирования обнаруживаются часто самими пользователями, что вызывает их недовольство и осложняет процесс сопровождения программных продуктов. Следовательно, проектировщики должны не только грамотно сформулировать требования к будущему продукту, но и разработать дизайн, описать основные функции и представить прототип программы. Статья посвящена изучению возможностей применения онлайн-сервисов для решения различных задач в проектировании. На первом этапе рассматривается возможность применения сервисов для проведения анкетирования пользователей. Затем внимание уделяется работе в сервисах для рисования схем, моделей, диаграмм в нотации UML. Для хранения разработанных материалов и внесения в них изменений рекомендуется воспользоваться сервисами командной работы. Они позволят отследить результаты работы на каждом этапе и оценить вклад каждого участника.

Ключевые слова: проектирование, онлайн-сервис, разработка, программный продукт, планирование, дизайн, команда

OVERVIEW OF ON-LINE SERVICES USED IN SOFTWARE PRODUCT DESIGN

Buzhinskaya N.V.

Nizhny Tagil State Socio-Pedagogical Institute (branch) of Federal State Autonomous educational institution «Russian State Vocational Pedagogical University», e-mail: nadezhda_v_a@mail.ru

With the ever-increasing complexity of the software and hardware market, there is a need to apply new approaches to product design and development. Any software product must be completed within the specified time frame, taking into account the planned resources. However, competition in the production of software products leads to the fact that the interests of potential consumers come to the fore. Therefore, the design stage is very important in the preparation of a software product. The effectiveness of the design process depends on the correct goal setting. In addition, it should be taken into account that design errors are often detected by users themselves, which causes their dissatisfaction and complicates the process of maintaining software products. Therefore, designers must not only correctly formulate the requirements for the future product, but also develop the design, describe the main functions and present a prototype of the program. The article is devoted to the study of the possibilities of using on-line services to solve various problems in design. At the first stage, the possibility of using services for conducting user surveys is considered. Then we focus on working in services for drawing diagrams, models, and diagrams in UML notation. To store the developed materials and make changes to them, we recommend using the team work services. They will allow you to track the results of work at each stage and evaluate the contribution of each participant.

Keywords: design, on-line service, development, software product, planning, design, team

На современном этапе развития общества наблюдается усложнение функций программных продуктов. Конкуренция на рынке программного и аппаратного обеспечения приводит к тому, что разработка любого программного продукта должна осуществляться в интересах потребителей и с учетом их мнения. Именно поэтому различные компании перед тем, как выпустить программный продукт непосредственно на рынок, проводят его презентацию пользователям. При этом следует учитывать, что разработка программного продукта должна укладываться в рамки «треугольника проекта», то есть нужно соблюдать заданные сроки и потратить необходимое количество ресурсов, в том числе денежных.

Отметим, что выпуску готового программного продукта обычно предшествуют этапы, которые зафиксированы в ГОСТ 34.601-90. К данным этапам относятся [1]:

– формирование требований к программному продукту;

– разработка концепции программного продукта;

– техническое задание;

– эскизный проект;

– технический проект;

– рабочая документация;

– сопровождение программного продукта.

Проектирование как процесс представляет собой упорядоченную совокупность методологий и средств создания или модернизации программных продуктов. В проек-

тировании принято выделять три важнейших области: проектирование баз данных, проектирование приложений и проектирование сетей [2]. Каждая область отличается методами и средствами. Однако, независимо от специфики перечисленных выше областей, важную роль в проектировании играет постановка цели. Именно от грамотной постановки цели зависит эффективность процесса проектирования. В исследовании [3] утверждается, что исправление ошибки на стадии проектирования стоит в 2 раза, на стадии тестирования – в 10 раз, а на стадии эксплуатации системы – в 100 раз дороже, чем на стадии анализа. Кроме того, ошибки анализа и проектирования обнаруживаются часто самими пользователями, что вызывает их недовольство и осложняет процесс сопровождения программных продуктов. Проектирование обычно связано с таким процессом, как моделирование. В основе моделирования лежит понятие «модель». Под моделью понимают абстракцию, которая используется для описания функций программного продукта. Благодаря моделям можно обозначить требования к нему и определить направление работы [4].

Учитывая определение понятия «Проектирование», можно сделать вывод, что основная работа проектировщика заключается в формировании требований к программному продукту, разработке концепции программного продукта, подготовке технического задания и эскизного проекта. Безусловно, в процессе работы над программным продуктом разработчики вынуждены постоянно возвращаться к тому или иному этапу, вносить необходимые изменения и постоянно оценивать эффективность своей работы. Это может привести к потерям времени и изменению сроков сдачи готового программного продукта. Целью данного исследования является анализ возможностей средств, которые позволят упростить труд проектировщиков и сэкономить время на выполнение различных операций.

Материалы и методы исследования

В данной статье мы рассмотрим особенности применения онлайн-сервисов для решения различных задач проектирования. Под онлайн-сервисами мы будем понимать широкий спектр инструментов для разработки различных ресурсов [5]. Достоинства и недостатки того или иного сервиса зависят от специфики задач, для решения которых он применяется. Например, визуализация основных этапов работы с помощью сервиса позволит следить за выполнением сроков работы.

Выше в статье было обозначено, что на первом этапе необходимо изучить потребности рынка, проанализировать программные продукты конкурентов и выяснить мнение пользователей о том или ином программном продукте. Следовательно, нашей задачей является проведение опроса как можно большего числа респондентов. В этом случае онлайн-сервисы будут выступать средством для разработки вопросов анкеты, проведения анкетирования и обработки полученных результатов.

Рассмотрим пример разработки анкеты для пользователей в сервисе Online Test Pad. Данный сервис представляет собой бесплатный многофункциональный сервис для проведения опросов [6].

Предположим, что нам необходимо провести опрос участников кружка по робототехнике и узнать их мнение по поводу целесообразности разработки информационного сайта. В процессе формулирования вопросов необходимо учесть, что сайт – это только проект, который планируется реализовать в будущем. Следовательно, мы должны выяснить мнение респондентов по поводу возможной логической структуры сайта, цветовой гаммы, работы форума и гостевой книги и др.

Пример одного вопроса, оформленного в сервисе Online Test Pad, представлен на рис. 1.

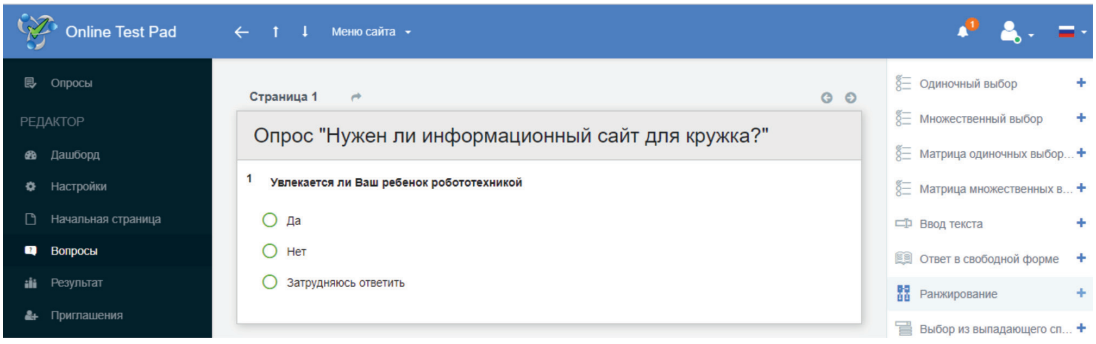


Рис. 1. Оформление вопросов в Online Test Pad

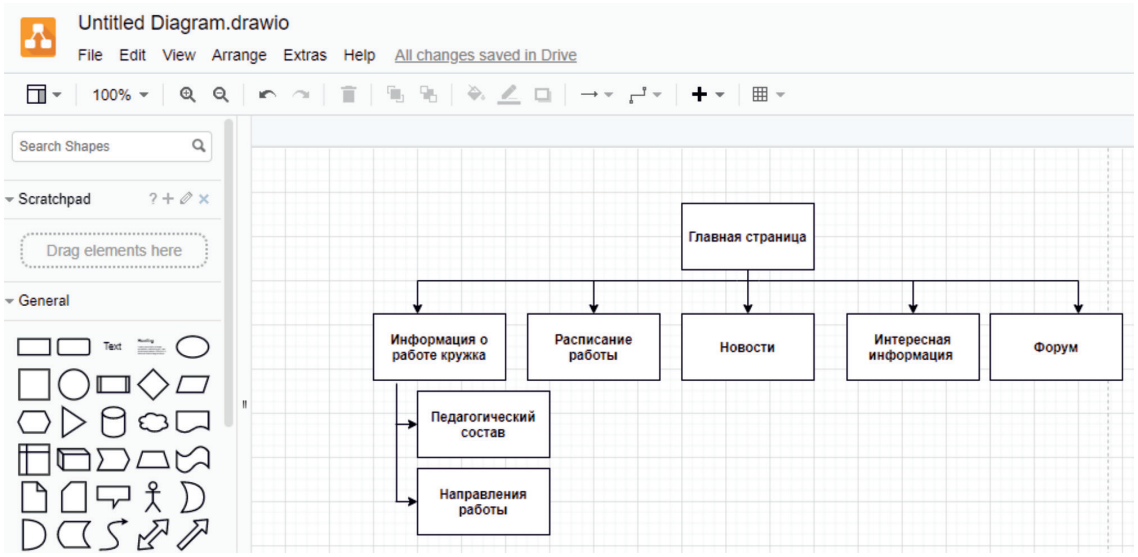


Рис. 2. Логическая структура сайта, созданная в сервисе draw.io

Отметим, что к достоинствам данного сервиса можно отнести наличие дашборда, на котором отображается количество созданных вопросов, дата создания теста, ссылка для скачивания. В разделе «Статистика» можно получить данные об ответах респондентов – количество ответов, статистику по дням и сводный отчет.

После проведения опроса возникает необходимость проанализировать сайты других кружков по робототехнике. Данная информация необходима для определения логической структуры сайта, которая отвечает за размещение информации и основных разделов на сайте [7]. Кроме того, анализ аналогов позволит обозначить эстетические и эргономические требования, от которых будет зависеть желание участников кружка работать с сайтом.

Логическую структуру сайта можно нарисовать в любом редакторе, предназначенном для создания схем, в том числе и редакторе draw.io. Данный сервис предназначен для моделирования диаграмм и блок-схем бизнес-процессов [8]. Пример логической структуры сайта, созданной в данном сервисе, представлен на рис. 2.

Следующим этапом работы является составления плана деятельности. Обычно в проектировании средством наглядного представления трудовых процессов является диаграмма Гантта. На данной диаграмме отображаются этапы работы, даты их начала и завершения, продолжительность каждого этапа [9]. Отметим, что в настоящее время существует другой подход к планированию проектной деятельности [10]. С точки зрения гибкой (agile) методологии наличие «жесткого плана» работы ставит разработчика в такие условия, при которых он должен выполнить поставленные перед ним задачи точно в срок, зачастую в ущерб качеству. В этом случае рекомендуется применять другие подходы к составлению плана работы, например SCRUM или RUP.

Для построения диаграммы Гантта можно воспользоваться сервисом GANTTPRO [11]. Отметим, что этапы работы должны соответствовать этапам жизненного цикла, обозначенным в соответствующих ГОСТах. Пример диаграммы Гантта, разработанной в сервисе GANTTPRO, представлен на рис. 3.

Важную роль в проектировании играют диаграммы, построенные в различных нотациях. Например, унифицированный язык моделирования UML представляет собой семейство графических нотаций, в основе которых лежит единая метамодель [12]. Он помогает описывать требования к программным продуктам, последовательность этапов работы с ними посредством объектно-ориентированных технологий. Рассмотрим пример построения диаграммы прецедентов в сервисе Draw.io. С помощью диаграммы прецедентов можно показать требования к разрабатываемому продукту. Пример диаграммы прецедентов для иллюстрации требований к сайту кружка по робототехнике представлен на рис. 4.

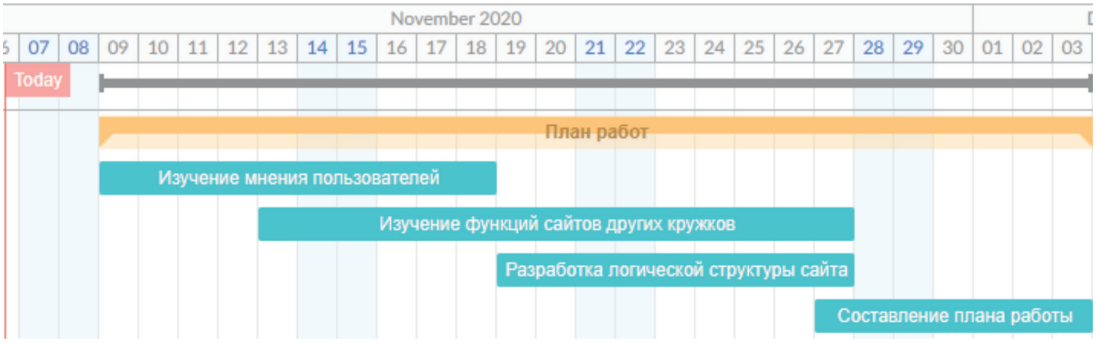


Рис. 3. Фрагмент диаграммы Гантта, разработанной в сервисе GANTTPRO

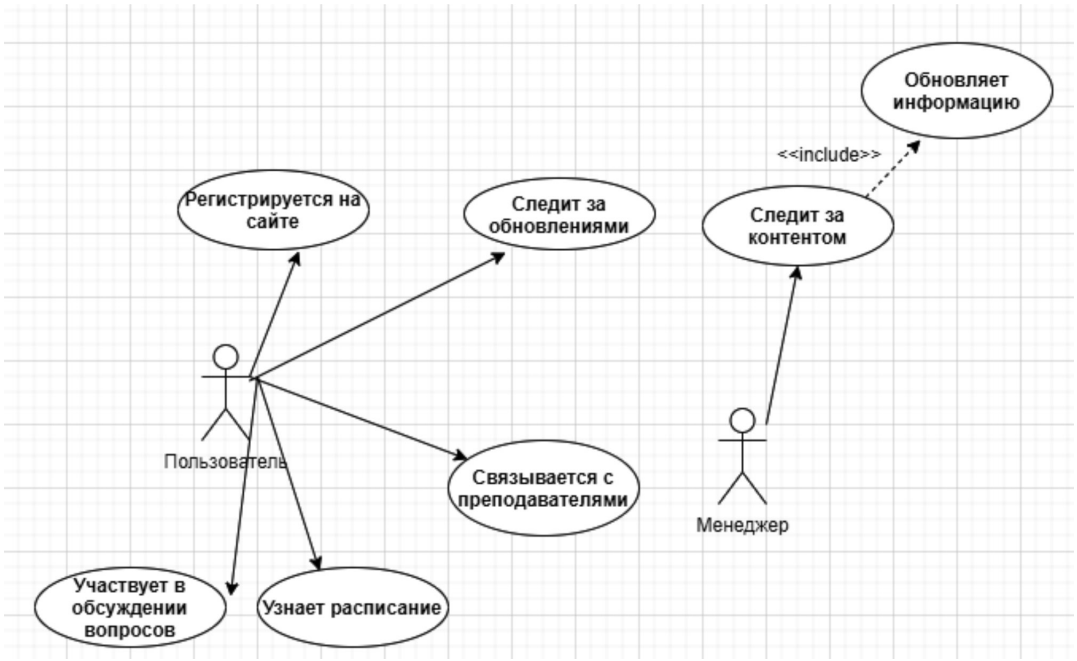


Рис. 4. Пример диаграммы прецедентов, построенной в редакторе Draw.io

С помощью этой диаграммы становится понятным, что пользователь на сайте сможет узнать интересную информацию, изменения в расписании и связаться с преподавателями. Кроме того, администрировать сайт будет менеджер. Аналогично посредством данного сервиса мы можем построить другие диаграммы в нотации UML.

Важную роль в проектировании играет разработка дизайна. В настоящее время популярным является адаптивный дизайн, который предполагает корректную работу сайта на всех без исключения устройствах. В исследованиях [13, 14] отмечается, что подходить к процессу разработки дизайна сайта нужно, с одной стороны, творчески, а с другой – помнить, что основной целью работы сайта является реализация всех его функций. Кроме того, основным моментом при создании дизайна является соотношение совокупности графических элементов, их смысловая нагрузка и расположение таких элементов на странице макета будущего сайта. Сайт должен вызывать у пользователей положительные эмоции. Для разработки дизайна можно использовать сервис Canva [15]. Пример дизайна главной страницы представлен на рис. 5.

Отметим, что предложенные в исследовании сервисы не являются единственными. Учитывая стремительное развитие рынка в ИТ-сфере, количество сервисов постоянно возрастает. В этом случае проектировщик должен выбрать наиболее удобный и понятный ему сервис.

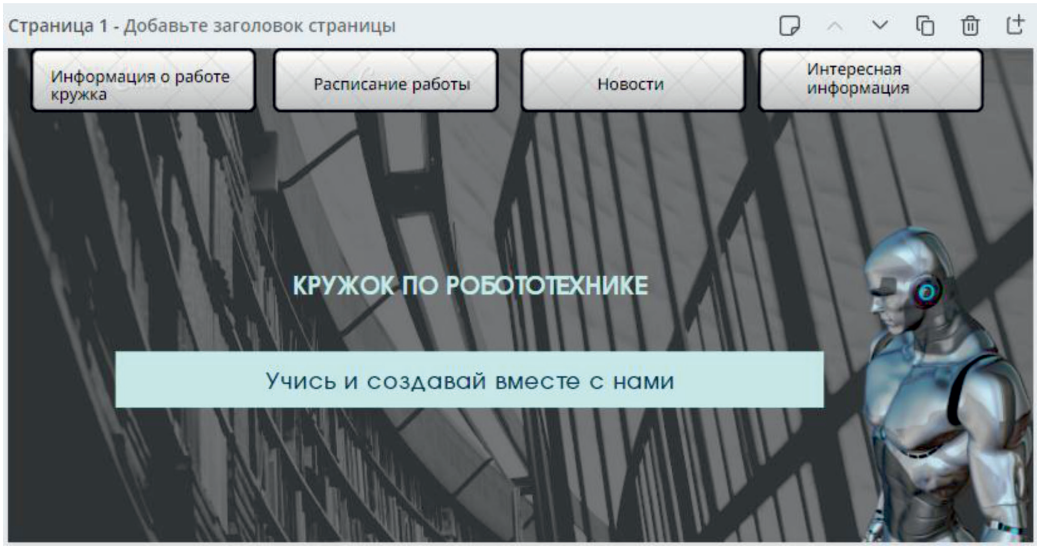


Рис. 5. Пример дизайна главной страницы в сервисе Canva

Результаты исследования и их обсуждение

Интернет в настоящее время является не только средством предоставления информации для пользователей, но и местом их работы. Посредством онлайн-сервисов можно решать различные задачи на различных этапах жизненного цикла программного продукта. Если команда решает вопросы на этапе проектирования, то сервисы могут использоваться для разработки анкет, опросов, проведения расчетов, создания прототипа продукта и подготовки презентации. Применение сервисов позволяет сэкономить время для подготовки необходимых материалов и денежные средства, которые необходимо потратить на приобретение соответствующего программного обеспечения. Многие сервисы поддерживают функцию совместной работы, что немаловажно в условиях необходимости организации удаленной работы.

Для хранения достаточно большого количества материалов по проекту возникает необходимость в организации единого пространства [16]. Подобное пространство позволит всем участникам команды иметь доступ к материалам проекта, оценивать вклад каждого участника в проект и следить за ходом его реализации. Решить данную проблему позволяет использование сервисов командной работы. Например, использование сервисов Trello, Timer позволяет наблюдать за процессом работы участников команды в режиме реального времени, безопасно хранить и корректировать разработанные материалы, вносить изменения в план работы и др.

Заключение

На сегодняшний день существует большое количество редакторов, конструкторов, программ для решения различных задач проектирования. Их выбор, во-первых, зависит от уровня компетенций проектировщика, во-вторых – от специфики решаемых задач. Применение онлайн-сервисов позволяет быстро и качественно выполнить операции, связанные с проектированием. Однако работа с данными сервисами возможна только при наличии доступа в интернет. Данный аспект необходимо учитывать команде разработчиков не только при выполнении работы, но и в процессе подготовки и проведения презентаций проектов.

Список литературы

1. ГОСТ 34.601-90. Межгосударственный стандарт. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания. Электронный ресурс. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-34-601-90 (дата обращения 06.11.2020).

2. Коцюба И.Ю., Чунаев А.В., Шиков А.Н. Основы проектирования информационных систем: учебное пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2015. 206 с.

3. Инюшкина О.Г. Проектирование информационных систем (на примере методов структурного системного анализа): учебное пособие. Екатеринбург: «Форт-Диалог Исеть», 2014. 240 с.

4. Каюмова А.В. Визуальное моделирование систем в StarUML. Казань: Казанский федеральный университет, 2013. 104 с.

5. Лозинская А.М., Яхабипова И.М. Сравнительный анализ ON-LINE сервисов для обучения школьников web-программированию // Актуальные вопросы преподавания

математики, информатики и информационных технологий. 2018. № 3. С. 252–259.

6. Online Test Pad – Онлайн тесты, опросы, кроссворды. [Электронный ресурс]. URL: https://onlinetestpad.com/ (дата обращения 06.11.2020).

7. Бавра О.Д. Проблемы создания web-сайта и пути решения / А.А. Александрова, М.Е. Онищенко // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. Т. 3. № 13. С. 1060–1061.

8. diagrams.net. [Электронный ресурс]. URL: https://app.diagrams.net/ (дата обращения 07.11.2020).

9. Барсуков А.Ю. Диаграмма Ганта в среде OFFICE 365 // Информационные системы и технологии в образовании, науке и бизнесе (ИСит-2014): материалы Всероссийской молодежной научно-практической школы. 2014. С. 151.

10. Сергеева А. Гибкие методологии разработки современных программных приложений // Системный администратор. 2015. № 1–2 (146–147). С. 82–85.

11. GanttPRO. [Электронный ресурс]. URL: https://ganttpro.com/ru/ (дата обращения: 05.11.2020).

12. Фаулер М. UML. Основы. СПб.: Символ Плюс, 2004. 192 с.

13. Швец Е.С. Эмоциональный дизайн как основа развития веб-сайта // Регионы. Города. Ракурсы и параллели: сборник. Теоретические доклады V Всероссийской творческой лаборатории. Омский гос. тех. ун.-т. Омское региональное отделение ВТОО «Союз художников России». 2016. С. 150–153.

14. Васева Е.С. Приложение для туристов с пользовательским контентом: технологии разработки / Е.С. Васева, А.В. Шутько // Наука и перспективы. 2019. № 4. С. 64–72.

15. Canva – онлайн-сервис создания картинок. [Электронный ресурс]. URL: https://www.canva.com/

16. Галкина Е.А. Интерактивные инструменты для совместной работы, проектов, сотрудничества (на примере сервиса TRELLO) // Модернизация культуры: знание как инструмент развития: материалы VII Международной научно-практической конференции. В 2 ч. / Под ред. С.В. Соловьевой, В.И. Ионесова, Л.М. Артамоновой. 2019. С. 246–249.

УДК 004.053

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ НА ОСНОВЕ РЕГИСТРА СДВИГА С ЛИНЕЙНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРЯДКА ТОЧКИ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ

Буковшин В.А., Чуб П.А., Черкесова Л.В.

ГОУ ВПО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, e-mail: chia2002@inbox.ru

В рамках данной статьи проводится теоретическое описание формирования псевдослучайного числа на основе порядка точки эллиптической кривой при помощи регистра сдвига с линейной обратной связью. Приводится структурное представление описания необходимых и достаточных условий для создания алгоритма. Предпосылками и одной из важных составляющих рассматриваемой статьи является выбор благоприятных параметров эллиптической кривой, поскольку далее придется, после формирования всех существующих точек эллиптической кривой, определять порядок соответствующей точки. Существенным фактором при формировании псевдослучайного числа служит выбор полинома степени *n*. Чем выше степень многочлена, тем больше случайных значений можно получить. Следовательно, целью данной статьи является разработка алгоритма, способствующего формированию генератора случайных чисел на основе выбранного корректного значения параметров эллиптической кривой. Таким образом, задачи, которые преследуются в данной статье, заключаются в теоретическом описании структуры алгоритма, а также в разработке программного средства, позволяющего получать результирующее число, которое определенным образом составляется на вводимом пользователем многочлене при помощи использования случайно сгенерированных битов последовательности регистров сдвига. Тем самым был реализован удобный интерфейс, позволяющий без особого труда взаимодействовать с программным обеспечением. В качестве результатов работы стоит отметить исследование зависимости формирования псевдослучайных чисел от выбранного полинома. Исследования показали, что при различных многочленах псевдослучайное число генерируется в виде некоторого закона распределения, в качестве которого выступает регистр сдвига с линейной обратной связью.

Ключевые слова: эллиптические кривые, ПСЧ, регистр сдвига, полином, генератор

AN ALGORITHM FOR THE FORMATION OF PSEUDORANDOM NUMBERS BASED ON A SHIFT REGISTER WITH LINEAR FEEDBACK USING THE ELLIPTIC CURVE POINT ORDER

Bukovshin V.A., Chub P.A., Cherkesova L.V.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: chua2002@inbox.ru

In the framework of this article, a theoretical description of the formation of a pseudo-random number based on the point order of an elliptic curve using a shift register with linear feedback is carried out. A structural representation of the description of the necessary and sufficient conditions for creating an algorithm is given. The prerequisites and one of the important components of this article is the selection of favorable parameters of the elliptic curve, since then, after the formation of all existing points of the elliptic curve, it is necessary to determine the order of the corresponding point. An important factor in the formation of a pseudo-random number is the choice of a polynomial of degree n. The higher the degree of the polynomial, the more random values can be obtained. Therefore, the aim of this article is to develop an algorithm that promotes the formation of a random number generator based on the selected correct value of the parameters of the elliptic curve. Thus, the tasks that are pursued in this article are the theoretical description of the structure of the algorithm, as well as the development of a software tool that allows you to get the resulting number, which is compiled in a certain way on the user input polynomial using randomly generated bits of a sequence of shift registers. Thus, a convenient interface was implemented that allows you to easily interact with the software. As the results of the work, it is worth noting the study of the dependence of the formation of pseudorandom numbers on the selected polynomial. Studies have shown that for various polynomials a pseudo-random number is generated in the form of a certain distribution law, which is a shift register with linear feedback.

Keywords: elliptic curves, pseudo-random numbers, shift register, polynomial, generator

Псевдослучайные числа (ПСЧ) – значения, которые возникают при помощи некоторого закона распределения. Если на мгновение задуматься, то закон распределения – это некоторая математическая функция, которая формирует значение на основе некоторого первоначального числа. Возникает вопрос, откуда взять начальное значение?

На самом деле существует довольно много способов для определения первоначального числа, либо взять максимально возможный диапазон значений и выбрать случайное число, либо при помощи некоторого алгоритма сформировать значение и так далее.

Для конкретной статьи был выбран алгоритм формирования начального чис-

ла с помощью порядка точки эллиптической кривой.

На данный момент существует множество интерпретации в понимании, что такое эллиптическая кривая. На самом деле достаточно будет понимать, что это просто множество точек, описываемое следующим уравнением [1]:

$$y^2 = x^3 + ax + b. \quad (1)$$

В первую очередь при работе с эллиптическими кривыми необходимо исключить особые кривые. То есть нужно прописать проверку, при которой неравенство (2) будет выполняться.

$$4a^3 + 27b^2 > 0. \quad (2)$$

После проверки эллиптической кривой необходимо отметить, что у каждого ненулевого элемента так называемой точки есть либо два корня, либо нет ни одного. Поэтому точки кривой разбиваем на пары следующего вида:

$$P = (x, y) \text{ и } \overline{P} = (x, -y). \quad (3)$$

Важным фактором в эллиптических кривых является то, что любая прямая, проходящая через две различные точки, пересекает данную кривую в третьей точке. Кроме точек перегиба, касательная, проведенная к кривой, пересекает её еще в одной точке. Симметрия кривой относительно Ox позволяет дать наглядное определение обратной к рассматриваемой точке.

Введем две операции, которые можно выполнять над точками [2]:

1) сложение точек – результат суммирования двух точек эллиптической кривой, в конечном итоге которого появляется обратная третья точка;

2) умножение точки на число – прибавление рассматриваемой точки к самой себе K раз.

Разберемся еще с одним понятием, таким как порядок точки кривой – число, при умножении на которое возникает точка на бесконечности.

Так как в дальнейшем подразумевается работа с ПСЧ, необходимо обратить внимание на следующие свойства, которые позволяют определить точки эллиптической кривой над конечными полями:

1) некоторые значения y^2 не имеют квадратного корня по модулю 13;

2) каждая точка имеет инверсию;

3) точки инверсии находятся на тех же самых вертикальных линиях.

После определения эллиптических кривых разберемся с понятием ПСЧ [3]. Важно отметить, что под случайной величиной стоит понимать некоторое значение, полученное в результате опыта. Причем появление той или иной величины нельзя предсказать совершенно точно до её измерения. Поэтому последовательность будет считаться случайной тогда и только тогда, когда следующий шаг никак не зависит от предыдущего.

Исходя из вышеописанного утверждения, формирование ПСЧ основывается на некотором алгоритме, который позволяет в результате получать значения, отличные друг от друга, и подчинен определенному заданному закону распределения.

На практике используются следующие способы генерации случайных чисел (ГСЧ):

– аппаратный, реализация которого не требует дополнительных вычислительных ресурсов ЭВМ по выработке случайных чисел, а необходима только операция обращения к внешнему устройству, так называемому датчику.

– табличный, реализация которого требует определенных затрат в памяти ЭВМ, так как полученные значения записываются в таблицу и хранятся на компьютере;

– алгоритмический, реализация которого при формировании случайных чисел требует больших затрат ресурсов ЭВМ с помощью специальных алгоритмов и реализующих программ.

Для достижения «идеального» ГСЧ необходимо придерживаться следующих правил:

– занимать минимальный объем машинной памяти и времени;

– иметь неповторяющиеся числа;

– быть воспроизводимым;

– содержать статистически независимые числа;

– состоять из квазиравномерно распределенных чисел.

Теперь, после краткого обзора про ПСЧ, разберемся с регистром сдвига с линейной обратной связью [4].

Данный регистр состоит из двух частей:

– регистр сдвига;

– функция обратной связи.

Пример регистра сдвига с линейной обратной связью (РСЛОС) представлен на рис. 1.

Рис. 1. Регистр сдвига с линейной обратной связью

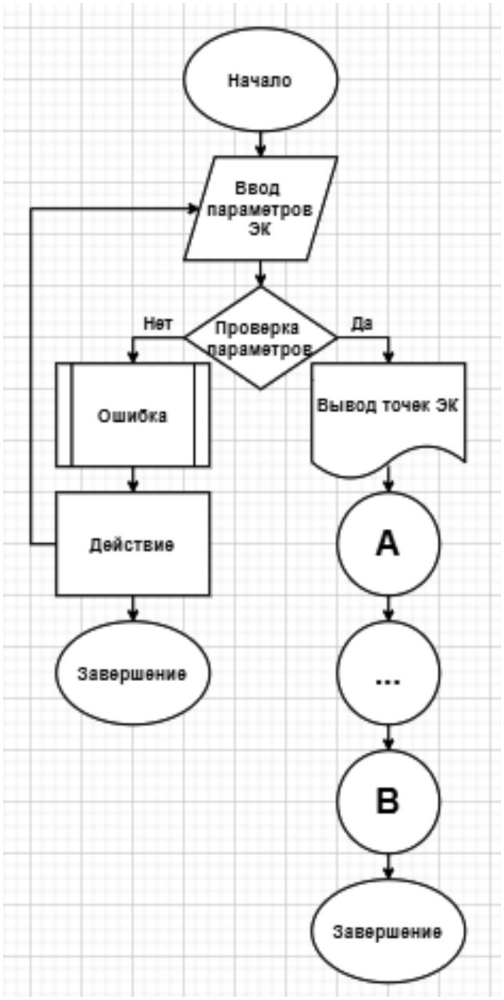


Рис. 2. Блок-схема программы (ч. 1)

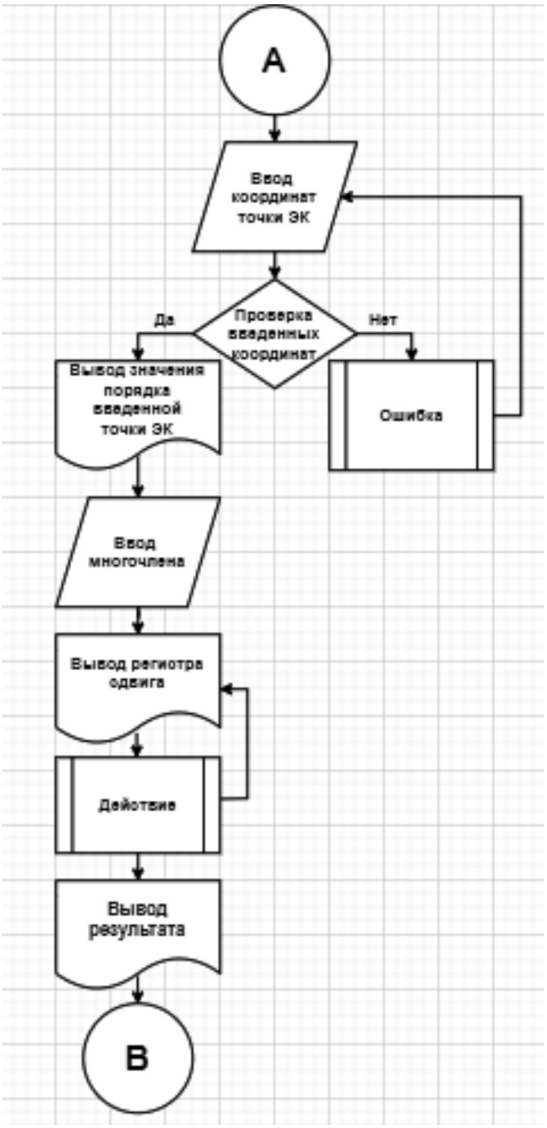


Рис. 3. Блок-схема программы (ч. 2)

Сам регистр сдвига представляет собой последовательность бит, число которых определяет длину регистра. При каждом извлечении бита все биты сдвигаются вправо на одну позицию в сторону младших разрядов.

В качестве обратной связи выступает любая математическая функция, которая производит действие над битами. В рамках статьи будет использоваться XOR-преобразование случайных бит. Запись в РСЛОС производится в виде полиномов. Важно отметить, что степень первого полинома указывает на количество битов в регистре сдвига, а степенные показатели остальных элементов полинома указывают, какие будут использованы ячейки регистра сдвига при съеме битов для математических операций.

Обобщая полученные утверждения, можно сказать, что *n*-битовый регистр сдвига с линейной обратной связью может находиться в одном из $2^n - 1$ внутренних состояний.

Рассмотренный регистр может генерировать ПСП с использованием эллиптических кривых над конечными полями.

Распишем пошагово алгоритм формирования ПСЧ:

– выбираем конечное поле;

– выбираем ЭК, в которой не будут присутствовать исключения;

– выбираем точку ЭК порядка K;

– выбираем примитивный многочлен для формирования регистра сдвига;

– вычисляем последовательность P с использованием M-последовательности q с выходом конечного элемента;

– преобразуем полученное значение в двоичную последовательность с использованием оператора отображения;

– после преобразуем целое число из двоичной последовательности [5].

Исходя из вышеописанного алгоритма, был разработан программный продукт, при помощи которого можно получить ПСЧ или ГСП с использованием порядка выбранной точки, принадлежащей ЭК. На блок-схеме, представленной на рис. 2–3, структурно показано тело программы.

Опишем более детально функционал программного средства.

Для удобства работы с программой был разработан интерфейс, представленный на рис. 4 [6].

На начальном этапе пользователю необходимо ввести параметры эллиптической кривой. В качестве проверки введем следующие параметры: E_{211} (5, -4). Данное действие продемонстрировано на рис. 5. Выбранное поле должно быть простым числом, а параметр «a» – взаимно простым с конечным полем.

Прежде чем продолжить работу с программой, нужно удостовериться в правильности введенных параметров. Для этого была разработана проверка, чтобы исключить возможность ошибочного ввода данных. Описанное действие выполняет специальная кнопка, представленная на рис. 6.

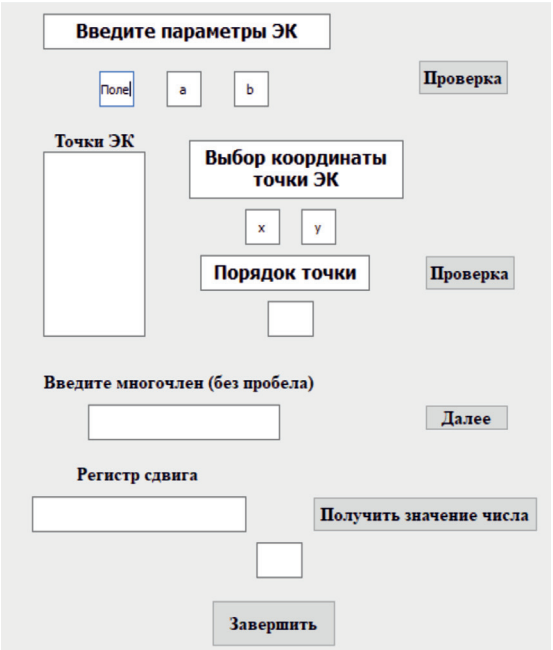


Рис. 4. Визуальное окно программы

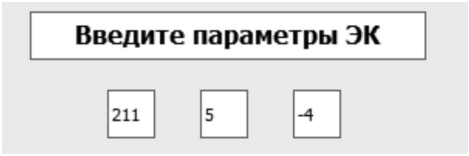


Рис. 5. Окно ввода данных

Рис. 6. Кнопка, отвечающая за проверку введенных данных

После проверки введенных параметров, если данные – корректны, то в том случае в окне, показанном на рис. 7, будет выведено множество точек, принадлежащих рассматриваемой эллиптической кривой.

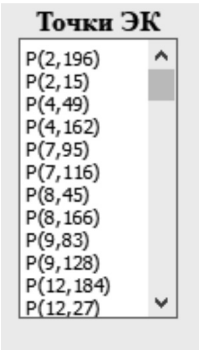


Рис. 7. Окно вывода точек ЭК

Исходя из рис. 7, можно утверждать, что введенные пользователем параметры – корректны, следовательно, в окне ввода координат точки ЭК, представленной на рис. 8, выбирается точка, которая принадлежит множеству точек эллиптической кривой. В виде исключения была написана проверка ввода корректных данных пользователем. За описанное действие отвечает кнопка, показанная на рис. 9.

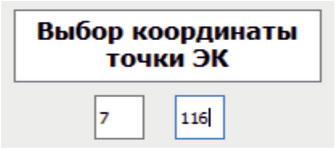


Рис. 8. Окно ввода координат точки ЭК

Рис. 9. Кнопка проверки корректности ввода данных

В том случае, если проверка успешно пройдена, определяется порядок выбранной точки, как видно из рис. 10.

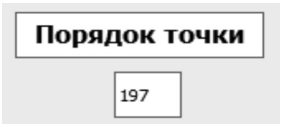


Рис. 10. Окно вывода порядка точки ЭК

После вывода числа пользователю предоставляется возможность для ввода многочлена вида

$$xn + x(n-1) + \cdots + x(n-(n-1)) + 1,$$

где n – максимальная степень многочлена и длина регистра сдвига.

В качестве проверки на рис. 11 продемонстрирован многочлен.

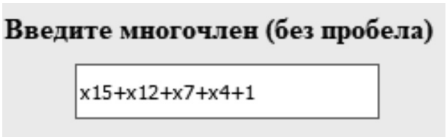


Рис. 11. Окно ввода полинома

После нажатия на кнопку далее, как показано на рис. 12, при помощи преобразований получаем регистр сдвига. Окно вывода представлено на рис. 13.

Рис. 12. Кнопка для преобразования регистра сдвига

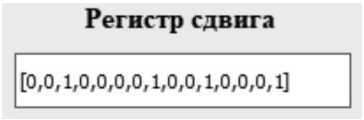


Рис. 13. Окно вывода сдвигового регистра

Затем, при нажатии на кнопку, показанную на рис. 14, формируется ПСЧ на основе полученного регистра сдвига, путем выбранной случайной последовательности бит регистра. Полученный результат отображается в окне вывода, представленном на рис. 15.

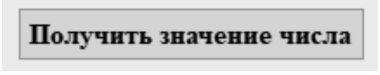


Рис. 14. Формирование ПСЧ

Рис. 15. Окно вывода результата

Если необходимо вывести сгенерированную последовательность без повторяющихся значений, а не одно, то необходимо нажимать на кнопку, показанную на рис. 14, до тех пор, пока не выведется окно вывода, которое продемонстрировано на рис. 16, и затем, нажав на кнопку, показанную на рис. 17, можно просмотреть сгенерированную последовательность, результат которой приведен на рис. 18. После окончания работы с программным средством необходимо нажать на кнопку, показанную на рис. 19.

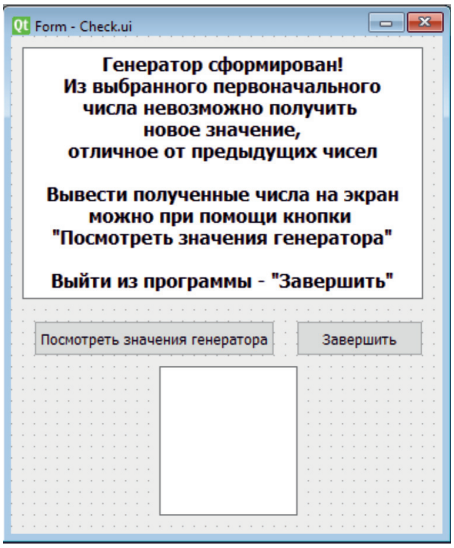


Рис. 16. Окно вывода

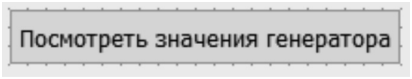


Рис. 17. Кнопка, отвечающая за вывод генератора

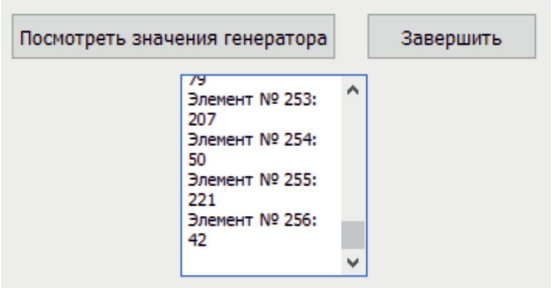


Рис. 18. Фрагмент полученной последовательности

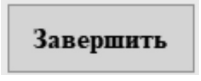


Рис. 19. Завершение работы программы

Теперь опишем функционал программного средства.

На рис. 20 можно наблюдать функцию, которая отвечает за проверку введенных пользователем параметров ЭК. Изначально проверяется на простоту. Затем, после прохождения условия, проверяется параметр a. Если рассматриваемый параметр имеет отрицательное значение, то к нему прибавляется значение поля, для исключения особых кривых. После необходимо, чтобы наибольший общий делитель поля, относительно параметра a, был равен 1.

Как можно увидеть на рис. 20, после прохождения всех условий, есть некая функция, которая называется result. Рассматриваемая функция отвечает за генерацию точек ЭК. Это можно наблюдать на рис. 21. В этой функции проверяется кривая на наличие особых кривых, когда значение дискриминанта меньше либо равно 0. Затем, если рассматриваемая ЭК не является особой, то генерируются точки ЭК и выводятся на экран пользователю.

На рис. 22 изображена функция, в которой используются введенные пользователем значения точки ЭК, в результате чего формируется вывод порядка точки, нажав на кнопку, которая представлена на рис. 9.

После определения порядка точки, на рис. 23–24 представлены фрагменты программного кода, которые отвечают за ввод пользователем полинома и вывода полученного регистра на экран, в результате нажатия на кнопку, которая представлена на рис. 12.

```
def psh_Btn(self):
    field, par_a, par_b = self.value()
    bool = checking.test_Ferma(field)
    if bool == False: self.check_Error()
    else:
        if par_a < 0: par_a+=field
        if par_a == 0: self.result(par_a, par_b, field)
        else:
            if checking.check_NOD(par_a, field) != 1: self.check_Error()
            else: self.result(par_a, par_b, field)
```

Рис. 20. Проверка введенных параметров ЭК

```
def result(self, a, b, field):

    bool_shit = checking.check_elleptic(a, b, field)
    if bool_shit == False:
        self.check_Error()
    else:
        list_x, list_y, count = point_definition.forming_point(a, b, field)
        str_1 = point_definition.output_point(list_x, list_y)
        print(str_1)
        self.textBrowser_7.setText(str_1)
```

Рис. 21. Функция генерации точек ЭК

```
def psh_Btn_1(self):
    field, par_a, par_b = self.value()
    val_coord_x, val_coord_y = self.input_value()
    list_all_coord_x, list_all_coord_y, count = point_definition.forming_point(par_a, par_b, field)
    bool = checking.check_point(val_coord_x, val_coord_y, list_all_coord_x, list_all_coord_y)
    if bool == False:
        self.check_Error_2()
    else:
        val = checking.point_order(count, val_coord_x, val_coord_y, par_a, field)
        self.generator_numbers.append(val)
        self.lineEdit_4.setText(str(val))
```

Рис. 22. Определение порядка точки ЭК

```
def psh_Btn_2(self):
    val = self.lineEdit_7.text()
    self.lineEdit_8.setText(work_with_poly.poly(val))
```

Рис. 23. Фрагмент кода, отвечающий за вывод регистра сдвига на экран

```
def poly(val):
    buff = []
    while len(val) != 0:
        ind = get_length_reg(val)
        if ind == len(val)-1:
            if val != '1': buff.append(int(val[1:]))
            else: buff.append(0)
            break
        else:
            buff.append(int(val[1:ind]))
            val = val[(ind+1):]
    length_reg = buff[0]
    buff.remove(buff[0])
    reg = shift_reg(buff, length_reg)
    return conv_str_2(reg)
```

Рис. 24. Программный код, в результате которого формируется регистр сдвига

```
def psh_Btn_3(self):
    val = int(self.lineEdit_4.text())
    print(self.generator_numbers)
    self.result_1(val, self.generator_numbers)
```

Рис. 25. Функция вывода значения на экран

```
def result_1(self, val, buff_lst):
    val_1 = self.lineEdit_8.text()
    reg = work_with_poly.form_reg(val_1)
    self.lineEdit_9.setText(str(self.return_val(buff_lst, work_with_poly.bin_to_int(val, reg), reg)))

def return_val(self, generator_numbers, val, shift_register):

    while 1:
        if checking.check_elem(generator_numbers, val) == False:
            if self.count == len(generator_numbers):
                self.window = Check_1(generator_numbers)
                self.window.show()
                self.close()
                break
            else:
                val = work_with_poly.bin_to_int(generator_numbers[0], shift_register)
                print('Value parameter is count for number not input in list: ', self.count)
                self.count += 1
        else:
            generator_numbers.append(val)
            self.count = 1
            print('Count value in list: ', len(generator_numbers), '\nValue parameter is count: ', self.count)
            return val
```

Рис. 26. Фрагмент кода, отвечающий за формирование ПСЧ

Из рис. 25 можно просмотреть функцию, которая по начальному значению, а именно по порядку точки ЭК, выводит каждое последующее уникальное значение ПСЧ, которое основано на регистре сдвига с линейной обратной связью, нажав на кнопку, показанную на рис. 14.

Затем за получение ПСЧ, или сгенерированной последовательности, отвечает функция, которая представлена на рис. 26.

Рассматриваемая функция включает в себя проверку полученного значения с теми, которые уже присутствуют в сгенерированной последовательности. Если данное число присутствует, то анализируется последующее полученное число, в результате воздействия регистра сдвига. Если уже все числа – конечны и невозможно получить уникальное значение, которое может включать в себя генератор ПСЧ, то выводится сообщение, как показано на рис. 16, в результате чего можно просмотреть сгенерированную последовательность.

И, наконец, на рис. 27 проиллюстрирована функция, отвечающая за завершение работы программы.

```
def psh_Btn_4(self):
    sys.exit()
```

Рис. 27. Функция завершения работы программы

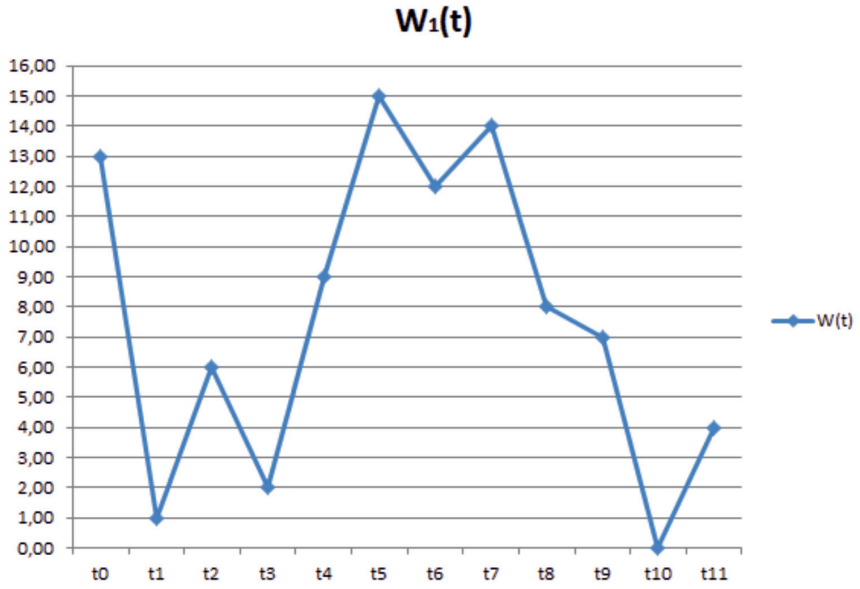


Рис. 28. График зависимости ПСЧ от времени

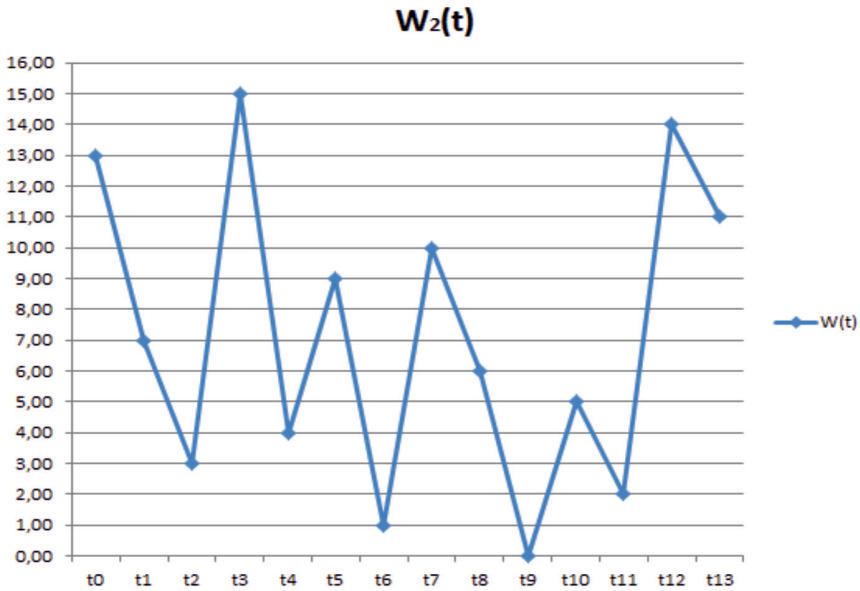


Рис. 29. График зависимости ПСЧ от времени

Исследование показателей сгенерированных ПСЧ относительно выбранного многочлена

В рамках эксперимента для улучшения наглядности результатов значения параметров ЭК выбирались одинаковыми. Стоит принять во внимание тот факт, что в основе формирования генератора ПСЧ на основе порядка точки ЭК лежит многочлен. Таким образом, в качестве исследования выбирались несколько различных полиномов.

На рис. 28 приведена зависимость полученного ПСЧ относительно временного промежутка, то есть в определенный момент после нажатия на кнопку, показанную на рис. 14, генерировалось случайное число. Выбирается полином вида: $x^{10} + x^7 + x^5 + x + 1$ и при помощи программного средства формируется генератор ПСЧ.

В качестве W выступает последовательность случайных чисел, а t – временной промежуток.

На рис. 29 представлена зависимость ПСЧ от времени, но отличие состоит в том, что многочлен имеет следующий вид: $x^5 + x^4 + x^3 + x$.

Таким образом, можно сделать вывод, что при различных полиномах ПСЧ генерируются в определенный момент времени по некоторому закону распределения, основанного на первоначальном значении, в качестве которого выбирается порядок точки ЭК.

В виде закона распределения выступает регистр сдвига с линейной обратной связью.

Заключение

Программа, которая была разработана в ходе статьи, позволяет:

1) определять корректность введенных значений;

2) удобно работать пользователю;

3) формировать ПСЧ на основе первоначального значения в виде порядка точки и регистра сдвига с линейной обратной связью;

4) проводить исследования при формировании генератора ПСЧ.

Список литературы

1. Жданов О.Н., Чалкин В.А. Эллиптические кривые. Основы теории и криптографические приложения: лабораторный практикум. М.: URSS, 2013. 200 с.

2. Болотов А.А., Гашков С.Б., Фролов А.Б., Часовских А.А. Элементарное введение в эллиптическую криптографию // Алгебраические и алгоритмические основы: учебное пособие. М., 2019. 376 с.

3. Слеповичев И.И. Генераторы псевдослучайных чисел: учебное пособие. М.: Академия, 2017. 118 с.

4. Хорев П.Б. Методы и средства защиты информации в компьютерных системах. М.: Академия, 2007. 256 с.

5. Иванов М.А., Чугунков И.В. Криптографические методы защиты информации в компьютерных системах и сетях: учебное пособие. М., 2012. 400 с.

6. Дональд Кнут. Искусство программирования. Т. 2. Получисленные алгоритмы. М.: «Вильямс», 2007. 832 с.

УДК 621.311

РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ PVLIB

Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.

Калужский филиал ФГОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, e-mail: patrol8@yandex.ru

С каждым годом альтернативные (нетрадиционные) источники энергии получают всё большее распространение в мире, особенно в регионах, где отсутствует возможность использования ископаемых видов топлива. Они обладают некоторыми неоспоримыми достоинствами. В частности, энергию Солнца можно использовать практически по всему миру, и данный энергоисточник является экологически чистым. Быстрыми темпами развивается солнечная энергетика с использованием фотоэлектрических панелей, отличающихся универсальностью, простотой монтажа и эксплуатации. Исследованию характеристик именно этого устройства преобразования энергии и посвящена данная статья. Вначале приведён краткий обзор достоинств и недостатков фотоэлектрических систем. Рассмотрены сложности при определении характеристик солнечных электростанций, вызванные изменчивостью интенсивности солнечного излучения, достигающего приёмников энергии (иррадиации) и необходимостью учёта широкого круга действующих факторов. Далее описывается методика определения характеристик солнечных электростанций с использованием универсального, свободно распространяемого языка программирования Python. Эта программная среда выбрана по причине открытости кода, популярности в современном научном мире, а также благодаря существованию постоянно совершенствуемой специальной библиотеки для расчёта солнечных панелей PVlib. Описана последовательность реализации алгоритмов расчёта некоторых характеристик: зависимости загрязнённости панелей от изменяющегося во времени количества дождевых осадков, вычисленной для типичного метеорологического года; углов наклона одноосевого трекера (устройства позиционирования панели) от времени суток; вольтамперной характеристики панели при разных условиях работы. Вывод результатов осуществлён с помощью библиотек Matplotlib и Seaborn в виде наглядных графических зависимостей. Произведён краткий анализ полученных графиков. Использование принципов расчёта, изложенных в статье, даёт проектировщику солнечных электростанций удобный инструмент не только для получения характеристик рассматриваемых моделей фотоэлектрических модулей, но и технико-экономического обоснования их применения в заданном регионе. В заключение сделаны выводы о проделанной работе, приведены направления дальнейшего совершенствования рассмотренной методики и её использования не только для определения характеристик солнечных модулей, но и для исследования прочих энергетических установок.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, солнечная электростанция, фотоэлектрические системы, энергия Солнца, модуль PVlib

CALCULATION OF SOLAR POWER PLANT CHARACTERISTICS USING PVLIB SOFTWARE MODULE

Ilichev V.Yu., Yurik E.A.

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, e-mail: patrol8@yandex.ru

Every year, alternative (unconventional) energy sources are becoming more and more common in the world, especially in regions where there is no possibility of using fossil fuels. They have some undeniable advantages. In particular, solar energy can be used almost all over the world and this energy source is environmentally friendly. Solar power is rapidly developing using photovoltaic panels, which are versatile, easy to install and operate. The study of the characteristics of this particular energy conversion device is devoted to this article. At the beginning there is a brief overview of the advantages and disadvantages of photovoltaic systems. Difficulties in determining the characteristics of solar power plants, caused by the variability in the intensity of solar radiation, reaching energy receivers (radiation) and the need to take into account a wide range of existing factors, are considered. The following describes a technique for determining the characteristics of solar power plants using the universal, freely distributed Python programming language. This software environment was chosen due to the openness of the code, popularity in the modern scientific world, as well as the existence of a constantly improving special library for calculating solar panels PVlib. The sequence of implementation of algorithms for calculating some characteristics is described: the dependence of panel contamination on the amount of rainfall, varying in time, calculated for a typical meteorological year; inclination angles of the single-axis tracker and solar module from the time of day; voltammeter characteristics of the panel under different operating conditions. The results are output using Matplotlib and Seaborn libraries in the form of visual graphical dependencies. A brief analysis of the resulting schedules has been performed. Using the calculation principles set forth in the article gives the designer of solar power plants a convenient tool not only to obtain the characteristics of the solar modules in question, but also a feasibility study of their use in a given region. Conclusions were made about the work done, directions of further improvement of the considered methodology and its use are given not only for determining the characteristics of solar modules, but also for studying other power plants.

Keywords: alternative energy, solar power plant, photovoltaic systems, solar power, PVlib module

В процессе эволюции энергетической отрасли среди методов выработки электричества всё большее место занимает использование альтернативных (нетрадиционных) энергоисточников. Наиболее распространёнными из них в настоящее время являются ветрогенерационные, фотоэлектрические, геотермальные, приливные электростанции [1].

Прогресс перечисленных источников энергии связан со следующими факторами [2]:

– отсутствием вредных выбросов при их эксплуатации;

– увеличением стоимости ископаемых топлив, используемых в традиционной энергетике;

– наличием пространств, где нерационально или невозможно использование традиционных источников (например, в отдалённых от цивилизации регионах, в космосе);

– снижением удельной стоимости и повышением КПД альтернативных энергоустановок.

Солнечная энергетика считается одной из наиболее перспективных [3], т.к. Солнце является мощнейшим источником энергии. Цель совершенствования солнечных установок – максимальное использование энергии при минимальных экономических затратах и воздействии на окружающую среду.

В статье рассматривается один из типов солнечных электростанций (СЭС) – солнечные фотоэлектрические модули (панели, батареи), технологии проектирования и изготовления которых совершенствуются в настоящее время наиболее высокими темпами.

Россия располагает большим количеством регионов, где выгодно преобразовывать солнечную энергию в электрическую при помощи солнечных батарей [4]. На большей части России можно успешно использовать солнечные батареи в сезонном режиме, а в районах с числом часов солнечного сияния более 2000 часов/год – круглый год. Солнечные батареи выгодно подключать в параллель к существующим электрическим сетям, так как максимальное потребление энергии предприятиями обычно совпадает с дневным временем суток, когда солнечные электростанции вырабатывают наибольшее количество энергии.

К сожалению, использование энергии Солнца сталкивается с рядом проблем:

– часть лучистой энергии поглощается и отражается атмосферой;

– для повышения эффективности использования фотоэлектрических панелей необходима система их позиционирования по отношению к Солнцу, меняющему положение на небе в течение суток;

– современные солнечные модули даже с позиционированием всё ещё характеризуются низким КПД (порядка 10-25 %), хотя по мере развития технологии их эффективность повышается (уже появились фотоэлементы из новых материалов с эффективностью более 40 %).

Интенсивность солнечной радиации, достигающей поверхности Земли, зависит от времени суток, года, региона и метеорологических условий.

Иррадиацией (переводится как «приход солнечной радиации») называется мгновенное значение мощности солнечного излучения в некоторой области, которое измеряется в ваттах на квадратный метр. Статистику по величине иррадиации для конкретного региона в зависимости от времени и даты можно найти в специальных метеорологических базах данных.

Энергия солнечного излучения (Вт×ч) на один квадратный метр, подсчитанная за день или за год, называется инсоляцией и измеряется в Вт×ч/м^2 в день (год). Инсоляция меняется в среднем от 1000 кВт×ч/м^2 в год для северо-европейских стран, до 2000-2500 кВт×ч/м^2 в год для пустынь [5].

Измерения освещенности также могут быть классифицированы по учитываемой части солнечного света. Например, некоторые измерения могут учитывать только прямое излучение, другие – только диффузное (рассеянное) излучение, а третьи – как прямое, так и диффузное (иногда называемое «общим») излучение. В связи с этим при измерении различают следующие виды иррадиации: прямая нормальная (DNI), внеземная (Ea), диффузная горизонтальная (DHI), глобальная горизонтальная (GHI).

Перечисленные понятия являются основой использованных в данной статье методик автоматизированного расчёта характеристик солнечных электростанций, позволяющих помочь обосновать целесообразность использования СЭС в рассматриваемом регионе, упростить их проектирование и оптимизировать параметры.

К началу XXI века распространение получили два подхода к расчёту фотоэлектрических систем. Первый подход используется для предварительных, прикидочных расчётов выработки электроэнергии солнечными панелями с использованием простых зависимостей (например, бесплатный онлайн-калькулятор PVWatts) или графиков из эксплуатационной документации.

Второй подход предполагает применение специального программного обеспечения для детального проектирования панелей с учётом особенностей технологии их изготовления, применяемых материалов, условий эксплуатации и многих других факторов (например, с помощью программ Helioscope, HOMER Pro, Polysun, PV*SOL, PVsyst, обзор которых приведён в [6]). Данные программы являются платными и в основном создаются по сложным моделям, основанным на множестве теоретических

и экспериментальным данных, и для конечного пользователя представляют собой «чёрный ящик»; у исследователя существует только возможность варьирования некоторого объёма исходных параметров и оценки ограниченного числа полученных характеристик.

В связи с развитием языков и методов программирования последнее десятилетие явилось отправным для появления способов, подходящих для быстрой и точной оценки эффективности работы солнечных панелей и глубокого понимания влияния на неё различных факторов.

Целью данного исследования являлась апробация таких современных программных продуктов, позволяющих получать характеристики фотоэлектрических систем. Для этого разработаны программы для ЭВМ с использованием универсального, свободно распространяемого языка программирования Python и разработанного для проектирования солнечных панелей модуля PVlib. В основу данной библиотеки положены физические принципы преобразования энергии с помощью полупроводников и наиболее совершенные на данный момент вычислительные методики, оформленные в виде команд с необходимым набором изменяемых параметров. Дополнительный набор команд для визуализации получаемых результатов реализован с использованием графических библиотек Matplotlib и Seaborn [7].

Материалы и методы исследования

Использование инструмента с открытым исходным кодом, такого как PVlib-Python, помогает проектировщикам активно влиять на исполнение алгоритмов вычисления моделей и совершенствовать их, а не полагаться на процесс обработки данных «черным ящиком», как это было в используемых ранее системах проектирования фотоэлектрических систем. PVlib-Python позволяет пользователю задавать местоположение и особенности конфигурации системы, включая характеристики конкретного фотоэлектрического модуля и модели инвертора. Система может быть смоделирована с использованием погодных данных за так называемый типичный метеорологический год (Typical Meteorological Year, сокращённо TMY) или измеренных за какой-либо промежуток времени реальных погодных параметров.

С учётом вышеизложенного программы для расчёта характеристик фотоэлектрических систем на языке Python должны содержать блоки, реализующие следующие функции:

1) подключение специализированных библиотек команд;

2) импорт метеорологических параметров из баз данных для заданного местоположения и по заданным временным отсчётам;

3) ввод базовых параметров рассчитываемого солнечного модуля;

4) расчёт необходимых характеристик модуля с помощью команд PVlib;

5) визуализация рассчитанных зависимостей в виде качественных графиков.

В качестве входных параметров для моделей функционирования фотоэлектрических систем используются данные о погоде, и в частности об иррадиации.

Возможности модуля PVlib позволяют построить множество характеристик солнечных панелей, но ввиду их большой численности приводятся примеры вычисления лишь некоторых:

– углов наклона одноосевого трекера (позиционера панели в вертикальной плоскости) в зависимости от положения Солнца на небе;

– вольтамперных характеристик, зависящих от иррадиации и температуры нагрева панелей.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим вначале построение зависимости угла наклона одноосевого (вертикального) солнечного трекера от времени суток в течение одного дня. Данная модель позволяет проследить особенность работы трекера в рассматриваемой местности.

Угол поворота панели определяется в собственной системе координат. Азимут трекера определяет направление оси Y, ось X повёрнута на 90 градусов по часовой стрелке относительно оси Y и параллельна поверхности Земли, а положительная ось Z ориентирована к Солнцу. Вычисляемый угол поворота tracker_theta указывает положение трекера относительно горизонтали.

Так как позиционирование трекера в первую очередь зависит от положения Солнца на небе, первым этапом моделирования является вычисление движения Солнца. Модули должны поворачиваться по отношению к Солнцу таким образом, чтобы максимизировать иррадиацию.

Вычислялись углы наклона (вертикального поворота) трекера в районе города Москва, для которого заданы широта, долгота и высота над уровнем моря. Для определения положения Солнца в зависимости от времени совместно с библиотекой PVlib использованы функции библиотеки Pandas. Результаты расчёта углов наклона трекера представлены на рис. 1.

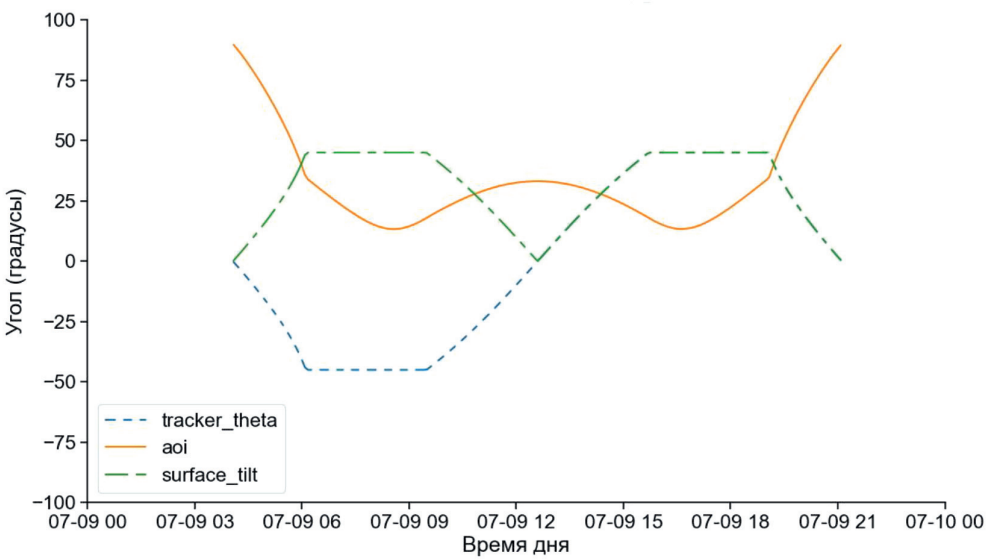


Рис. 1. Углы поворота одноосевого солнечного трекера

По результатам расчёта выводятся графики, отображающие зависимости следующих углов от времени суток за 9 июля 2020 г.: угла наклона трекера (tracker_theta) к Земле, поверхности трекера (surface_tilt) – угла между поверхностью трекера и поверхностью Земли, а также угла падения прямой иррадиации (DNI) на повернутую поверхность трекера (aoi).

Была разработана ещё одна программа, использующая библиотеку PVlib, – для расчёта вольтамперной характеристики солнечного модуля (IV-кривой). В качестве примера рассмотрен расчёт модуля CS5P-220M с максимальной мощностью 220 Ватт производства компании Canadian Solar.

Вначале задаются параметры рассматриваемой солнечной панели, взятые из [8].

Вычисление кривой IV является двухэтапным процессом. Для реализации данных этапов существует несколько методов. В рассматриваемом примере на первом этапе использована модель Де Сото [9] для расчёта электрических параметров вольтамперной характеристики при определенной освещенности и температуре с использованием базовых характеристик модуля при эталонных условиях. Затем, на втором этапе вычислений, эти параметры используются для вычисления IV-кривой модуля путем решения так называемого однодиодного уравнения с использованием метода В. Ламберта для заданных рабочих условий (иррадиации и температуры) солнечного модуля.

Результат расчёта оформлен в графическом виде с использованием библиотеки Matplotlib (рис. 2).

Рис. 2 представляет собой IV-кривые, построенные для разных условий работы. Кривые характеризуются наличием практически горизонтального участка, соответствующего току короткого замыкания электрических выводов панели. Ток короткого замыкания зависит от следующих параметров: площади и оптических свойств солнечного элемента, мощности и спектра падающего излучения. Ещё одна важная характеристика солнечной панели – напряжение холостого хода, для данного модуля примерно равное 50 Вольт (при токе, равном нулю).

Жирными кружками обозначены точки выработки максимальной мощности. В современных цепях регулирования солнечных панелей существуют устройства отслеживания этих точек, позволяющие добиться максимально возможного съёма мощности с панели при любых условиях освещения и рабочей температуре.

Заключение

Таким образом, в процессе достижения цели данной работы – демонстрации возможностей библиотеки PVlib для определения характеристик фотоэлектрических модулей – были решены следующие задачи:

– произведён краткий обзор альтернативных источников электрической энергии, и в частности достоинств и недостатков солнечных энергоустановок;

– описаны программные средства языка Python для реализации расчёта характеристик фотоэлектрических модулей;

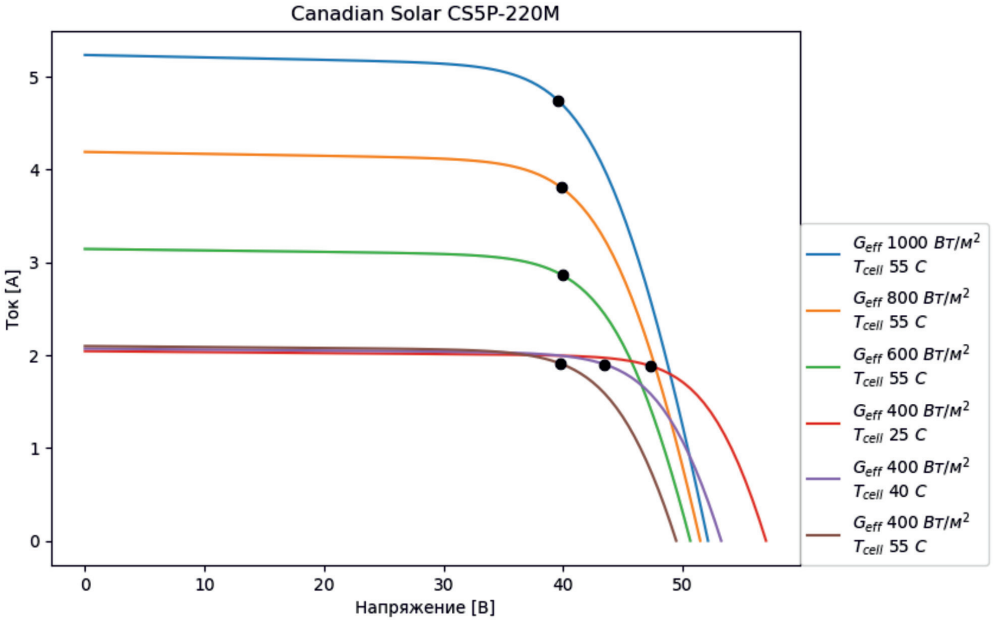


Рис. 2. Вольтамперные характеристики солнечного модуля для разных рабочих условий (легенда для графиков представлена в порядке расположения кривых – сверху вниз)

– разработаны программы для демонстрации некоторых возможностей библиотеки PVlib-Python для определения характеристик СЭС;

– в качестве примера произведён расчёт углов наклона одноосевого трекера в зависимости от положения Солнца на небе в Московском регионе, вольтамперных характеристик панели Canadian Solar CS5P-220M в зависимости от иррадиации и рабочей температуры.

Созданные в ходе описанных исследований программы позволяют для рассматриваемой местности рассчитать характеристики различных доступных солнечных энергоустановок и обосновать выбор наиболее подходящей для конечного потребителя модели.

Проведённая работа показала удобство использования языка Python для исследования характеристик установок альтернативной энергетики. Преимущество использования библиотек языка программирования Python было доказано авторами при рассмотрении других типов энергетического оборудования [10; 11].

Следует отметить, что сформировавшееся мировое сообщество, занимающееся развитием библиотеки PVlib-Python, разрабатывает и внедряет новые функции для решения основных задач моделирования работы солнечных модулей, упрощения ввода некоторых функций и повышения гибкости библиотеки. Это должно привлечь более широкий круг пользователей и разработчиков и, следовательно, привести к дальнейшему совершенствованию солнечных фотоэлектрических панелей в будущем.

Список литературы

1. Бухарицин П.И. Альтернативные источники энергии (учебно-методическое пособие по дисциплине «Альтернативные источники энергии») // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 8–2. С. 189.

2. Бухтияров В.В., Рябыкин А.А., Рындин Р.А., Золкин Д.О., Лютиков М.П. Сравнительный анализ альтернативных источников энергии // Сборник научных статей 3-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. 2018. С. 50–53.

3. Рябинин Е.А., Нестерова Н.В. Влияние солнечной энергетики на экологию и развитие мировой энергетики // Материалы международной научно-практической конференции. 2019. С. 53–56.

4. Оценка энергии солнечного излучения. [Электронный ресурс]. URL: https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/techirrad.htm (дата обращения: 28.08.2020).

5. Солнечное излучение. [Электронный ресурс]. URL: http://uekvarma.ru/poleznaya-informatsiya/solnechnoe-izluchenie (дата обращения: 28.08.2020).

6. Моделирование солнечных электростанций: обзор программного обеспечения. [Электронный ресурс]. URL: https://avenston.com/ru/articles/performance-modeling-tools-overview/ (дата обращения: 28.08.2020).

7. Кизянов А.О. Использование палитр Seaborn в построении графиков на языке программирования Python // Постулат. 2018. № 7 (33). С. 18.

8. Canadian Solar CS5P-220M (220W) Solar Panel. [Электронный ресурс]. URL: http://www.solardesigntool.com/components/module-panel-solar/Canadian-Solar-Inc./832/CS5P-220M/specification-data-sheet.html (дата обращения: 28.08.2020).

9. W. De Soto. Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance. Solar Energy. 2006. V. 80. P. 78–88.

10. Ильичев В.Ю., Юрик Е.А. Исследование и оптимизация термодинамического цикла газотурбинного двигателя // Научное обозрение. Физико-математические науки. 2020. № 1. [Электронный ресурс]. URL: https://physics-mathematics.ru/article/view?id=90 (дата обращения: 28.08.2020).

11. Ильичев В.Ю., Юрик Е.А. Разработка программы для исследования термодинамического цикла Ренкина // Научное обозрение. Технические науки. 2020. № 2. С. 32–36.

УДК 004.946

ОТСЛЕЖИВАНИЕ И РЕНДЕРИНГ ИЗОБРАЖЕНИЙ В КОНТЕКСТЕ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМАРТФОНА

Маслов А.С., Козина А.В., Белов Ю.С.

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, филиал, Калуга, e-mail: maslow.tema@yandex.ru

Дополненная реальность (AR) – это концепция, которая была введена в 1960-е гг., но с тех пор никаких крупных приложений AR не появилось. Это было в основном из-за аппаратных и программных требований AR, но ситуация изменилась в недавнем прошлом, с успехом смартфонов. Современные смартфоны оснащены всем необходимым оборудованием, а также достаточной вычислительной производительностью для отслеживания маркеров и визуализации объектов для дополненной реальности. В настоящее время существует несколько различных видов отслеживания маркеров для достижения эффекта дополненной реальности. В данной статье рассмотрены следующие варианты отслеживания маркеров: невизуальное отслеживание, визуальное отслеживание и визуальное отслеживание без маркеров, которое совмещает оба подхода. Рассмотрен процесс рендеринга изображения. Приведен пример технологии, которая позволяет достичь фотореалистичного изображения, а также технологии рендеринга изображений в реальном времени. Сделаны сравнения текущих технологий, которые показывают, что фотореалистичного рендеринга изображений в реальном времени пока что невозможно достичь из-за недостаточной вычислительной мощности, но благодаря развитию Vulkan API эта возможность может появиться в ближайшем будущем.

Ключевые слова: дополненная реальность, смартфон, рендеринг, фотореалистичный рендеринг, отслеживание маркера

TRACKING AND RENDERING IMAGES IN THE CONTEXT OF AUGMENTED REALITY USING A SMARTPHONE

Maslov A.S., Kozina A.V., Belov Yu.S.

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga branch, Kaluga: e-mail: maslow.tema@yandex.ru

Augmented reality (AR) is a concept that was introduced in the 60s of the 20th century, but no major AR applications have appeared since. This was mainly due to the hardware and software requirements of AR, but the situation has changed in the recent past, with the success of smartphones. Modern smartphones are equipped with all the necessary equipment, as well as sufficient computing performance to track markers and visualize objects for augmented reality. Currently, there are several different types of tracking markers to achieve the effect of augmented reality. This article discusses the following options for tracking markers: non-visual tracking, visual tracking, and visual tracking without markers, which combines both approaches. The process of image rendering is considered. An example of a technology that allows you to achieve a photorealistic image, as well as a technology for rendering images in real time. The comparison of current technologies shows that the achievement of photorealistic image rendering in real time is not yet possible due to insufficient computing power, but thanks to the development of the Vulkan API, this feature may appear in the near future.

Keywords: augmented reality, smart-phone, rendering, photo-realistic rendering, tracking

Чтобы получить достоверный опыт дополненной реальности, визуализированный дополненный объект должен быть правильно наложен на изображение камеры. Для достижения регистрации изображения используется процесс, называемый отслеживанием [1]. Отслеживание может быть достигнуто несколькими способами, отличающимися входными данными, используемыми для этого.

В данной статье будут приведены различные методы отслеживания, а также методы рендеринга объектов, полученных в результате отслеживания с использованием смартфона.

Материалы и методы исследования

Идеальный алгоритм отслеживания должен поддерживать наложение дополненного объекта таким образом, чтобы объект не был распознан как дополненный. Визуализируемое изображение должно отображаться точно в нужном месте, даже когда наблюдатель ходит вокруг, чтобы увидеть его под разными углами. Подходы к отслеживанию можно разделить на две группы, в зависимости от использования входного изображения с реальной сцены. Невизуальное отслеживание способно работать без обработки изображения реального мира, в то время как визуальное отслеживание зависит от распознавания паттернов во входном изображении, чтобы перекрыть дополненный объект.

Отслеживание

Невизуальное отслеживание**.** Отслеживание без визуального ввода должно использовать другие данные для реализации регистрации изображения. Реальный мир,

камера и дополненный объект должны быть проецированы в одну общую систему координат. Знание местоположения и поворота камеры имеет важное значение для определения угла обзора дополненного объекта. Также важно желаемое положение дополненного объекта. Расположение камеры смартфона измеряется многими датчиками. Получить местоположение можно по сети GSM, Wi-Fi или по глобальным системам позиционирования, предоставляемым спутниками из космоса. Последний упомянутый метод является наиболее точным. Настройка местоположения дополненного объекта с невизуальным отслеживанием осуществляется путем установки желаемого местоположения объекта по геологическим координатам реального мира. Таким образом, одна общая система координат для регистрации изображений – это геологические долгота, высота и широта.

Когда задано желаемое положение объекта, необходимо измерить местоположение и поворот камеры (в данном случае камеры мобильного устройства). Для измерения местоположения прибора используются встроенные геолокационные чипы, обычно GPS, ГЛОНАСС и GALILEO [2]. Все эти локационно-измерительные системы работают по одному и тому же принципу. Спутники в космосе, вращающиеся вокруг Земли, передают сигналы с временной информацией, позволяя антенне целевого устройства принимать этот сигнал и вычислять расстояние от спутника. Для фиксации точного расположения в трехмерном пространстве необходим сигнал по меньшей мере от трех спутников. Точность определения местоположения увеличивается с увеличением количества спутников, пример показан на рис. 1.

Из-за расстояния, которое проходит сигнал, точность этого метода обычно составляет менее 3 м. С ухудшением погодных условий или определением в районах с узкой видимостью неба точность становится намного хуже. Однако одновременное использование нескольких навигационных систем для определения местоположения одного предмета улучшает точность. Смартфоны также оснащены антеннами A-GPS (Assisted GPS), когда подключение к интернету используется для загрузки последних сообщений о местоположении спутников, чтобы получить более точные результаты и более быструю блокировку местоположения.

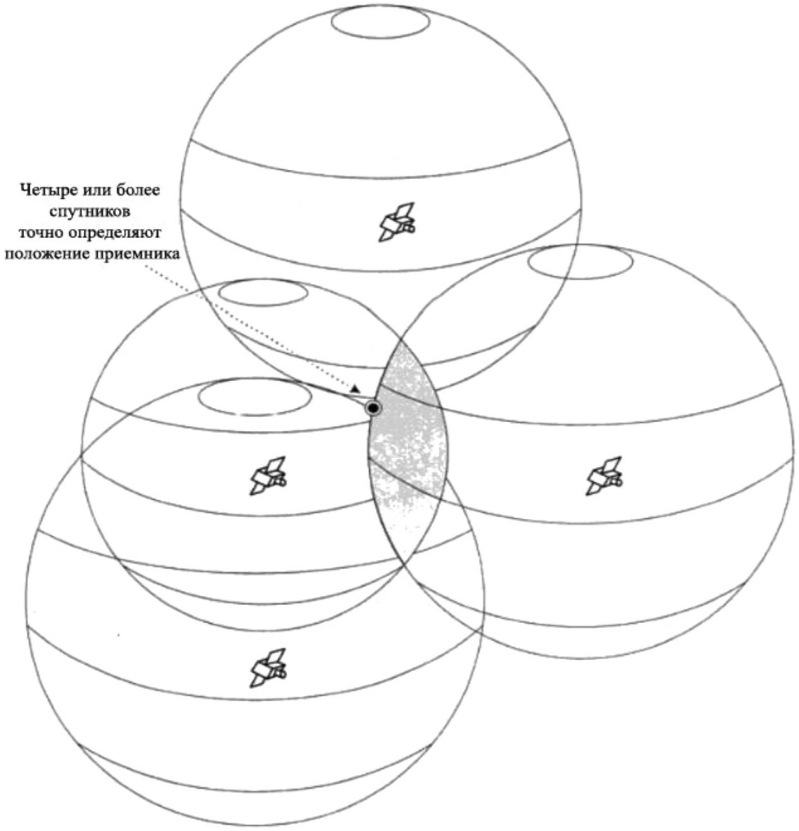


Рис. 1. Определение местоположения с помощью четырех спутников

Когда местоположение устройства определено, необходимо измерить наклон камеры, чтобы правильно сделать регистрацию изображения. Для этого используются три датчика: акселерометр, гироскоп и цифровой компас. Микросхема акселерометра измеряет ускорение устройства по трем осям, предоставляя информацию о незначительных перемещениях устройства. Гироскоп вычисляет наклон прибора, также по трем осям, а цифровой компас определяет относительное вращение прибора от северного магнитного полюса Земли.

Визуальное отслеживание. Визуальные методы отслеживания не используют информацию из других источников. Единственным вводом данных, необходимым для достижения регистрации изображения, является само изображение камеры. Алгоритмы такого типа слежения должны реализовывать распознавание изображений. Для этого используются маркеры [3–4]. Маркеры – это паттерны, обычно объекты, размещенные в реальной сцене, которые используются для определения положения дополненного объекта. Наиболее распространенным случаем является использование QR-кодов, так как они легко распознаются на изображении. Для более точного размещения также возможно использование 3D-маркеров (рис. 2).

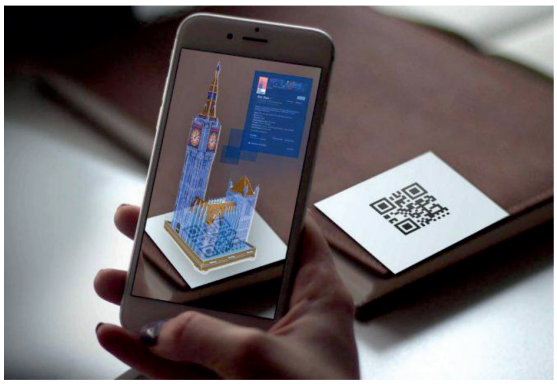


Рис. 2. Визуальное отслеживание с помощью маркера

Визуальное отслеживание без маркеров. Безмаркерный визуальный трекинг – это сочетание визуального и невизуального трекинга, когда входное изображение используется без маркеров, а также данные с датчиков устройства для достижения регистрации изображения. В этом случае вращение камеры смартфона используется как имитация стереоскопического зрения для получения карты глубины сцены, позволяющей распознавать 3D-объекты на реальной сцене [5].

Рендеринг изображения

Рендеринг – это процесс преобразования 3D-моделей и сцен, сохраненных в компьютере, в 2D-изображение, которое впоследствии отображается на устройстве отображения, обычно мониторе [6]. Рендеринг – это наиболее сложный и требовательный к производительности сегмент компьютерной графики, используемый во многих областях (медицина, архитектура, машиностроение, видеомонтаж и др.). Каждая из этих дисциплин требует от визуализируемого изображения различных параметров (качество изображения, скорость рендеринга), что приводит к появлению многих методов рендеринга. Рендеринг в реальном времени – это рендеринг, который способен взаимодействовать с пользователем таким образом, что пользователь не распознает отдельные изображения, доставленные ему в руки с минимальной задержкой. Это требует быстрого прохождения через конвейер рендеринга, что является очень трудоемкой задачей, превышающей возможности производительности процессора. Эта потребность была удовлетворена с помощью специального аппаратного блока, используемого для геометрических вычислений, графического процессора (GPU).

Конвейер рендеринга. Концепция конвейера используется во многих различных формах, где процесс делится на отдельные этапы, чтобы предотвратить запаздывание всей системы [6]. Конвейер рендеринга, также называемый графическим конвейером или графическим конвейером рендеринга, разделен на три концептуальных этапа для увеличения скорости всего рендеринга (рис. 3):

– Приложение.
– Геометрия.
– Растеризация.

Каждая стадия может быть разделена на несколько стадий, что означает, что каждая стадия также является конвейером. Некоторые части конвейера могут быть распараллелены, чтобы соответствовать высоким требованиям к производительности. Скорость конвейера рендеринга измеряется в fps (кадрах в секунду) и определяется самым медленным этапом. Эта скорость обычно изменяется в зависимости от сложности вычисляемой сцены, которая меняется кадр за кадром, поскольку пользователь взаимодействует с приложением. Этап применения конвейера управляется программным обеспечением центрального процессора, позволяющим осуществлять параллельную обработку благодаря множеству потоков центрального процессора.

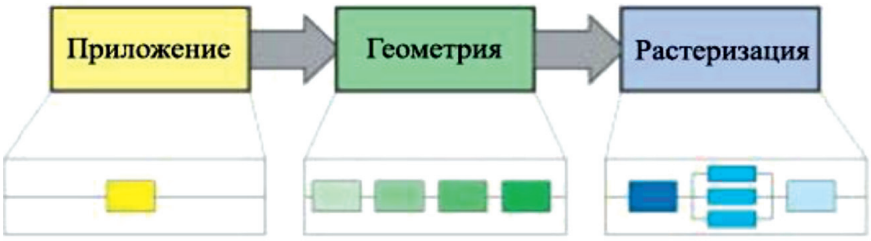


Рис. 3. Стадии конвейера рендеринга

```
for each pixel do
    compute viewing ray
    if (ray hits an object with t  ∈ [0,∞) ) then
        Compute lighting equation and set pixel to that color
    else
        Set pixel color to background color
```

Рис. 4. Алгоритм трассировки BasicRay

На этом этапе выполняются различные задачи: обнаружение столкновений, алгоритмы глобального ускорения, анимация, моделирование физики (необязательно) и многие другие, в зависимости от типа приложения. Этап геометрии вычисляет преобразования, проекции и т.д. Определение того, что, как и где должно быть нарисовано, выполняется, как правило, на графическом процессоре (GPU). Последний этап, этап растеризации, полностью обрабатывается на графическом процессоре, визуализируя данные, выводимые с предыдущего этапа, а также любые необходимые вычисления на пиксель. Использование специализированного оборудования для вычислительной графики необходимо для достижения плавного рендеринга в реальном времени без задержек, что является фундаментальным также для приложений дополненной реальности. К счастью, все современные смартфоны и планшеты оснащены мощными графическими процессорами, что позволяет использовать дополненную реальность на мобильных устройствах.

Фотореалистичный рендеринг. Для достижения правдоподобного опыта дополненной реальности дополненный объект должен быть представлен в наилучшем доступном качестве и реалистичности. Для этого используются фотореалистичные методы рендеринга. Фотореалистичный рендеринг, также называемый непредвзятым рендерингом, – это метод, который физически точно визуализирует сцену, обычно отслеживая свет с помощью алгоритмов на пиксель. Непредвзятые методы рендеринга включают в себя:

– Трассировка пути.
– Трассировка света.
– Двунаправленная трассировка пути.

Результаты исследования и их обсуждение

Одним из наиболее широко используемых методов фотореалистичного рендеринга является трассировка лучей. Трассировка лучей – это алгоритм для каждого пикселя, который использует метод трассировки пути, отбрасывая лучи от камеры в пространство, чтобы определить цвет пикселя. Он также используется в Z-буферных реализациях визуализаторов для достижения обнаружения столкновений объектов и щелчка мыши по их выбору. Щелчок мыши привязывается к одному пикселю, из которого луч отбрасывается в пространство, выбирая первый попавшийся объект. При рендеринге трассировка лучей проста в вычислении теней и отражений. Алгоритм трассировки BasicRay представлен на рис. 4.

В этом примере цвет пикселя вычисляется только в соответствии с материалом и применением нетрассирующей световой модели (т.е. модели Phong [7]) к пикселю поверхности объекта. В результате качество изображения сравнимо с предвзятыми визуализаторами. Полный механизм трассировки лучей вычисляет освещение сцены лучами. После того как луч попадает на объект, он отражает и отслеживает луч итеративно,

пока луч не попадает на источник света. Тот же принцип используется и для вычисления теней. Когда луч, идущий из точки на поверхности объекта, попадает на другой объект по пути к источнику света, вычисленная точка оказывается в тени. Эта техника физически точна, потому что она описывает и вычисляет поведение света в реальных сценах. Результирующие изображения находятся в особых условиях, их трудно отличить от фотографий. Nvidia Iray – это фотореалистичный движок рендеринга, который генерирует фотореалистичные изображения, имитируя физическое поведение света и материалов (рис. 5) [8].

Рис. 5. Слева модель, справа её визуализация с помощью Nvidia Iray

Требования к производительности. Движок рендеринга Nvidia Iray, упомянутый выше, способен работать только на настольных компьютерах с мощной видеокартой, да и то не в режиме реального времени. Трассировка лучей – это алгоритм для каждого пикселя, поэтому его вычислительные требования быстро возрастают с более высокими разрешениями. На мобильных устройствах до сих пор не удается добиться такого качества рендеринга изображения. Рендеринг в реальном времени также необходим для применения дополненной реальности, а также как резерв вычислительной мощности для обработки изображения камеры и датчиков устройства. До сих пор нет никаких шансов для обычных устройств выполнять рендеринг фотореалистичных сцен в реальном времени, направленных на создание стилизованной реальности, но их производительность сходится, чтобы удовлетворить этим требованиям.

Vulkan API. Аппаратное обеспечение – это не единственная область, которая переживает значительный прогресс. Наряду с аппаратным обеспечением, программные API и драйверы графических процессоров также претерпели значительные улучшения. Одним из самых важных изменений является Vulkan API. Vulkan – это низкоуровневый API для графического и вычислительного оборудования. Это набор команд, которые позволяют определять спецификацию шейдеров, ядер и используемых ими данных [9]. С другой точки зрения, Vulkan – это конвейер рендеринга, который имеет некоторые программируемые этапы и некоторые управляемые состоянием этапы фиксированной функции, которые вызываются конкретными операциями рисования. Эти настройки позволяют намного больше контролировать графическое вычислительное оборудование, позволяя им писать более оптимизированный код. Использование API Vulkan уменьшает количество вызовов рисования, отправляемых на центральный процессор, что приводит к значительному снижению накладных расходов центрального процессора. Это решение обеспечивает повышение производительности на всех существующих платформах, даже на мобильных устройствах. Также поддерживаются устройства Android, но только с аппаратной поддержкой OpenGL ES 3.1 и более поздних версий. Vulkan API все еще относительно новый, поэтому реализовано всего несколько приложений, а на мобильных устройствах ситуация еще хуже. Однако бенчмарковые тесты показывают огромный потенциал этого API, и в ближайшем будущем мы определенно увидим гораздо больше приложений, использующих этот API. Основываясь на последних бенчмарках, повышение производительности API Vulkan может достигать более 80 % по сравнению с решениями OpenGL [10].

Заключение

Существуют различные методы отслеживания, и каждый метод применяется под свои конкретные задачи. Для задач с геопозиционированием хорошо подходит

метод, основанный на невизуальном отслеживании, для задач с выводом информации об объекте хорошо подойдет метод, основанный на визуальном отслеживании. Рендеринга объектов, полученных в результате отслеживания с фотореалистичными изображениями, пока что не удаётся достичь с текущими технологиями, но Vulkan API даёт надежды, что в скором времени этого будет возможно.

Список литературы

1. Erkan Bostanci S.E., Nadia Kanwal, Clark A.F. User Tracking Methods for Augmented Reality. International Journal of Computer Theory and Engineering. 2013. Vol. 5. No. 1. P. 93–98.

2. Rao G.S. Global Navigation Satellite Systems: With Essentials of Satellite Commumnications. New Delhi: Tata McGraw Hill, 2010. 470 p.

3. Маслов А.С., Белов Ю.С. Различные виды мишеней и их распознавание в фреймворке дополненной реальности Vuforia // Научное обозрение. Технические науки. 2020. № 1. С. 15–19.

4. Klein G. Visual Tracking for Augmented Reality. PhD. Thesis. University of Cambridge, 2006. 193 p.

5. Andrew I. Comport, I. E. M. M. I. M. P., Member; Francëois Chaumette, I., Member: Real-Time Markerless Tracking for Augmented Reality: The Virtual Visual Servoing Framework. IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS. 2006. Vol. 12. No. 4. P. 615–628.

6. Akenine-Moller T. Haines E. Real-Time Rendering, Fourth Edition. CRC Press, 2018. 158 p.

7. Wikipedia: Phong reflection model. [Electronic resource]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Phong_reflection_model (date of access: 16.11.2020).

8. Nvidia: NVIDIA IRAY. [Electronic resource]. URL: http://www.nvidia.com/object/nvidia-iray.html (date of access: 16.11.2020).

9. KHRONOS: Vulkan 1.0.17 – A Specification. [Electronic resource]. URL: https://www.khronos.org/registry/vulkan/specs/1.0/pdf/vkspec.pdf (date of access: 16.11.2020).

10. Pirazda U. Khronos Group's 'Vulkan' API, Performance Numbers Revealed. [Electronic resource]. URL: http://wccftech.com/khronos-vulkan-api-performance-numbers-89-star-dust-benchmark/ (date of access: 16.11.2020).

УДК 004.08

УРАВНЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ ВЯЗКОУПРУГОГО СТЕРЖНЯ И ЕГО РЕШЕНИЕ ОПЕРАТОРНЫМ МЕТОДОМ

Морозов А.В., Булекбаев Д.А., Орлова Е.В., Родионова М.С.

ФГБОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского», Санкт-Петербург, e-mail: vka@mil.ru

Одним из эффективных методов отыскания решений дифференциальных уравнений является операторный метод, предложенный норвежским математиком Софусом Ли более ста лет назад и существенно развитый значительно позднее Вольфгангом Грёбнером. В 1970–1980-х гг. различными модификациями операторного метода занимались А.И. Лурье, А.В. Бицадзе, Е. Майлс, Е. Вильямс, А.Н. Филатов, Б.А. Бондаренко, П.Н. Матвеев и многие другие ученые. Повышенный интерес к нему был вызван в первую очередь в связи с исследованиями задач теории вязкоупругости. А такие задачи возникали в приложениях в связи с широким применением полимерных материалов. А.Н. Филатов существенно развил операторный метод. Именно он распространил его на интегро-дифференциальные уравнения. Предложенные им операторные ряды были названы обобщенными рядами Ли. В настоящей статье рассматривается интегро-дифференциальное уравнение, описывающее продольные линейные колебания вязкоупругого стержня в среде с сопротивлением. С помощью специальных функций, названных А.Н. Филатовым квазиполиномиальными, дается представление точного решения краевой задачи. Следует отметить, что на практике такие решения требуют аппроксимации рядов соответствующими отрезками. Учитывая возможности современных компьютеров и пакетов прикладных программ в части визуализации решений, на пути дальнейшего развития и применения операторного метода в математике, а также многочисленных технических науках открывается целый ряд практически важных и интересных задач.

Ключевые слова: операторный метод, вязкоупругий стержень, точное решение линейного интегро-дифференциального уравнения

EQUATION OF VIBRATIONS OF A VISCOELASTIC ROD AND ITS SOLUTION BY THE OPERATOR METHOD

Morozov A.V., Bulekbaev D.A., Orlova E.V., Rodionova M.S.

Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky, Saint Petersburg, e-mail: vka@mil.ru

One of the most effective methods for finding solutions to differential equations is the so-called operator method. Currently, it is somewhat forgotten and it is not given enough attention in higher education institutions. The operator method for constructing partial solutions of differential equations was proposed by the Norwegian mathematician Sophus Li more than a hundred years ago and significantly developed much later by Wolfgang Grebner. In the seventies of the twentieth century, various modifications of the operator method were carried out by A.I. Lurie, A.V. Bitsadze, E.Miles, E. Williams, A.N. Filatov, B.A. Bondarenko and many other scientists. At the same time, applications of this method were given to solving problems of solid deformed body mechanics. A.N. Filatov generalized the operator method to linear partial differential equations. He also extended it to integro-differential equations. The operator series he proposed were called generalized Lie series. In this paper, we consider an integro-differential equation describing the longitudinal linear vibrations of a viscoelastic rod in a medium with resistance. With the help of special functions, called A.N. Filatov quasipolinomial, a representation of the exact solution of the boundary value problem is given. It should be noted that in practice such solutions require approximation of the series by corresponding segments. Given the capabilities of modern computers and software packages in terms of rendering decisions on further development and application of operational method in mathematics and many technical Sciences offers a number of practically important and interesting task.

Keywords: operator method, viscoelastic rod, exact solution of a linear integro-differential equation

Операторный метод построения решений дифференциальных уравнений был открыл Софусом Ли [1]. Им были предложены принципиально новые ряды – ряды, включающие в себя операторы:

$$\sum_{k=0}^{\infty}\frac{t^k}{k!}D^k F(z_1,z_2,\ldots,z_n).$$

Здесь

$$D=\sum_{m=1}^{n}\Phi_m(z_1,z_2,\ldots,z_n)\frac{\partial}{\partial z_m}$$

– заданный линейный дифференциальный оператор; степень $D^k(.)=D\left(D^{k-1}(.)\right)(k\geq 1)$, $D^0(.)=D(.)$, t, z_1, z_2, …, z_n – комплексные переменные, $\Phi_m=(z_1, z_2, \ldots, z_n)$, $F=(z_1, z_2, \ldots, z_n)$ – голоморфные функции комплексных переменных $z_1, z_2, \ldots, z_n$. В частном случае функции $\Phi_m=(z_1, z_2, \ldots, z_n)$ могут быть константами, и тогда дифференциальный оператор D будет с постоянными коэффициентами.

Нетрудно видеть, что ряд Ли может быть записан в символическом виде

$$e^{tD}F(z_1,z_2,\ldots,z_n).$$

Замечание. Если функция $F=(z_1, z_2, \ldots, z_n)$ – голоморфна в окрестности некоторой

точки $A = (z_1, z_2, \ldots, z_n)$, то для достаточно малых t ($|t| < \alpha \ll 1$) будет иметь место соотношение (теорема В. Грёбнера):

$$e^{tD} F\left(z_1, z_2, \ldots, z_n\right) = F(e^{tD} z_1, e^{tD} z_2, \ldots, e^{tD} z_n) .$$

Кроме того, если в качестве оператора D взять

$$D = \frac{d}{dz} ,$$

а за функцию $F(z)$ – голоморфную функцию одной скалярной переменной z, то получим

$$F\left(z + t\right) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{t^k}{k!} F^{(k)}\left(z\right).$$

Откуда следует, что ряд Тейлора является частным случаем ряда Ли.

В 1970-х гг. ряды С. Ли изучались В. Грёбнером и его учениками. Были найдены также и многочисленные приложения этих рядов в теории уравнений, алгебраической геометрии, небесной механике, теоретической физике, в физике реакторов, в теории случайных величин. Операторное представление гармонических функций было построено А.В. Бицадзе, А.И. Лурье, Е. Майлсом, Е. Вильямсом, а явное представление их было дано А.Н. Филатовым и Б.А. Бондаренко [2]. А.Н. Филатову принадлежит также и развитие теории рядов Ли на решение линейных дифференциальных уравнений с частными производными, а также решение ряда прикладных задач теории упругости и вязкоупругости. Предложенные А.Н. Филатовым ряды Ли (их называют обобщенными рядами Ли) имеют вид

$$\sum_{k=0}^{\infty} \frac{t^k}{k!} D^k F(t, z_1, z_2, \ldots, z_n).$$

Здесь

$$D = \Phi_0\left(t, z_1, z_2, \ldots, z_n\right) \frac{\partial}{\partial t} +$$

$$+ \sum_{m=1}^{n} \Phi_m\left(t, z_1, z_2, \ldots, z_n\right) \frac{\partial}{\partial z_m}.$$

Отличие обобщенных рядов Ли от классических рядов Ли очевидно: переменная t, по которой ведется разложение в ряд, входит в функции Φ_m. Такое обобщение позволило распространить теорию операторных рядов на широкий класс линейных уравнений с частными производными. Некоторые результаты были также получены и для нелинейных уравнений. Позднее построенная А.Н. Филатовым теория обобщенных рядов Ли была развита на случай векторной переменной $t = (t_1, t_2, \ldots, t_r)$, а также случай $t = (t_1, t_2, \ldots, t_r, \ldots)$ и $z = (z_1, z_2, \ldots, z_n, \ldots)$. Следующим шагом в применении операторного метода стало его распространение на интегро-дифференциальные уравнения. На этом пути были построены операторные ряды, включающие не дифференциальные операторы, а интегро-дифференциальные операторы. Кроме того, оказалось возможным развитие теории обобщенных рядов Ли и на вектор-операторы, как дифференциальные, так и интегро-дифференциальные [2, 3]. Заметим также, что квазиполиномиальные функции можно строить не только на дифференциальных или интегро-дифференциальных операторах, но и других типах операторов. Главное, чтобы для них можно было бы ввести классическое понятие степени.

В настоящей статье рассматривается интегро-дифференциальное уравнение, описывающее продольные линейные колебания вязкоупругого стержня в среде с сопротивлением. С помощью специальных функций, названных А.Н. Филатовым квазиполиномиальными, дается представление точного решения краевой задачи. При написании статьи мы опирались на работы [3–5], а также на классические работы по теории упругости [6–8].

Решение уравнения продольных колебаний прямолинейного вязкоупругого стержня

Рассмотрим тонкий, прямолинейный, однородный вязкоупругий стержень. Введем систему координат $0x$, жестко связанную со стержнем. Стержень предполагаем находящимся в сопротивляющейся среде. Пусть момент времени, соответствующий началу переходного процесса (движению стержня), $t_0 = 0$. Будем предполагать, что до начала движения скорости всех сечений стержня одинаковы [4]. Обозначим $u(t, x)$ – перемещение сечения стержня с координатой x в момент времени t. Предположим, что связь между напряжением σ_x и деформацией ε_x в стержне задана следующим линейным законом:

$$\sigma_x\left(t\right) = E\left[\varepsilon_x\left(t\right) - \varepsilon \int_0^t R\left(t - \tau\right) \varepsilon_x(\tau) d\tau\right],$$

где E – модуль Юнга;
$R(t - \tau)$ – функция релаксации;
ε – малый параметр.

Рассмотрим случай линейной зависимости силы сопротивления от скорости движения. Тогда движение стержня в системе

координат $0x$ будет описываться интегро-дифференциальным уравнением вида

$$\rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = E\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \\ -\varepsilon\int_0^t R(t-\tau)\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(\tau,x)d\tau + c\frac{\partial u}{\partial t}, \qquad (1)$$

где ρ – плотность стержня;
c – константа, отражающая сопротивление, пропорциональное первой степени скорости деформации стержня.

Замечание. Чтобы избежать дальнейших оговорок, будем считать, что уравнение (1) записано в безразмерных переменных.

Для уравнения (1) поставим краевое условие

$$u(t,0) = \varphi(t), \qquad (2)$$

где $\varphi(t)$ – заданная функция времени t.

Зададим начальные условия

$$\left.\begin{aligned} u(0,x) &= q_0(x), \\ \frac{\partial u}{\partial x}(0,x) &= q_1(x). \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

Предположим, что функция $\varphi(t)$ представима равномерно сходящимся рядом

$$\varphi(t) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k \frac{t^k}{k!}, t \in \Omega = (-\alpha,\alpha) \subset R, \qquad (4)$$

где на коэффициенты ряда (4) наложены условия

$$\frac{a_{k+2}}{a_{k+4}} = \frac{c}{\rho}, k = 0,1,2,\ldots \qquad (5)$$

Обозначим

$$v(t,x) = u(t,x) - \varphi(t). \qquad (6)$$

Тогда заменой (6) приведем (1) к виду

$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - \left(\frac{E}{\rho}\Gamma_t\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{c}{\rho}\frac{\partial v}{\partial t}\right) = \frac{c}{\rho}\frac{\partial \varphi}{\partial t} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}, \qquad (7)$$

где

$$\Gamma_t = 1 - \varepsilon\int_0^t R(t-\tau)(.)d\tau.$$

Так как, в силу свойства (5), правая часть уравнения (7) тождественно равна нулю, то (7) принимает более простой вид:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - \left(\frac{E}{\rho}\Gamma_t\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{c}{\rho}\frac{\partial v}{\partial t}\right) = 0. \qquad (8)$$

Для уравнения (8) краевое и начальные условия перепишутся так:

$$v(t,0) = 0; \qquad (9)$$

$$\left.\begin{aligned} v(0,x) &= q_0(x) - a_0 = f_0(x), \\ \frac{\partial v}{\partial t}(0,x) &= q_1(x) - a_1 = f_1(x). \end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

Введем в рассмотрение следующие вектор-операторы [3]:

$$L_t(.) = \left(\Gamma_t(.), \frac{\partial}{\partial t}(.)\right), \qquad (11)'$$

$$L_x(.) = \left(\frac{E}{\rho}\frac{\partial^2}{\partial x^2}(.), \frac{c}{\rho}(.)\right). \qquad (11)''$$

Степени операторов L_t и L_x определим, как обычно, равенствами:

$$L_t^0(.) = (.); L_t^m(.) = L_t\left(L_t^{m-1}(.)\right),$$

$$L_x^0(.) = (.); L_x^m(.) = L_x\left(L_x^{m-1}(.)\right).$$

Уравнение (8), с учетом (11)’ и (11)», примет вид

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} - L_t \cdot L_x\right)v(t,x) = 0. \qquad (12)$$

Здесь $L_t \cdot L_x$ обозначает скалярное произведение.

Представим теперь функции $f_0(x)$ и $f_1(x)$ в виде рядов Фурье по синусам

$$f_s(x) = \sum_{n=1}^{\infty} f_{ns}\sin\frac{\pi n}{l}x, s = 0,1. \qquad (13)$$

А тогда, нетрудно убедиться, что в силу сделанных предположений квазиполиномиальная функция

$$v(t,x) = \sum_{s=0}^{1}\sum_{i=0}^{\infty} L_t^i\left(\frac{t^{2i+s}}{(2i+s)!}\right)L_x^i f_s(x), \qquad (14)$$

будет решением задачи (12), (9), (10). Для доказательства, подставим (14) в уравнение (12). Тогда получим

$$\sum_{s=0}^{1}\sum_{i=1}^{\infty} L_t^i\left(\frac{t^{2i-2+s}}{(2i-2+s)!}\right)\cdot L_x^i f_s(x) - \\ \sum_{s=0}^{1}\sum_{i=0}^{\infty} L_t^{i+1}\left(\frac{t^{2i+s}}{(2i+s)!}\right)\cdot L_x^{i+1} f_s(x) =$$

$$\sum_{s=0}^{1}\sum_{i=1}^{\infty} L_t^i\left(\frac{t^{2i-2+s}}{(2i-2+s)!}\right)\cdot L_x^i f_s(x) -$$

$$\sum_{s=0}^{1}\sum_{i=1}^{\infty} L_t^i\left(\frac{t^{2i-2+s}}{(2i-2+s)!}\right)\cdot L_x^i f_s(x) = 0 .$$

Отсюда следует, что функция (14) есть решение уравнения (12). А так как, в силу (13), выполняется равенство

$$L_x^i f_s(x)\Big|_{x=0} = 0, i = 0,1,2,\ldots,$$

то функция (14) удовлетворяет и граничному условию (9). Кроме того, из (14) вытекает

$$v(t,x) = f_0(x) + t f_1(t) +$$
$$+\sum_{s=0}^{1}\sum_{i=1}^{\infty} L_t^i\left(\frac{t^{2i+s}}{(2i+s)!}\right)\cdot L_x^i f_s(x),$$

откуда

$$v(0,x) = f_0(x),$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}(0,x) = f_1(x).$$

Следовательно, решение (14) удовлетворяет и начальным условиям (10). Таким образом, получено точное решение нашей задачи.

Для получения приближенного решения можно ограничиться конечным отрезком ряда (14). При этом встает задача аналитической или численной оценки полученного решения [9, 10]. Но это является предметом другого исследования.

Замечание. Изложенный выше операторный метод можно продемонстрировать и для дифференциального уравнения вынужденных колебаний стержня

$$EI\frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + \rho F\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \mu EI\frac{\partial^5 u}{\partial t\,\partial x^4} = Q(t,x). \quad (15)$$

Здесь EI – жесткость стержня, F – площадь поперечного сечения, ρ – масса единицы объема, μ – коэффициент затухания, t – время, $Q(t, x)$ – внешняя нагрузка.

Действительно, представим (15) в виде

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} + L_t L_x\right)u(t,x) = \frac{1}{\rho F}Q(t,x), \quad (16)$$

где

$$L_t = \left(\frac{\mu EI}{\rho F}\frac{\partial}{\partial t}, \frac{EI}{\rho F}\right),\ L_x = \left(\frac{\partial^4}{\partial x^4}, \frac{\partial^4}{\partial x^4}\right).$$

Далее предположим, что $\frac{1}{\rho F}Q(t,x) = g(x)\sin t$, где функция $g(x)$ имеет: 1) конечный полилинейный порядок q относительно оператора L_x; 2) $L_x^i g(x)\Big|_{\substack{x=0\\x=l}} = 0,\ i = 0,1,\ldots,q-1$.

Для уравнения (16) поставим начальные и граничные условия

$$u(0,x) = g_0(x),\ \frac{\partial}{\partial t}u\Big|_{t=0} = g_1(x), \quad (17)$$

$$u(t,0) = u(t,l) = 0. \quad (18)$$

Относительно функций $g_0(x)$ и $g_1(x)$ будем предполагать, что они обладают свойствами 1) и 2). Тогда, как нетрудно проверить, функция

$$u(t,x) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k \sum_{i=0}^{q-1}(-1)^i L_t^i\left(\frac{t^{2i+2+k}}{(2i+2+k)!}\right)\cdot L_{xy}^i g(x) +$$

$$+\sum_{v=0}^{1} a_k \sum_{i=0}^{q-1}(-1)^i L_t^i\left(\frac{t^{2i+k}}{(2i+k)!}\right)\cdot L_x^i g_v(x),$$

где a_k – коэффициенты в разложении функции sin t в соответствующий ряд, будет решением задачи (16), (17), (18). В частности, если взять $g(x) = \frac{x(x-l)}{\rho F}$, $g_0(x) = c_0 x^2(x-l)$, $g_1(x) = c_1 x\left(x^2 - l^2\right)$, c_0, c_1 – постоянные, то решением будет функция

$$u(t,x) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k \frac{t^{2+k}}{(2+k)!}\frac{x(x-l)}{\rho F} +$$
$$+c_0 x^2(x-l) + t\,c_1 x\left(x^2 - l^2\right).$$

Заключение

Многие современные методы математической физики, например метод Треффца, Бубнова – Галеркина, коллокаций, наименьших квадратов, ортогональных проекций и другие, требуют в своем применении знания базисных координатных решений. Эти базисные системы функции конструируются как точные решения однородной задачи. В связи с этим определенный интерес представляют методы построения этих точных решений. Одним из эффективных методов построения точных решений уравнений с частными про-

изводными, а также интегро-дифференциальных уравнений является операторный метод, развитый А.Н. Филатовым, история развития которого связана с С. Ли и уходит истоками в конец XIX в. Выше мы применили метод А.Н. Филатова для задачи о продольных колебаниях вязкоупругого стержня. Полученное решение является точным, но при сделанном предположении о свойстве функции $\varphi(t)$. Дальнейшее исследование аналитических свойств полученного решения можно провести с использованием каких-либо компьютерных математических пакетов с целью придания наглядности (визуализации) полученного решения и проведения качественного анализа в зависимости от параметров модели. Перспективным в этом направлении считаем использование систем символьных вычислений Maple, Mathematica, MatLab и др.

Список литературы

1. Полищук Е.М. Софус Ли. М.: URSS, 2017. 216 с.

2. Бондаренко Б.А., Филатов А.Н. Квазиполиномиальные функции и их приложения к задачам теории упругости. Ташкент: Изд-во «ФАН» УзССР, 1978. 173 с.

3. Матвеев П.Н. Квазиполиномиальные функции векторного аргумента с интегральными операторами. ДАН Украинской ССР. Серия А. 1979. № 1. С. 15–17.

4. Лебедев П.А., Матвеев П.А., Морозов А.В. Уравнение движения поезда как вязкоупругой одномерной среды и его решение. М.: Труды МИИТа, 1979. Вып. 640. С. 33–37.

5. Дзанагова И.Т. Метод операторных рядов для построения экстремальных моделей редких событий // Фундаментальные исследования. 2017. № 12. С. 277–281.

6. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. М.: URSS, 2014. 320 с.

7. Ильюшин А.А. Пластичность. М.: URSS, 2018. 392 с.

8. Георгиевский Д.В. Избранные задачи механики сплошной среды. М.: ЛЕНАНД, 2018. 560 с.

9. Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. М.: ДМК Пресс, 2012. 768 с.

10. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad 15. СПб.: Питер, 2011. 400 с.

УДК 629.3.018.2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТЕНДА ДЛЯ ХОЛОДНОЙ ОБКАТКИ ДВИГАТЕЛЕЙ

Рогонова О.В., Щепетков А.В., Столяров А.В.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск, e-mail: cabto@mail.ru

Основной операцией, завершающей ремонт двигателя, всегда является его обкатка. Она может быть холодной, горячей, с нагрузкой и без нагрузки, но в любом случае обкатка должна проводиться. Её задача состоит в приработке движущихся деталей с целью увеличения срока службы изделия. Первой всегда проводят обкатку без нагрузки на стендах. На сегодня есть несколько вариантов выпускаемых стендов, но, как показывает практика, их стоимость чрезмерно высока для небольших ремонтных предприятий. Поэтому нашей задачей стало проектирование универсального и недорогого стенда для обкатки двигателей техники сельскохозяйственного назначения. За основу для разработки была взята схема современного стенда ОТС. Однако ее реализация потребовала ряда изменений и дополнений при проектировании принципиальной схемы стенда. В качестве конструктивной базы был взят имеющийся в распоряжении кафедры технического сервиса машин стенд ИГС-01. Его модернизации посвящена данная работа. В итоге было установлено, что разрабатываемый опытный образец стенда позволит расширить возможности холодной обкатки двигателей за счет увеличения диапазонов измеряемых (контролируемых) технических характеристик: частоты вращения приводного вала от 5 до 4000 об/мин, рабочего давления масла от 0 до 100 psi и др.

Ключевые слова: холодная обкатка, стенд, двигатель, проектирование, ремонт

DESIGNING A STAND FOR COLD RUNNING MOTORS

Rogonova O.V., Schepetkov A.V., Stolyarov A.V.

National Research Mordovia State University, Saransk, e-mail: cabto@mail.ru

The main operation of the final engine repair is always running it in. It can be cold, hot, loaded or unloaded, but in any case, it must be run-in. Its task is to run-in moving parts in order to increase the life of the product. The first is always run-in without load on the stands. At the moment there are several options for the stands produced, but as practice shows, their cost is too high for small repair enterprises. Therefore, our task was to design a universal and inexpensive stand for running engines of agricultural machinery. The scheme of the modern OTS stand was taken as a basis for the development. However, its implementation required a number of changes and additions in the design of the stand schematic diagram. The stand IGS-01, available to the department of technical service of machines, was taken as a constructive base. This work is devoted to its modernization. As a result, it was found that the developed prototype of the stand would expand the possibilities of cold running-in of engines by increasing the ranges of measured (monitored) technical characteristics: drive shaft speed from 5 to 4000 rpm, operating oil pressure from 0 to 100 psi, etc.

Keywords: cold running, stand, engine, design, repair

Капитальный ремонт двигателя предполагает выполнение мастерами большого спектра восстановительных работ, максимально приближающих техническое состояние мотора к его заводским параметрам. Такой ремонт, требующий кардинального вмешательства, нужен в следующих случаях: повышенный расход топлива и моторного масла; снижение мощности/приемистости двигателя; жесткая работа мотора, провалы на холостых оборотах, увеличенное время разгона и отсутствие тяги; повышенная дымность, изменение цвета выхлопа; нехарактерные для стабильной работы шумы, стуки; кроме того, ремонт ДВС требуется после определенного пробега (200–300 тыс. км), при агрессивной эксплуатации и использовании некачественного топлива/моторного масла [1]. Полная замена двигателя может потребоваться при критическом износе, заклинивании двигателя и его перегреве.

Проведение капитального ремонта двигателя включает в себя строго определенный перечень работ: демонтаж, диагностика и дефектация узлов и деталей, ремонт узлов и деталей, сборка двигателя. Последней операцией после сборки двигателя является его обкатка.

Основная цель обкатки – притереть друг к другу новые детали (поршни, цилиндры, клапаны), которые имеют шероховатости, тем самым предотвратив потерю производительности двигателя. Она актуальна, когда, например, производится замена колец, трущихся о гильзу. Если провести обкатку неправильно, могут появиться сложности с запуском, увеличится расход топлива, станет возможным попадание моторного масла в воздухоочиститель [2].

При сильной нагрузке на двигатель элементы перегреваются и расширяются. Поэтому обкатывать автомобиль следует в щадящем режиме, не допуская высоких скоростей и резкого торможения. Перед первым запуском важно проверить затяжку болтов и креплений, а также наличие масла, охлаждающей и тормозной жидкости. Поэ-

тому разработка средств и стендов для проведения обкатки двигателей является актуальной задачей.

Цель исследования состоит в определении исходных данных и прототипа для создания обкаточного стенда для малых сервисных предприятий агропромышленного комплекса.

Материалы и методы исследования

Первоначальной задачей являлось определение вида обкатки для стендового оборудования, их всего 4 вида [3].

1. Горячая. Один из самых популярных способов. Проводится при использовании чередующихся режимов и интервалов времени, обязательно на холостых оборотах. В перерывах между этапами двигатель должен полностью остыть. Суть горячей обкатки заключается в том, что двигатель несколько раз запускают на холостом ходу в течение определенного времени, после чего дают остыть. Очень важно не допускать перегрева.

На первом этапе промежутки времени, в течение которых мотор работает, короткие и длятся до трех минут. На втором этапе двигателю дают поработать около часа, при этом следят за температурой, уровнем масла и антифриза, компрессией и герметичностью соединений. Начинают второй этап с частоты около 1200 оборотов, доводя ее до половины максимально допустимой. По завершении всех этапов рекомендуется провести естественную обкатку.

2. Естественная. Весьма доступный способ для большинства водителей. Такой тип обкатки представляет собой самостоятельное вождение в соответствии со строго заданными ограничениями, которые нужно соблюдать в течение первых 2–3 тыс. км пробега. Режим и длительность зависят от того, насколько сложным и объемным был проведенный ремонт. По стандарту первые 2000 км пробега отремонтированный двигатель нуждается в аккуратной эксплуатации и некоторых ограничениях. Скорость не должна превышать 80 км/ч, количество оборотов – 2500 в минуту. Нельзя резко разгоняться, тормозить двигателем. Нужно избегать любых перегрузок.

3. Бесстендовая холодная. Этот вид обкатки имитирует естественную. Ее достоинство – быстрота. Автомобиль передвигают на буксировочном тросе в течение пары часов. Такая обкатка не позволяет точно предсказать последствия ремонта, ведь точный учет всех показателей не ведется. Судить об ее эффективности можно по косвенным признакам: улучшению динамики, легкости запуска автомобиля, стабильной работе на холостом ходу. Во время такой обкатки мотор не нагревается, потому что двигатель приходит во вращение благодаря внешнему устройству. Принцип заключается в том, что автомобиль тянут на тросе. Длительность составляет несколько часов. Исключение нагрева деталей увеличивает скорость их притирки.

Этот тип обкатки не лишен недостатков, главным из которых является отсутствие возможности полноценно контролировать процесс и соблюсти какой-либо сложный алгоритм действий. Специалисты не рекомендуют обкатывать двигатель таким способом, ведь судить об его успешности можно только по времени, которое пройдет до следующего ремонта.

4. Стендовая. Производят с использованием специального стендового оборудования, что позволяет полностью контролировать процесс. Разнообразные неточности в работе и самые мелкие неисправности могут быть обнаружены практически сразу после запуска, потому что все показатели работы мотора учитываются компьютером, а сам стенд запрограммирован на необходимый режим работы.

Итак, анализируя представленный материал, можно сделать вывод, что для обкатки на малых сервисных предприятиях наиболее актуальна будет холодная стендовая обкатка, она позволяет ограничить расходы на создание стенда и сделать его универсальным (поскольку не требуется дорогостоящего оборудования для измерения характеристик восстановленного двигателя после горячей обкатки, а сама горячая обкатка проводится на автомобиле).

Имеющиеся на данный момент стенды для обкатки двигателей стоят довольно дорого – от 5 до 10 млн руб., например стенды ОТС-1…-5, КС276-32, КИ-28249. Часть стендов до сих пор не имеют возможности проведения процесса обработки и хранения данных обкатки в автоматизированном режиме, они имеют высокий диапазон минимальных частот вращения коленчатого вала от 500 об/мин и большие размеры (особенно длина ≈5 метров) [4, 5]. Поэтому для малых сервисных предприятий нужен более простой и дешевый стенд, у которого данные недостатки были бы исключены или сведены к минимуму.

Результаты исследования и их обсуждение

На базе института механики и энергетики МГУ им. Н.П. Огарева на кафедре технического сервиса машин с недавнего времени начали заниматься исследованиями по ремонту и обкатке дизельных двига-

телей. В результате была поставлена задача спроектировать стенд обкатки двигателей. За базу была взята схема стенда серии ОТС (рис. 1) и модернизированный стенд ИГС-01 (мощностью 75 кВт) для испытаний гидроагрегатов [6] (рис. 2, а).

Как видно из схемы, стенд ОТС довольно простой, имеется приводной двигатель с датчиком вращения, преобразователь частоты, датчики различных систем и персональный компьютер.

Стенд, представленный на рис. 2, а, представляет собой устройство, имеющее электродвигатель 75 кВт с частотным преобразователем DELTA VFD-B, позволяющим производить плавный пуск в диапазоне 5–4000 об/мин. Это позволит начинать холодную обкатку в щадящем режиме и отследить наличие течей, без опасения испортить отремонтированный двигатель.

Для реализации функций по сбору информации была разработана блок-схема стенда (рис. 3) с внедрением блока обработки и хранения данных, изготовленного на базе корпуса информационного терминала с клавиатурой ИТ-И-16. Схема состоит из двух основных блоков – измерения данных и обработки данных. Блок измерения содержит в себе основные датчики для контроля процесса испытания, а блок обработки включает в себя персональный компьютер, содержащий плату сбора и обработки информации, для возможности графического отображения получаемых данных с возможностью их дальнейшей записи.

Для создания блок-схемы (рис. 3) были подобраны следующие составляющие.

Электродвигатель 4АМН225М4У3 (75,0 кВт), в дополнение к нему устанавливается частотный преобразователь DELTA VFD-750B43A (75 кВт). Для управления двигателем установлена панель управления VFD-PU01;

– для контроля частоты вращения испытуемого и приводного двигателя можно использовать инкрементальный энкодер Autonics серии E50S8, их следует устанавливать на шкиве коленчатого вала и на валу асинхронного электродвигателя. Для визуального наблюдения за частотой вращения следует отдельно разместить цифровой тахометр Fotek SM-20;

– датчик температуры воды 40–120 градусов, с сигнализацией на 95 градусах, сигнал 20–300 Ом, первый датчик устанавливается в алюминиевый переходник, монтируемый перед термостатом, а второй датчик – в блок/головку блока двигателя на штатное место;

– датчик давления 5V 1/8NPT с чувствительным элементом из тензорезистивного моста на керамической шайбе. Диапазон измерения давления 0–100 psi или 0–7 кгс/см^2.

Рис. 1. Схема стенда ОТС

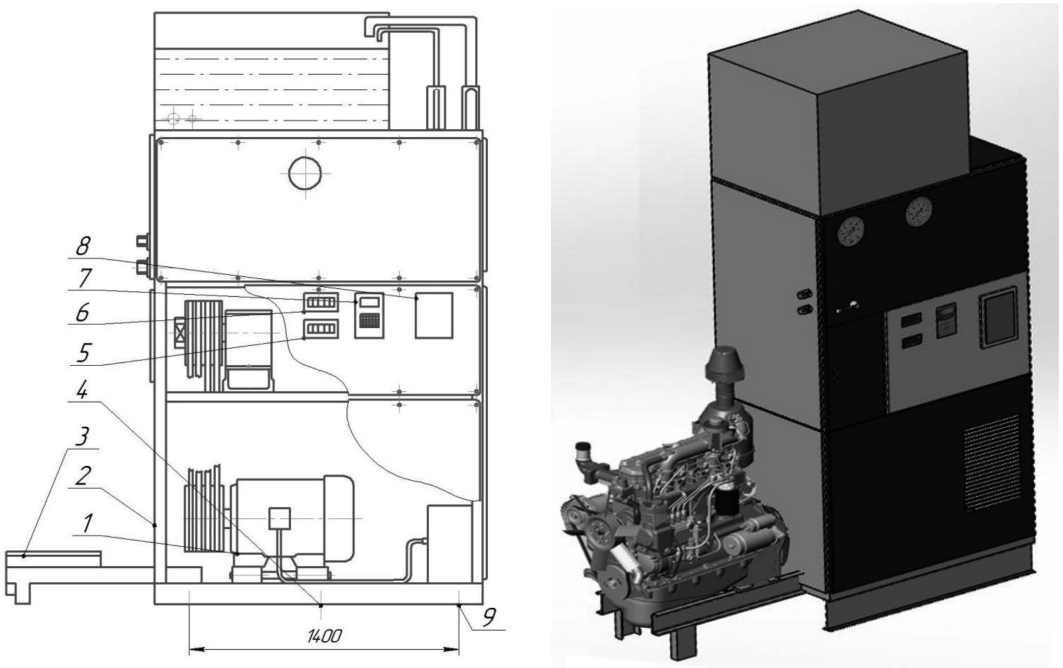


Рис. 2. Стенд ИГС-01: а – схема стенда, б – 3d-модель стенда с двигателем Д-245; 1 – электродвигатель 4АМН225М4У3; 2 – рама, 3 – стойка, 4 – крепление стенда, 5, 6 – счетчик циклов SM-20, 7 – пульт управления частотным преобразователем, 8 – автомат включения, 9 – частотный преобразователь электродвигателя DELTA VFD-B (75 кВт/380В)

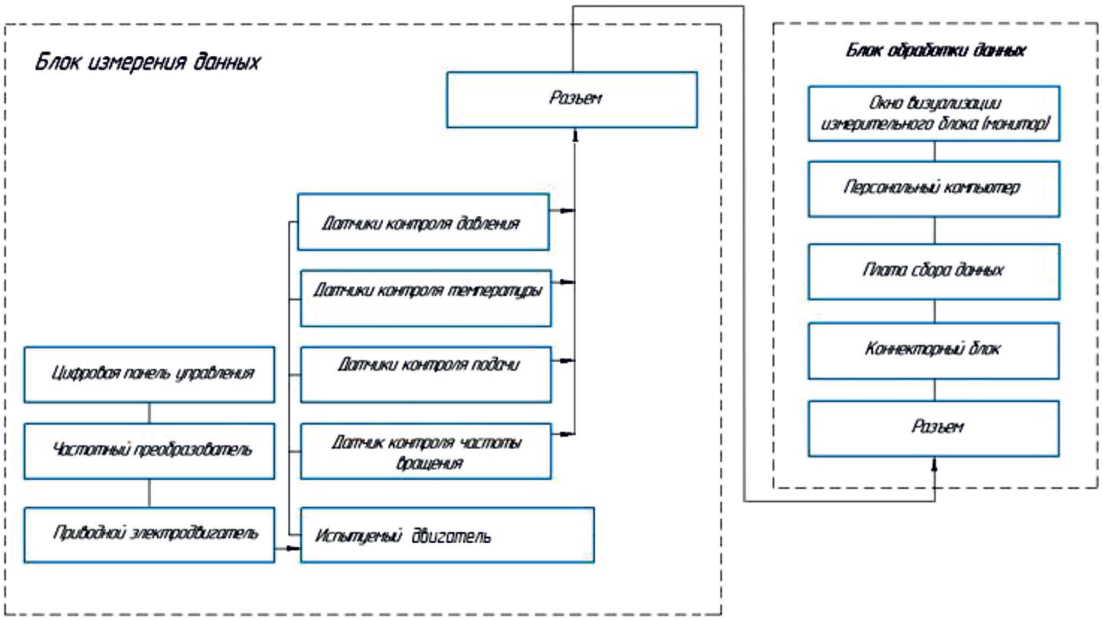


Рис. 3. Блок-схема проектируемого стенда

Блок обработки данных построен на базе оборудования National Instruments с программным комплексом LabView. Как уже указывалось, блок будет отвечать за сбор и обработку данных и регистрацию параметров испытаний с возможностью их анализа и обработки.

В результате проведенной работы был разработан предварительный эскизный 3D проект опытного образца стенда (рис. 4).

Рис. 4. Предварительный эскизный 3D проект обкаточного стенда

Заключение

Таким образом, разрабатываемый опытный образец стенда позволит расширить возможности холодной обкатки двигателей за счет увеличения диапазонов измеряемых (контролируемых) технических характеристик: частоты вращения приводного вала от 5 до 4000 об/мин, рабочего давления масла от 0 до 100 psi и др.

Также дальнейшая работа видится в разработке программного обеспечения, которое позволило бы контролировать параметры двигателя и получать графики зависимостей параметров обкатки от времени.

Список литературы

1. Сорокин И.А. Ускоренная обкатка как контроль качества ремонта дизельных двигателей Д-240 // Вестник НГИЭИ. 2013. № 2 (21). С. 50–57.

2. Бурганская Л.И., Хвощинская Л.А., Андруш В.Г., Смаль А.Н. Исследование мощности механических потерь в зависимости от времени, температуры масла и скорости изменения режимов обкатки // Агропанорама. 2006. № 1. С. 27–31.

3. Байков Д.В. Совершенствование технологий и технических средств для обкатки и испытаний двигателей малогабаритных тракторов: автореф. дис. … канд. техн. наук. Саранск, 2018. 19 с.

4. Гриценко А.В., Куков С.С. Способ обкатки ДВС и средство для его реализации // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. 2012. Т. 61. С. 39–42.

5. Носков В.А. Резервная электростанция – обкаточный стенд – устройство возбуждения // Международный технико-экономический журнал. 2015. № 1. С. 85–88.

6. Ионов П.А., Сенин П.В., Пьянзов С.В., Столяров А.В., Земсков А.М. Разработка стенда для оценки технического состояния объемных гидроприводов с гидравлическим нагружающим устройством // Инженерные технологии и системы. 2019. Т. 29. № 4. С. 529–545.

УДК 004.512.3

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ХРАНЕНИЯ ПОХОДНОГО ИНВЕНТАРЯ ДЛЯ СЕВЕРНЫХ ТУРИСТИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ

Власов А.Б., Пышко Е.Ю.

ФГАОУ ВО «Мурманский государственный технический университет», Мурманск, e-mail: ezepyshko@yandex.ru

Проблема доступности туристических маршрутов для различных категорий граждан, в том числе неподготовленных, приводит к необходимости строить более гибкую инфраструктуру туризма. Развитие пешего туризма является одним из направлений решения данной задачи. В Мурманской области этот вопрос также оказывается актуальным, особенно из-за суровых климатических условий Кольского Заполярья. В связи с этим необходимы дополнительные технические средства, с помощью которых осуществлялась бы организация условий для развития туристических направлений. В данной работе представлен разработанный прототип программно-аппаратного комплекса с возможностью удаленного управления, на примере модели хранилища, состояние которого может контролироваться оператором на расстоянии, а также осуществлять настройку и управление устройством. Аппаратная часть устройства представляет собой комплекс электронных блоков для обеспечения интерфейса управления замком, блока организации связи с компьютером и прототип корпуса модели хранилища. Все блоки компактно размещены внутри деревянного корпуса модели. Программная часть комплекса представлена в виде программ для микроконтроллеров ESP32 и ATmega328. Эта часть осуществляет работу меню и периферийных устройств модели, ее безопасность и настройку.

Ключевые слова: туризм, пеший туризм, программно-аппаратный комплекс, интерфейс управления, микроконтроллер

AUTOMATED SYSTEM FOR KEEPING TRIPPING EQUIPMENT FOR NORTHERN TOURIST ROUTES

Vlasov A.B., Pyshko E.Yu.

Murmansk State Technical University, Murmansk, e-mail: ezepyshko@yandex.ru

The problem of accessibility of tourist routes for various categories of citizens, including those who are not prepared, leads to the need to build a more flexible tourism infrastructure. The development of Hiking is one of the ways to solve this problem. In the Murmansk region, this issue is also relevant, especially due to the harsh climatic conditions of the Kola Arctic. In this regard, it is necessary to use additional technical means to organize conditions for the development of tourist destinations. This paper presents a developed prototype of a software and hardware complex with the possibility of remote control, using the example of a storage model, the state of which can be controlled by an operator at a distance, as well as configure and manage the device. The hardware part of the device is a complex of electronic blocks for providing the lock control interface, a block for organizing communication with a computer, and a prototype of the storage model. All blocks are compactly placed inside the wooden case of the model. The software part of the complex is presented in the form of programs for ESP32 and ATmega328 microcontrollers. This part performs the operation of the menu and peripherals of the model, its security and configuration.

Keywords: tourism, tripping, hardware and software complex, control interface, microcontroller

Мурманская область благодаря своей уникальной природе, сильно отличающейся от природы, например, центральной части России, имеет все основания для развития туризма.

Пешие походы являются тяжелым испытанием для любого человека. Для преодоления маршрута любой сложности требуется немало сил. Но чтобы полюбоваться природой, не обязательно совершать такие длительные и опасные путешествия, как Михаил Георгиевич Малахов, покоряющий Аляску в своих экспедициях. Для приятного времяпрепровождения будет вполне достаточно тура в несколько дней. Но даже для такого путешествия требуется особая специфическая подготовка: перед отправлением в путь необходимо собрать все вещи, которые могут пригодиться. Это может быть и специализированное оборудование, и палатка со спальным мешком, также необходимо собрать одежду на любую погоду и многие бытовые вещи. При этом желательно ничего не забыть, чтобы долгожданная поездка не обернулась разочарованием или несчастным случаем. Но мало собраться, во время путешествия нужно иметь под рукой все самое необходимое и при этом суметь носить с собой эти вещи, которых никогда не бывает мало.

Новичкам и людям, не имеющим достаточной физической подготовки, чтобы таскать тяжелые рюкзаки и сумки, эти туристические тяготы кажутся серьезными трудностями. И несмотря на то, что пеший туризм – это активный отдых на свежем

воздухе, прекрасное времяпрепровождение с семьей, друзьями или наедине с самим собой в поисках вдохновения или ответов на важные для себя вопросы, возможность полюбоваться красотою природы и увидеть новые для себя места, познать окружающий мир и расширить свой кругозор, приобрести новые знания в области культуры, предпочтительным все-таки остается путешествие на машине или как минимум на организованном транспорте. То есть проблема заключается в том, что одной из причин нежелания отправляться в походы людей, не имеющих туристического опыта, и людей, не обладающих достаточной физической выносливостью, являются трудности, связанные со сбором и с неудобством ношения вещей с собой. Подобные походы оказываются малопривлекательными для пожилых людей и людей, которым нельзя поднимать тяжести. А для них свежий воздух как раз был бы очень полезным.

Целью исследования является разработка программно-аппаратного комплекса с возможностью его удаленного управления и настройки, с помощью которого осуществляется организация пеших туристических маршрутов в условиях севера.

Материалы и методы исследования

Предметом исследования является программно-аппаратный комплекс с возможностью удаленного управления. Использовались теоретический (моделирование) и математические (программирование и визуализация) методы исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Туризм – это один из видов отдыха человека, во время которого производится смена обстановки путем выезда, вылета с постоянного места нахождения, в котором сосредоточена основная деятельность и проживание, для улучшения состояния здоровья, расширения кругозора, познания окружающего мира, получения опыта в своей профессии. Такой вид отдыха позволяет наилучшим образом отвлечься от постоянных проблем и забот, набраться новых сил.

Пешие туристические походы относятся к наиболее полезному во всех отношениях виду активного отдыха. Пеший поход для туриста – это приятный способ найти новых друзей-единомышленников, отдохнуть от городской суеты и обрести душевное равновесие. К тому же путешествие пешком, если оно проходит под руководством опытного инструктора, является вполне безопасным мероприятием.

Туризм в Мурманской области также является полезным отдыхом и времяпрепровождением, несмотря на северный климат.

Местные туристические операторы предлагают несложные пешие маршруты длительностью в несколько дней (в основном от четырех-пяти до семи-восьми дней), находящиеся в глуби Кольского полуострова [1]. В путешествие входят ночевка в гостинице и прохождение самого туристического маршрута протяженностью в несколько десятков километров за все время пути, состоящего из преодоления известных возвышенностей или долин, наблюдение за дикими животными, которых можно встретить вдали от цивилизации, наслаждение красотой пейзажей природы Заполярья, попутный сбор грибов и ягод при желании и сопутствующих погодных условиях.

Анализ туристических маршрутов по Мурманской области показал, что на маршрутах не используются специализированные места и средства для хранения вещей на пути радиальных ежедневных выходов с места стоянки. Хоть туроператоры и утверждают, что все прогулки будут осуществляться «налегке», но даже небольшой рюкзак или сумка средней тяжести могут доставить неудобства в пути, особенно начинающим туристам. И человеку сразу станет проще передвигаться и появится желание еще больше смотреть по сторонам и наслаждаться природой, если он даже немного облегчит свою ношу.

Эта проблема приводит к уменьшению потенциального потока туристов, которые могли бы посетить пешие маршруты. Большое количество походов проходит по малозаселенной части области, и точками сбора на подобные мероприятия оказываются небольшие поселения. В них или рядом с ними туристы находят место для ночлега или для покупки всего необходимого в поход. То есть пребывание туристов приносит доход таким поселениям и некрупным городам, что способствует развитию удаленных районов в целом, созданию рабочих мест для обслуживания приезжих, развитию инфраструктуры и местного производства, появлению потенциального спроса на сувенирную продукцию.

И в связи с этим туристы предпочитают путешествовать по уже изученным и развитым местам, крупным городам, где можно передвигаться на личном транспорте с комфортом, не задумываясь о весе своей сумки и о том, все ли необходимое в ней есть, ведь рядом есть магазин, в котором можно купить все что угодно. При этом воспоминаний о красоте природы и свежем воздухе

при таком времяпрепровождении в памяти не останется.

Разработанная автоматизированная система хранения походного инвентаря для северных туристических маршрутов представляет собой комплекс из нескольких отдельных хранилищ, которые располагаются вдоль определенного пешего туристического маршрута.

Эта система предназначена для размещения в ней необходимого инвентаря для наблюдения, разведения костра, приготовления пищи, отдыха, чтобы не было необходимости носить этот инвентарь с собой на протяжении всего маршрута. Эта мера поможет сделать маршрут более наглядным, увлекательным и комфортным, так как походные рюкзаки хоть на немного, но станут полегче.

Каждое хранилище находится на определенном месте, расположение которого заранее известно и неизменно. В нем содержится инвентарь, который может понадобиться туристу для заранее запланированных согласно содержанию маршрута целей.

Хранилище представляет собой закрывающийся на замок ящик. Его можно открыть либо с помощью числового пароля, либо с помощью пластикового брелока-ключа. За состоянием всех хранилищ следит оператор. Если турист хочет открыть сейф, то оператору поступает соответствующий запрос. После одобрения запроса турист вводит пароль или использует пластиковый ключ.

Все хранилища могут открываться и закрываться независимо друг от друга в любое время. Турист сам выбирает, какой сейф ему нужен.

Такая система контроля состояния позволит определить местонахождение туриста по последнему открытому сейфу, если тот отстал от группы или заблудился.

Также такая система позволяет защитить имущество от конкурентов и злоумышленников. Ведь для того, чтобы открыть подобную систему, недостаточно знать пароль или иметь ключ. Оператор знает, где примерно может находиться турист, и если очевидно, что сейф пытаются взломать, то он может отклонить запрос.

Для изготовления корпуса использовалась фанера толщиной в четыре миллиметра (рис. 1). Стенки имеют многоугольную форму для сборки стык в стык. Это облегчает монтаж и увеличивает прочность корпуса модели и легкость замены любой части. С внутренней стороны стенки закреплены между собой металлическими стяжками.

Рис. 1. Внешний вид модели хранилища

Корпус разделен на две части: на отсек для хранения и на технический отсек (рис. 2). Технический отсек располагается вдоль передней и боковой стенки и отделяется от отсека для хранения двумя внутренними стенками. Крышка фиксируется в петлях на боковых стенках и может свободно вращаться в них.

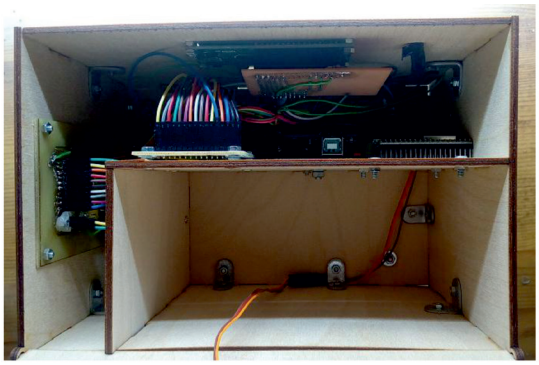


Рис. 2. Технический и внутренний отсеки

В техническом отсеке располагается модуль управления – микроконтроллер Atmega 328P на базе платформы Arduino Uno [2]. Для беспроводной связи с оператором по Wi-Fi используется модуль ESP-WROOM-32. Интерфейс управления находится на передней и боковой панелях и состоит из жидкокристаллического экрана, клавиатуры для навигации по меню, клавиатуры для ввода цифр, беспроводного RFID модуля и индикационного светодиода. Замок представляет из себя серводвигатель. Интерфейс для питания состоит из разъема и тумблера для внешнего источника питания.

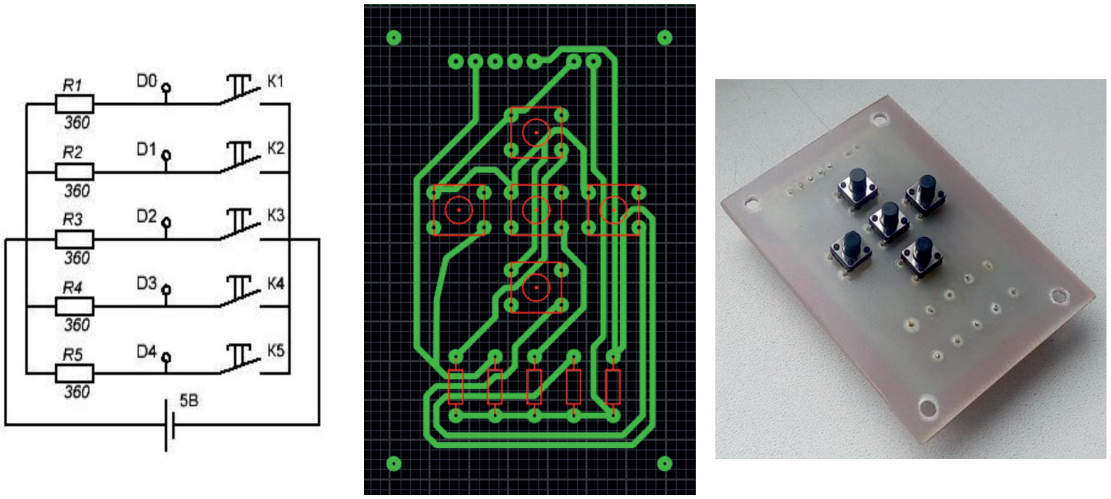


Рис. 3. Электрическая принципиальная схема соединения, макет печатной платы, ее реализация

Для ввода пароля и навигации по меню используется пятнадцать кнопок, из которых десять задействовано в числовой клавиатуре и пять в клавиатуре для перемещения по меню. Каждая функциональная группа кнопок собрана на отдельной печатной плате.

В качестве примера рассмотрим клавиатуру перемещения по меню. Каждая кнопка K1-K5 подключается через токоограничительное сопротивление R1-R5 величиной в 360 Ом к стабилизированному напряжению в 5В, которое подается от платформы Arduino Uno. Между сопротивлениями и кнопками подключаются информационные провода D0-D4, с которых снимается сигнал высокого уровня при нажатии на кнопку и сигнал низкого уровня, если кнопка находится в исходном состоянии [3].

На рис. 3 представлена электрическая принципиальная схема рассмотренной выше клавиатуры, макет составленной по ней печатной платы и ее реализация. Схема соединения кнопок в клавиатуре для ввода цифр аналогична приведенной.

Каждая кнопка с двух клавиатур подключена к выводам каскада из двух сдвиговых регистров SN74HC165N (рис. 4), которые в свою очередь по интерфейсу SPI подключены к микроконтроллеру. Такой способ соединения позволяет сократить количество занимаемых входов микроконтроллера и расширяет возможность подключения к нему дополнительных устройств.

На экране реализовано меню управления. С его помощью можно выполнять следующие действия: вход, создание нового и просмотр текущего пароля, просмотр времени работы сейфа и выход. Клавиатура для навигации по меню состоит из следующих кнопок: «вверх», «вниз» для передвижения по пунктам меню и подменю, «Окей» и «назад» для входа и выхода из пунктов меню и подменю соответственно, «стереть» для удаления неверно набранного символа при вводе и редактировании пароля. Для ввода цифр используется соответствующая клавиатура. Беспроводной RFID модуль представляет из себя модуль считыватель, брелок-ключ [4, 5].

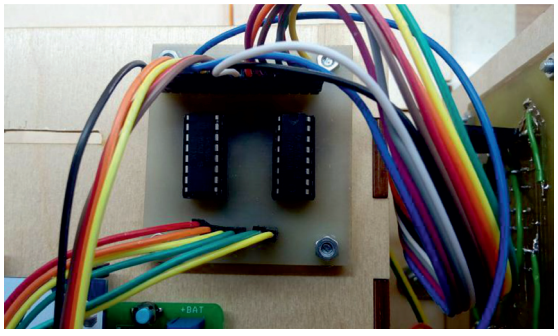


Рис. 4. Каскад из двух сдвиговых регистров SN74HC165N

В качестве индикационного светодиода используется RGB-светодиод, который горит либо зеленым, либо красным цветом в зависимости от режима работы сейфа.

Серводвигатель закреплен с внутренней стороны крышки сейфа. В закрытом состоянии прикрепленная к подвижной части серводвигателя пластина находится в пазе стенки между отсеком для хранения и техническим, обеспечивая неподвижность крышки. При открытии пластина

выходит из паза, и крышка может свободно открываться.

Изначально сейф находится в ждущем режиме. При нажатии на любую кнопку он выходит из этого состояния и с помощью ESP-модуля отправляет по Wi-Fi запрос на открытие хранилища. Если оператор одобряет запрос, то сейф переходит в меню, и турист может открыть его и выполнять все возможные действия. А если отклоняет, то система возвращается обратно в режим ожидания.

В режиме входа на экране пользователю предлагается выбрать способ открытия. После выбора удобного варианта система переходит в режим считывания данных с клавиатуры или с датчика беспроводного модуля. При неверно введенных данных система выдает сообщение об ошибке. В режиме просмотра текущего пароля система сначала запрашивает его ввод, при правильном вводе на экране высвечивается пароль. При неверном наборе появится сообщение об ошибке. В режиме создания нового пароля система сначала требует ввести старый. После успешного ввода появляется возможность набрать новый пароль. Затем пользователю необходимо подтвердить его смену, и в память микроконтроллера записывается новый пароль, который нужно будет использовать при дальнейших действиях. В режиме просмотра времени работы на экран выводится количество отработанных часов, минут и секунд. В режиме выхода система запрашивает подтверждение о том, действительно ли пользователь хочет закрыть сейф. И после получения согласия замок закрывается.

В данной системе используются два способа открытия замка. В первом необходим пароль, на который заранее запрограммирован сейф. В памяти микроконтроллера хранится переменная, пароль, который состоит из цифр от нуля до девяти. Вводимый пользователем пароль, также состоящий из цифр от нуля до девяти, тоже сохраняется в памяти микроконтроллера. При нажатии на кнопку «Окей» введенное и заданное числа сравниваются. Если пароль введен верно, то серводвигатель поворачивается на заданный угол, сейф открывается, индикационный RGB-светодиод загорается зеленым цветом и на экране появляется приветственная надпись. Если пароль введен неверно, то серводвигатель останется в исходном положении, светодиод загорается красным цветом, а на экране появится сообщение об ошибке.

Вторым способом открытия сейфа является использование беспроводного RFID модуля. В памяти микроконтроллера хранятся две переменные, содержащие значения ID-номеров брелока-ключа. При поднесении последнего модуль-датчик считывает его ID-номер, значение которого сохраняется, затем происходит сравнение полученного и заданного значений. При совпадении или несовпадении чисел система производит те же действия, что и при использовании первого способа.

Заключение

Развитие малонаселенных и удаленных поселений является актуальной задачей для Мурманской области. Разработанная модель хранилища поможет решить проблему тяжелых рюкзаков и поможет туристам по-новому взглянуть на пеший туризм. Что в свою очередь будет способствовать развитию отдаленных районов области.

В результате проделанной работы цель достигнута и задачи решены. Разработан работающий прототип хранилища, состояние которого может контролироваться оператором на расстоянии, а также есть возможность осуществлять настройку и управление устройством.

Был проведен анализ существующих технологий и сделан вывод, что подобные устройства не используются. Поэтому есть необходимость в разработке подобных прототипов.

Список литературы

1. Отдых на Кольском полуострове: экологический туризм, пешие походы в горы и туристические маршруты по магическим местам силы. [Электронный ресурс]. URL: http://www.lovozero.ru/tours.phtml?item_id=1864 (дата обращения 16.11.2020).

2. Официальный российский сайт Arduino. [Электронный ресурс]. URL: http://arduino.ru/ (дата обращения 16.11.2020).

3. Бобровников Л.З. Электротехника. 5-е изд.: Учебник для вузов. СПб.: Питер, 2004. 560 с.

4. Кнут Д. Искусство программирования. Том 1. Основные алгоритмы. М.: Издательский дом «Вильямс», 2015. 720 с.

5. Ревич Ю.В. Практическое программирование микроконтроллеров Atmel AVR на языке ассемблер. СПб.: БХВ-Петербург, 2014. 368 с.

УДК 536.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В ПЛАСТИНЕ С ПЕРЕМЕННЫМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Губарева К.В., Попов А.И., Зинина С.А., Шульга А.С., Чуянов Д.О.

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, e-mail: r.kristina2017@mail.ru

Нестационарный процесс переноса тепла в твердых телах может быть представлен уравнениями гиперболического или параболического типов. Отыскивая решения данных уравнений, применяют различные приближенно-аналитические методы: разделение переменных методом Фурье, метод интегральных преобразований и прочие – и численные: метод конечных элементов, метод конечных разностей и прочие, в которых используют программные комплексы OpenFoam, Ansys или Comsol. Аналитические решения, в том числе и приближенные, обладают некоторыми существенными преимуществами в сравнении с численными. Серьёзные математические трудности перед исследователем стоят при получении точных аналитических решений подобных задач. В свою очередь, аналитические решения имеют существенные преимущества в сравнении с численными методами. Например, найденное решение в аналитическом виде позволяет выполнять анализ исследуемой системы по параметрам, проводить своего рода параметрическую идентификацию, настройку и программирование измерительных устройств, планирование управляющих воздействий в производственных процессах и др. В связи с вышесказанным продвижение в развитии получили приближенные аналитические (численно-аналитические) методы. Сравнению такого метода с численным методом под влиянием переменных теплофизических свойств и посвящена настоящая статья.

Ключевые слова: моделирование теплообмена, граничные условия первого рода, внутренние источники теплоты

SIMULATION OF THE HEAT EXCHANGE PROCESS IN A PLATE WITH VARIABLE THERMAL PROPERTIES

Gubareva K.V., Popov A.I., Zinina S.A., Shulga A.S., Chuyanov D.O.

Samara State Technical University, Samara, e-mail: r.kristina2017@mail.ru

The unsteady process of heat transfer in bodies can be represented by equations of hyperbolic and parabolic and types. Solving these equations, various analytical methods are used – this can be the method of separation of Fourier variables, the method of integral transformations, the method of Green's functions, and others, as well as numerical methods – finite element methods, finite difference methods and others, in which OpenFoam, Ansys or Comsol. Analytical solutions, including approximate ones, have some significant advantages over numerical ones. The researcher faces serious mathematical difficulties in obtaining exact analytical solutions to such problems. In turn, analytical solutions have significant advantages over numerical methods. For example, the solution found in an analytical form allows analyzing the system under study by parameters, carrying out a kind of parametric identification, setting and programming measuring devices, planning control actions in production processes, etc. In connection with the foregoing, – analytical) methods. Comparison of this method with the numerical method under the influence of variable thermophysical properties is the subject of this article. The solutions found in this way have a simple form of algebraic expressions, without special functions, which allows design engineers to carry out studies in the fields of isotherms with the determination of the speeds of their motion in time along the spatial coordinate.

Keywords: modeling of heat transfer, boundary conditions of the first kind, internal sources of heat

Достаточно часто, в теплоэнергетической отрасли и не только, встречаются случаи, когда внутри твердого тела протекает электрический ток, происходит химическая или эндотермическая реакция или же ядерное превращение. Все эти реакции происходят за счет внутренних источников тепловой энергии [1–3]. В инженерной практике большие трудности представляет собой получение точных приближенно-аналитических решений задач нестационарной теплопроводности с использованием классических методов под воздействием внутренних источников теплоты [4–5] (метод Фурье, функций Грина, или интегральных преобразований), так как решения, найденные такими методами, выражаются сложными функциональными зависимостями. Тогда как применение таких решений в практических расчетах крайне затруднено. В случае если мощность внутренних источников изменяется во времени, во многих случаях, классические методы вообще неприменимы.

При проектировании теплообменного оборудования, как правило, применяются полуэмпирические теории (являющиеся обобщением экспериментальных данных), позволяющие существенно упростить расчеты. Для более точных расчетов используют современные средства численного моделирования – программные комплексы Ansys, Comsol, OpenFoam и др. Однако их использование существенно ограничивается вычислительной мощностью ЭВМ. В связи с этим развитие также получили точные и приближенные аналитические

методы математического моделирования процессов теплообмена и гидродинамики. Использование аналитических методов оправдано для решения краевых задач для теплообменных систем простой геометрической формы, без учета зависимости теплофизических свойств от температуры и др. Преимущество аналитических решений состоит в том, что они могут быть использованы при параметрическом анализе процесса, для решения обратных задач, параметрической идентификации.

В статье [1] представлен метод математического моделирования процесса переноса тепловой энергии без учета теплофизических параметров в пластине при граничных условиях I рода. Следуя представленному методу, решение задачи сводится к интегрированию обыкновенного дифференциального уравнения относительно плотности теплового потока на поверхности исследуемой области решения дифференциального уравнения в частных производных относительно температуры. Нелинейность задачи с переменными теплофизическими свойствами накладывает ряд трудностей для применения результатов на практике. Решение дифференциальных уравнений теплопроводности с зависящими от температуры теплофизическими свойствами среды представляет собой громоздкие алгебраические зависимости. С учетом вышесказанного разработка приближенно-аналитических методов решения нелинейных задач теплопроводности является весьма актуальной задачей. Покажем, что предложенный метод в [1] эффективен при решении задач нестационарной теплопроводности при нелинейности.

Цель исследования: исследовать и проанализировать влияние теплофизических параметров на температуру в пластине при граничных условиях I рода с переменными внутренними источниками тепла.

Материалы и методы исследования

В данной работе представлены результаты сравнения эффективности метода математического моделирования решения задач нестационарной теплопроводности [1], основанного на использовании дополнительных граничных условий и дополнительной искомой функции (или плотности теплового потока) и процесса теплообмена с переменными теплофизическими свойствами.

Без учета теплофизических параметров математический вид задачи (для половины пластины ввиду симметрии):

$$\frac{\partial T(x,\tau)}{\partial \tau} = a\frac{\partial^2 T(x,\tau)}{\partial x^2} + \frac{\omega(\tau)}{c\gamma}; \quad (1)$$

$$T(x,0) = T_0; \quad (2)$$

$$T(0,\tau) = T_{ст}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial T(\delta,\tau)}{\partial x} = 0, \quad (4)$$

при $\tau > 0$; $0 < x < \delta$; где T, x, τ – температура, координата, время; $a = \lambda/(c\rho)$ – температуропроводность; ρ – плотность; λ – коэффициент теплопроводности; c – удельная теплоемкость; $\omega(\tau) = \omega_0(1+\beta\tau)$ – удельная мощность внутреннего источника, ω_0 – начальная мощность; T_0, $T_{ст}$ – начальная температура, температура стенки; δ – половина толщины.

Задача (1)–(4) может быть представлена в виде [1]

$$\frac{\partial \Theta(\xi,\mathrm{Fo})}{\partial \mathrm{Fo}} = \frac{\partial^2 \Theta(\xi,\mathrm{Fo})}{\partial \xi^2} + \mathrm{PoFo} + \mathrm{Po}_1; \quad (5)$$

$$\Theta(\xi,0) = 0; \quad (6)$$

$$\Theta(0,\mathrm{Fo}) = 1; \quad (7)$$

$$\frac{\partial \Theta(1,\mathrm{Fo})}{\partial \xi} = 0, \quad (8)$$

при $\mathrm{Fo} > 0$; $0 < \xi < 1$; где $\Theta = (T - T_{ст})/(T_0 - T_{ст})$ – безразмерная температура; $\xi = x/\delta$ – безразмерная координата; $\mathrm{Fo} = (a\tau)/\delta^2$ – критерий Фурье; $\mathrm{Po} = \mathrm{Po}_1\delta^2/\beta a$ – критерий Померанцева; $\mathrm{Po}_1 = (\omega\delta^2)/[c\rho a(T_0 - T_{ст})]$ – начальное значение Померанцева в нулевой момент.

Согласно разработанному в [1] методу введем в рассмотрение новую искомую функцию времени

$$\varphi(\mathrm{Fo}) = \frac{\partial \Theta(0, \mathrm{Fo})}{\partial \xi} = tg\,\alpha, \tag{9}$$

где α – угол между осью координат ξ и касательной к графику температуры в ξ = 0.

Тогда

$$\varphi(\tau) = \frac{\delta}{T_{\text{ст}} - T_0} \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial x}.$$

Согласно уравнению теплопроводности плотность теплового потока на поверхности пластины определяется выражением

$$q(\tau) = -\lambda \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial x},$$

можно представить

$$\varphi(\tau) = \frac{\delta}{\lambda (T_0 - T_{\text{ст}})} q(\tau) = k\, q(\tau),$$

где k = const.

Решение задачи (5)–(8) отыскивается в виде

$$\Theta(\xi, \mathrm{Fo}) = \sum_{i=1}^{n} b_i(\mathrm{Fo})\, \xi^{i-1}, \tag{10}$$

где b_i(Fo) – коэффициенты, $n \in N$ – натуральное число, соответствующее количеству членов (10).

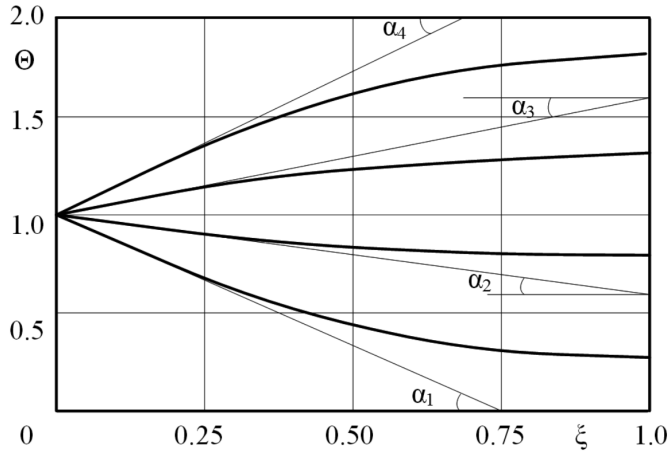


Рис. 1. Схема теплообмена

В первом приближении решение [1]

$$\Theta(\xi, \mathrm{Fo}) = \left(\left(\frac{1}{3}\mathrm{Po} - \mathrm{Po}_1 - \frac{5}{2} \right) e^{-3\mathrm{Fo}} + \mathrm{Po}_1 + \mathrm{Po}\left(\mathrm{Fo} - \frac{1}{3} \right) \right) \xi (1 - 0{,}5\xi) + 1. \tag{11}$$

Новая функция на поверхности пластины определяется выражением

$$\varphi(\mathrm{Fo}) = C_1 e^{-3\mathrm{Fo}} + \mathrm{Po}_1 + \mathrm{Po}\left(\mathrm{Fo} - \frac{1}{3} \right), \tag{12}$$

где C_1 – константа интеграции, которая определяется из невязки условия.

Для нахождения решения во втором приближении потребуется увеличение степени (10). При определении коэффициентов b_i будут использоваться новые дополнительные граничные условия. Четвертое граничное условие найдено после подстановки $\xi = 0$ в исходное уравнение. Пятое и шестое граничные условия найдены путем однократного дифференцирования исходного уравнения и постановкой значений координат $\xi = 0$ и $\xi = 1$ соответственно. После нахождения новых граничных условий составляется система шести алгебраических уравнений. Решая данную систему, находятся коэффициенты b_i.

Во втором приближении решение получено в виде [1]

$$\Theta(\xi, \mathrm{Fo}) = f_1(\xi)\, C_1 \exp(K_1 \mathrm{Fo}) + f_2(\xi)\, C_2 \exp(K_2 \mathrm{Fo}) + 1. \quad (13)$$

Во втором приближении новая искомая функция определяется выражением

$$\varphi(\mathrm{Fo}) = C_1 \exp(K_1 \mathrm{Fo}) + C_2 \exp(K_2 \mathrm{Fo}) + \mathrm{Po}_1 + \mathrm{Po}\left(\mathrm{Fo} - \frac{1}{3}\right), \quad (14)$$

где $K_1 = 2{,}4633$; $K_1 = 36{,}5370$ при $\mathrm{Po} = 5$; $\mathrm{Po}_1 = 5$.

В последующих приближениях для дальнейшего повышения точности требуется увеличивать число членов алгебраического полинома. Для отыскания решения в дальнейших приближениях потребуется вводить новые дополнительные граничные условия.

Общие формулы для их определения краевых граничных условий имеют следующий вид [1]

$$\frac{\partial^{k+1}\Theta(0, \mathrm{Fo})}{\partial \xi^{k+1}} + jPo = 0;$$

$$\frac{\partial^{k-1}\varphi(\mathrm{Fo})}{\partial \mathrm{Fo}^{k-1}} = \frac{\partial^{2k-1}\Theta(0, \mathrm{Fo})}{\partial \xi^{2k11}};$$

$$\frac{\partial^{2k-1}\Theta(1, \mathrm{Fo})}{\partial \xi^{2k-1}} = 0$$

при $j = 0$, $k > 3$, $j = 1$, $k \le 3$, где $k = 1, 2, 3 \ldots$ – номер выполняемого приближения.

Уравнение теплопроводности, которое учитывает теплофизические свойства среды, то есть зависимость свойств среды от температуры и нелинейную зависимость от температуры мощности внутренних источников, представлено выражением (15). В случае введения зависимости от температуры граничные условия (7)–(9) записываются в виде (16)–(18):

$$\frac{\partial \Theta(\xi, \mathrm{Fo})}{\partial \mathrm{Fo}} = \frac{\partial^2 \Theta(\xi, \mathrm{Fo})}{\partial \xi^2}(1 + \mu\Theta) + \mu\left(\frac{\partial \Theta(\xi, \mathrm{Fo})}{\partial \xi}\right)^2 + \mathrm{PoFo} + \mathrm{Po}_1, \quad (15)$$

$$(\mathrm{Fo} > 0\,; \quad 0 < \xi < 1)$$

$$\Theta(\xi, 0) = 0; \quad (16)$$

$$\Theta(0, \mathrm{Fo}) = K; \quad (17)$$

$$\Theta(1, \mathrm{Fo}) = K. \quad (18)$$

где μ – коэффициент теплопроводности; K – константа.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 2, 3 представлены графики изменения $\Theta(\xi, \mathrm{Fo})$ при различных значениях коэффициента μ.

Результаты численного решения задачи (15)–(18) представлены на рис. 2, 3. Делаем вывод, что учет зависимости коэффициента теплопроводности от температуры приводит к существенному изменению температурной функции. В частности, при увеличении μ отмечается снижение температурных градиентов внутри тела.

На рис. 4 представлены графики новой искомой функции φ(Fo) по формуле (14). Из графика видно, что точность определения плотности теплового потока φ(Fo) значительно превышает точность определения безразмерной температуры относительно продольной координаты и безразмерного времени. Анализируя график на рис. 4, можно заключить, что в промежутке безразмерного времени $0{,}1 \le Fo < \infty$ расхождение результатов плотности теплового потока составило около 4%. Соответственно, решение задачи без учета нелинейности в работе [1] можно считать эффективным.

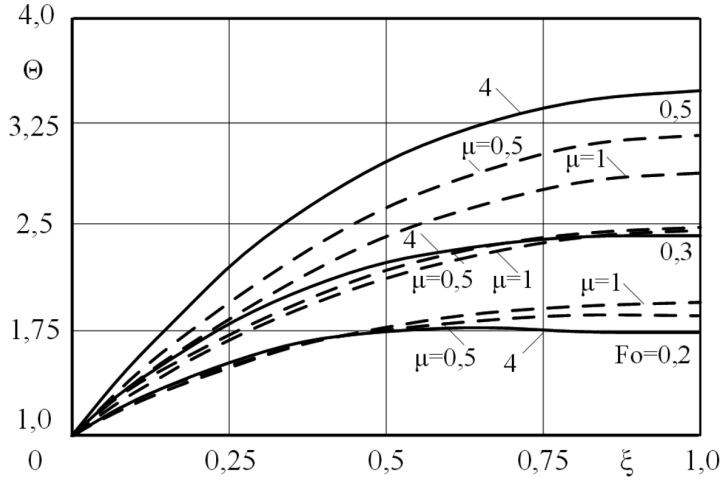


Рис. 2. Графики изменения температуры: – – – – численное решение с учетом нелинейности; — – приближенное решение в четвертом приближении без учета нелинейности, при Po = 5; $Po_1 = 5$

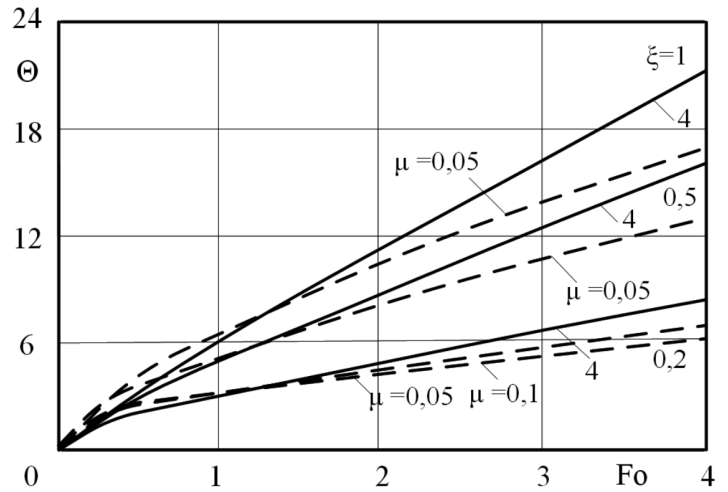


Рис. 3. Графики изменения температуры: – – – численное решение с учетом нелинейности; —— – приближенное решение в четвертом приближении без учета нелинейности; при Po = 5; $Po_1 = 10$

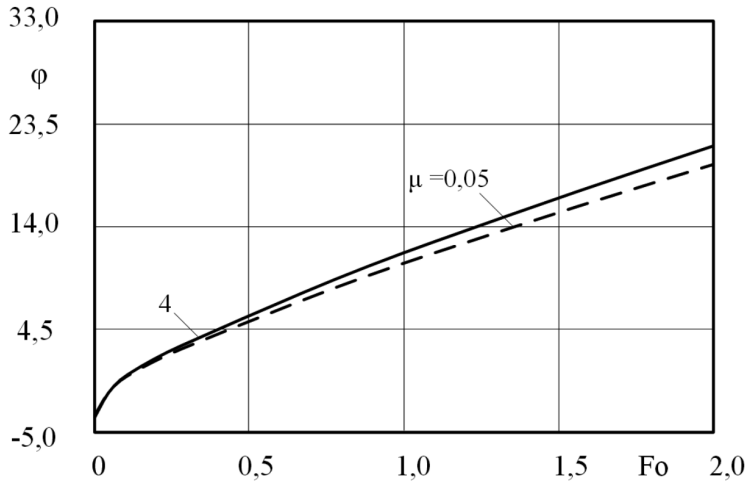


Рис. 4. Графики изменения плотности теплового потока φ(Fo). —— – приближенное решение без учета нелинейности; – – – численное решение с учетом нелинейности; 4 – номер приближения; Po = 5; Po_1 = 10

Анализируя рис. 4, можно сделать вывод, что в момент времени кода Fo = 0 значение плотности теплового потока φ(Fo) увеличивается до 10 уже в первом приближении.

Выводы

Целью данной статьи было показать влияние теплофизических параметров в бесконечно протяженной пластине на безразмерную температуру при граничных условиях I рода с внутренними источниками теплоты переменными во времени.

Показано, что расхождение результатов расчетов безразмерной температуры относительно безразмерного времени в бесконечно протяженной пластине с численным решением уравнения в промежутке времени $0{,}1 \le Fo < \infty$ около 10% и понижается при учете коэффициента μ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ в рамках научного проекта МК–2614.2019.8.

Список литературы

1. Губарева К.В., Краснова Н.П., Трубицын К.В., Попов А.И., Ткачев В.К. Об одном методе решения нестационарных задач теплопроводности с постоянными во времени внутренними источниками теплоты // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: труды XXI Международной конференции: Самара: ООО «Офорт», 2019. С. 257–261.

2. Лыков А.В. Теория теплопроводности. Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1967. 600 с.

3. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Изд. дом «Бастет», 2010. 344 с.

4. Кудинов В.А., Карташов Э.М., Стефанюк Е.В. Техническая термодинамика и теплопередача. М.: Юрайт, 2011. 560 с.

5. Еремин А.В. и др. Обобщенные функции в задачах теплопроводности для многослойных конструкций с источниками теплоты // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2018. № 3. С. 52–58.

УДК 004.43

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ФРЕЙМВОРКОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ В ЦЕЛЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ

Чулин К.В., Белов Ю.С., Гришунов С.С.

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, филиал, Калуга, e-mail: fn1-kf@mail.ru

Веб-приложения непрерывно завоевывают всё большую популярность и в значительной мере вытесняют классические. Их высокая гибкость, широкий выбор языков программирования и независимость от операционной системы клиента легко объясняют такой успех. На сегодняшний день актуальной является разработка веб-приложений, связанных с цифровой трансформацией предприятия. В результате цифровизации повышаются производительность каждого сотрудника и уровень удовлетворенности клиентов, а компания приобретает репутацию прогрессивной и современной организации. Технологии цифровизации позволяют организовать максимально персонализированное взаимодействие, которое предпочитает большинство клиентов. Стандарты веб-разработки постоянно растут вместе со сложностью современных технологий. Есть два пути разработки веб-приложений: с использованием фреймворков и без них. Некоторые веб-разработчики считают, что веб-платформа настолько развита, что разработчику не нужны дополнительные API-интерфейсы для упрощения создания приложений. Другие же говорят о том, что фреймворки значительно упрощают и ускоряют разработку. Целью исследования является проведение анализа фреймворков Django, Spring MVC, Laravel и Ruby on Rails для разработки веб-приложения. Рассмотрены их преимущества и недостатки. Описаны особенности фреймворков. Показаны различия исследуемых фреймворков. Осуществлен выбор фреймворка в зависимости от требований к разрабатываемому проекту.

Ключевые слова: веб-приложения, фреймворк, цифровизация, цифровая трансформация, Django, Laravel, Spring, Ruby on Rails

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF FRAMEWORKS FOR WEB APPLICATION DEVELOPMENT IN ORDER TO DIGITALIZE THE ECONOMY

Chulin K.V., Belov Yu.S., Grishunov S.S.

Bauman Moscow State Technical University, branch, Kaluga e-mail: fn1-kf@mail.ru

Web applications are constantly gaining more and more popularity and are largely replacing classic ones. Their high flexibility, wide choice of programming languages and independence from the client's operating system easily explain this success. Today, the development of web applications related to the digital transformation of an enterprise is relevant. As a result of digitalization, the productivity of each employee and the level of customer satisfaction increase, and the company gains a reputation for being a progressive and modern organization. Digitalization technologies allow you to organize the most personalized interaction that most customers prefer. Web development standards are constantly growing along with the complexity of modern technologies. There are two ways to develop web applications: with and without frameworks. Some web developers believe that the web platform is so advanced that the developer does not need additional APIs to simplify the creation of applications. Others say that frameworks make development much easier and faster. The aim of the study is to analyze the Django, Spring MVC, Laravel and Ruby on Rails frameworks for developing a web application. Their advantages and disadvantages are considered. Features of frameworks are described. The differences of the studied frameworks are shown. The choice of the framework has been made depending on the requirements for the project being developed.

Keywords: web applications, framework, digitalization, digital transformation, Django, Laravel, Spring, Ruby on Rails

Веб-приложения беспрерывно завоевывают всё большую популярность. Их высокая гибкость, широкий выбор языков программирования и независимость от операционной системы клиента легко объясняют такой успех. Сама идея клиент-серверных приложений, будучи уже весьма зрелой, захватила мир программного обеспечения. Стандарты веб-разработки постоянно растут вместе со сложностью современных технологий. Сегодня актуальной является разработка веб-приложений, связанных с цифровой трансформацией предприятия. В результате цифровизации повышаются производительность каждого сотрудника и уровень удовлетворенности клиентов, и компания приобретает репутацию прогрессивной и современной организации.

Есть два пути разработки веб-приложений: с использованием фреймворков и без них. Некоторые веб-разработчики поддерживают идею отказа от фреймворков для разработки веб-приложений. В частности, речь идет о том, что веб-платформа настолько развита, что разработчику не нужны дополнительные API-интерфейсы для упрощения создания приложений. Разработка веб-приложений без использования фреймворков означает согласие не извлекать выгоду из работы групп разработчиков фреймворков, которые часто тесно сотрудничают с создателями браузеров. Другая часть раз-

работчиков говорит о том, что фреймворки значительно упрощают и ускоряют разработку.

Цель исследования: провести анализ фреймворков Django, Spring MVC, Laravel и Ruby on Rails для разработки веб-приложения. Рассмотреть их недостатки и преимущества. Описать особенности фреймворков. Показать различия исследуемых фреймворков. Произвести выбор фреймворка в зависимости от требований к разрабатываемому проекту.

Язык программирования Python считается одним из самых популярных и востребованных для создания веб-приложений. Он способен решать различные задачи, в том числе реализовывать веб-приложения, которые используют миллионы пользователей. «Дзен Python» – это собственная философия языка, на основе которой работает Python.

Фреймворк Django лучше всего подходит для работы с самыми высокими уровнями трафика [2].

Недостатки Django: использование шаблона маршрутизации с URL, Django является слишком монолитным, все основано на ORM Django, компоненты разворачиваются вместе, необходимо освоить всю систему для работы.

Чтобы ускорить рабочий процесс, можно установить индивидуальную конфигурацию. Раньше разработка кода требовала большого количества времени, а теперь появилась возможность значительно упростить этот процесс.

Laravel – это бесплатный PHP-фреймворк с открытым исходным кодом, предназначенный для разработки веб-приложений, использующий архитектурную модель MVC; он был выпущен в 2011 году, но благодаря

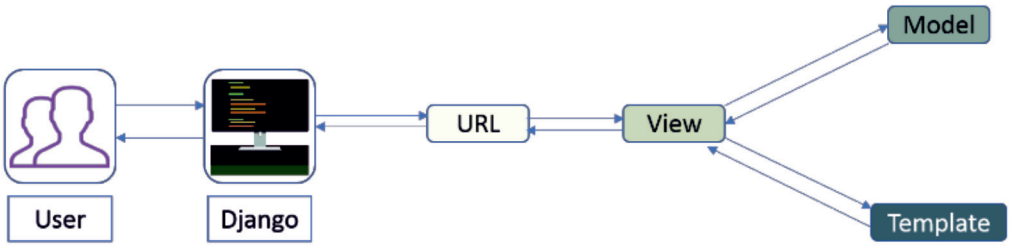


Рис. 1. Шаблон MVC в Django

Django – это веб-фреймворк Python, использующий шаблон проектирования MVC (рис. 1). Django был выпущен в 2005 году и постепенно стал одним из лучших фреймворков для веб-разработки. Возможности фреймворка позволяют сразу приступить к разработке [1].

Django обладает рядом преимуществ. Django был разработан, чтобы помочь разработчикам создавать приложения как можно быстрее. Этот подход предполагает создание идеи, разработку и выпуск проекта, где Django экономит время и ресурсы на каждом из этих этапов. Таким образом, данный фреймворк можно назвать идеальным решением для разработчиков, для которых вопрос дедлайна стоит на первом месте. Django работает с огромным количеством дополнительных функций, которые значительно упрощают реализацию аутентификации пользователей, помогают с картами сайта, администрированием контента, RSS и др. Во время работы вы получаете защиту от ошибок, связанных с безопасностью, таких как SQL-инъекции, clickjacking и т.д., которые ставят под угрозу проект.

быстрым темпам развития и огромному количеству поклонников сейчас это один из самых популярных PHP-движков [3].

К числу преимуществ Laravel можно отнести документацию. Документация Laravel очень структурирована. В ней есть отдельные статьи для каждой конструкции и каждого процесса. Поскольку у этой PHP-платформы много последователей по всему миру, вы можете найти множество различных сообществ, форумов и пользовательских переводов статей в Сети. Структура кода соответствует популярному шаблону проектирования MVC (рис. 2). MVC позволяет сделать код более читаемым, процесс разработки становится комфортнее, дифференцируя работу frontend- и backend-разработчиков [4]. Artisan – это консоль Laravel, которая позволяет использовать команды для работы с миграциями, контроллерами, моделями, авторизацией и другими базовыми компонентами фреймворка. Blade – это настраиваемый шаблонизатор с набором собственных директив. После установки фреймворка Laravel в распоряжении разработчика есть файлы app.js

и app.css, которые представляют собой скомпонованные и минимизированные jQuery и BootStrap самых последних версий на момент выхода релиза Laravel. Laravel предоставляет механизм для регистрации и авторизации пользователей. В Laravel есть конструкции, позволяющие проводить валидацию данных на основе различных готовых правил. В Laravel можно создавать собственные правила, сообщения об ошибках и настраиваемые валидаторы. Eloquent ORM – это технология программирования, разработанная для упрощения работы с базами данных, предоставляя методы API для типичных операций (выборка, добавление, обновление, удаление и т.д.). Laravel предоставляет набор методов для создания и управления задачами, выполняемыми с помощью планировщика задач Cron [5].

К недостаткам Laravel можно отнести нарушение обратной совместимости между разными версиями Laravel; наличие «синтаксического сахара», к которому разработчики очень быстро привыкают и забывают о том, как правильно писать чистые функции и запросы; нелогичное расположение файлов и каталогов в проекте; требуется хороший уровень владения английским языком: большинство полезных статей и официальной документации написано на английском языке, поэтому разработчики, не владеющие английским языком на уровне чтения технической документации, не смогут работать с этим фреймворком.

Spring Framework – мощный фреймворк для разработки приложений. В более широком смысле Spring Framework – это хорошо разработанный инструмент, который поддерживает несколько веб-приложений, использующих Java в качестве языка программирования. Фреймворк был замечен на рынке благодаря модульности его базового функционала. Его можно разделить на разные модули, каждый из которых выполняет свою функцию.

Одной из важных особенностей Spring Framework является его легкость. Данный фреймворк очень легкий с точки зрения размера и функциональности благодаря реализации POJO, которая не требует наследования каких-либо классов и реализации каких-либо интерфейсов. Управление транзакциями используется для объединения нескольких API-интерфейсов управления транзакциями и координации транзакций объектов Java. Spring проектирует и управляет жизненным циклом и настройками объектов приложения. Внедрение зависимостей позволяет разрабатывать слабосвязанные приложения. Это значительно упрощает выполнение их модульного тестирования. Spring обеспечивает интеграцию фреймворков, решающих более сложные проблемы. Например, IBATIS, Hibernate, Toplink и т.д. [6].

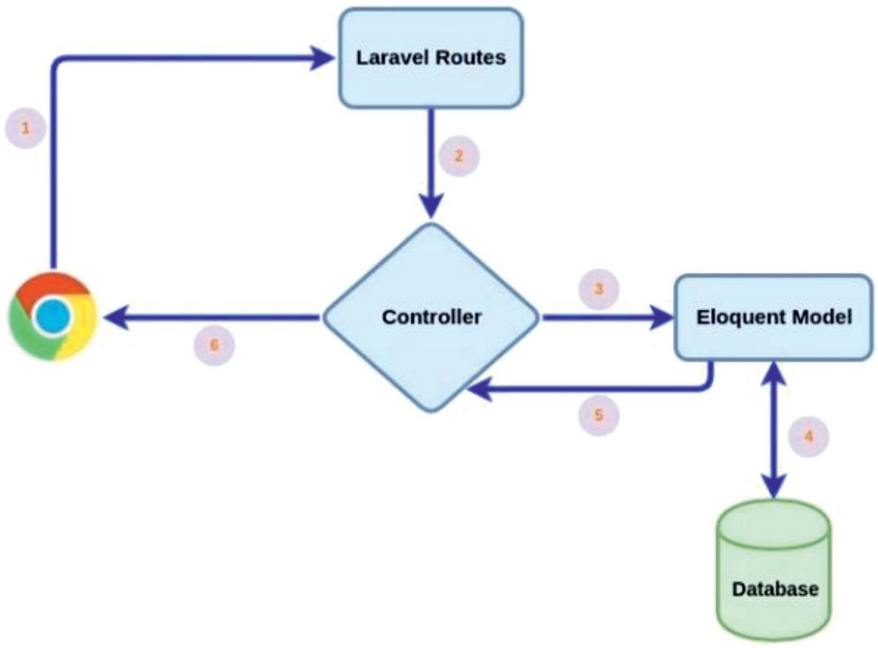


Рис. 2. Архитектура приложения на Laravel

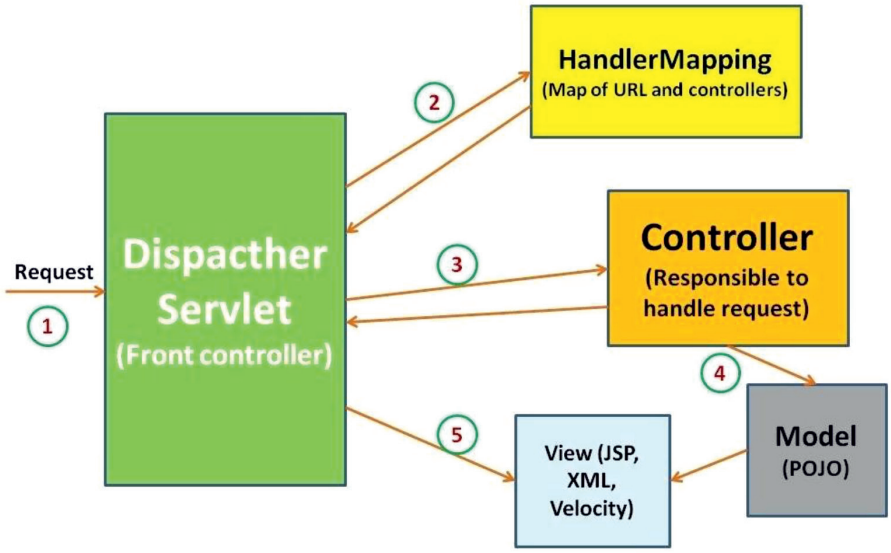


Рис. 3. Шаблон MVC в Spring MVC

Spring Web MVC, также известный как Spring MVC, является веб-средой Spring. Spring MVC позволяет создавать различные приложения: от небольших веб-сайтов до сложных веб-сервисов [7].

Вот так выглядит MVC в Spring (рис. 3):

Model содержит данные, которые требуется отобразить на веб-странице. Однако данные полностью независимы от HTML, это простые объекты Java, из которых состоит приложение.

View будет HTML-шаблоном, который является каркасом для вашей HTML-страницы, написанной с помощью определенных библиотек шаблонов. Эти библиотеки позволяют включать заполнители в шаблоны, которые позволяют получить доступ к данным модели, например имени пользователя.

Controller будет аннотированным методом @Controller, который отвечает на HTTP-запрос и знает, как преобразовать HTTP-запрос в объекты Java, а также объекты Java в ответ HTML.

К достоинствам Spring MVC однозначно можно отнести саму концепцию ориентированности на запросы: когда разработчик четко понимает, какие запросы и куда отправляются со стороны клиента, это приводит к более рациональному дизайну приложения, к более оптимизированному и быстрому коду. Поддерживать приложение на Spring MVC легко, потому что все прозрачно. Нет зависимости от сторонних библиотек. Для создания визуальных компонентов и реализации определенной логики можно использовать библиотеки, известные всем веб-разработчикам, такие как JQuery, Twitter Bootstrap и т.д. [8].

Главным недостатком является длительный срок разработки. Если вам нужно сделать систему в кратчайшие сроки, вы можете брать уже готовые компоненты и не беспокоиться о дизайне. Тогда вполне можно отказаться от Spring MVC.

Ruby on Rails – это фреймворк для веб-разработки, написанный на языке программирования Ruby. Ruby постоянно развивается и окружен большим сообществом. Количество веб-сайтов, созданных с использованием этой платформы, быстро растет.

Философия Ruby on Rails включает два важных ведущих принципа. Don’t Repeat Yourself – это принцип разработки программного обеспечения, который гласит, что «каждая часть знания должна иметь единственное, непротиворечивое и авторитетное представление в рамках системы, авторитетное представление в системе». Convention Over Configuration: у Rails есть соглашения о наилучших способах выполнить множество задач в веб-приложении, и эти соглашения выставлены по умолчанию.

Разработка на Ruby on Rails имеет ряд преимуществ для проектов. Первое, что нужно учитывать при выборе правильной серверной среды, – статус Open Source. Это означает, что Ruby on Rails может использоваться бесплатно. Поскольку Ruby on Rails является открытым исходным кодом, есть возможность внести свой вклад в раз-

витие фреймворка. В Ruby on Rails огромное сообщество разработчиков. Множество программистов разрабатывает огромное количество бесплатных дополнений, которые можно интегрировать в приложения [9].

Обширная экосистема делает Ruby on Rails превосходным по сравнению со многими другими фреймворками. RubyGems – сервис хостинга «драгоценных камней» сообщества Ruby, предоставляет доступ к тысячам различных «гемов», которые могут принимать форму дополнений, библиотек или фрагментов программного обеспечения. Драгоценные камни представляют собой готовые решения для различных проблем, которые упрощают процесс разработки. MVC (формат модель-представление-контроллер) – неотъемлемая часть инфраструктуры Ruby on Rails (рис. 4). Ruby on Rails допускает параллельную разработку и позволяет программистам ускорить данный процесс в три раза.

кументируется. Это ускоряет процесс разработки, так как команде разработчиков не нужно выписывать отдельную документацию. В Ruby on Rails есть три среды по умолчанию, а именно: производство, разработка и тестирование. Весь цикл разработки оптимизирован. Есть возможность протестировать продукт, который разрабатывается на каждом этапе. Это приводит к меньшему количеству ошибок и ошибок, о которых вы должны знать и отлаживать.

Несмотря на то что у Ruby on Rails есть много преимуществ, у него есть несколько недостатков, которые необходимо учитывать, прежде чем принимать решение о том, подходит ли он. Одним из главных недостатков является сложность поиска документации и ее нехватка. Скорость выполнения часто называют главным аргументом против Ruby on Rails. При сравнении скоростей исполнения Ruby on Rails против Go – Ruby on Rails отстает. Тем не менее, когда

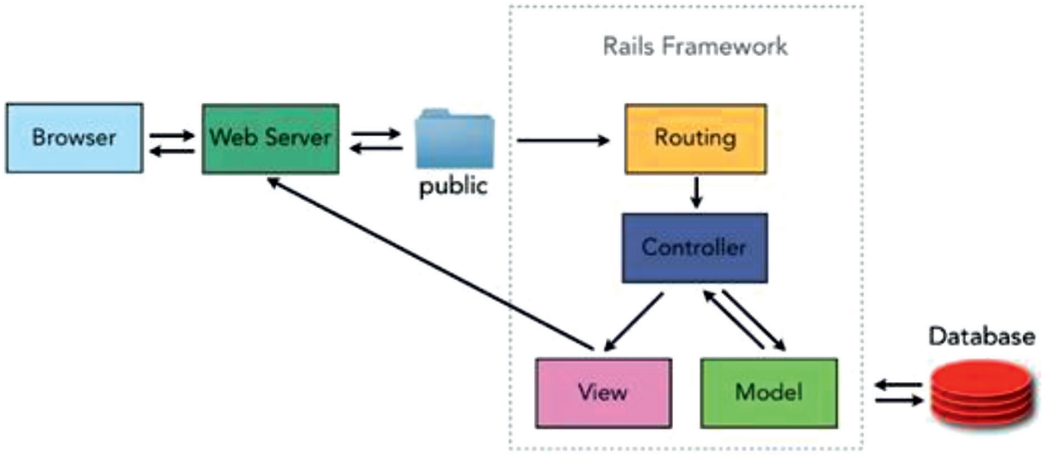


Рис. 4. Шаблон MVC в Ruby on Rails

Инфраструктура Rails предоставляет готовые корзины для разделения бизнес-логики приложения, поэтому компания-разработчик Ruby on Rails может сэкономить время за счет их использования. Разработчики Ruby on Rails могут использовать готовые части кода, что упрощает реализацию многих функций. В результате код приложения становится чистым и имеет высокую читаемость. Приложение, построенное на Ruby on Rails, может быть масштабировано для обработки тысяч запросов в секунду, отправленных несколькими пользователями. В инфраструктуру встроены ориентированные на безопасность функции, которые делают приложения защищенными от SQL-инъекций и XSS-атак. Код Ruby самодо-

мы рассматриваем Java-фреймворк Spring, Ruby on Rails побеждает в этой битве. И, наконец, не все хосты поддерживают Ruby on Rails. Фреймворк требует гораздо больше ресурсов, чем PHP, и не все хостинг-провайдеры могут обеспечить необходимые вычислительные мощности.

Заключение

Таким образом, веб-фреймворк – это воплощение определенных шаблонов, интегрированного набора технологий, облегчающих разработку и поддержку веб-приложений. Чтобы выбрать фреймворк, нужно его проанализировать, изучить возможности и составить список того, что важно в зависимости от поставленной задачи.

Необходимо иметь в виду, что список функций фреймворка – это лишь одна из его характеристик, и больше – не значит лучше.

При рассмотрении проекта с близким дедлайном правильным выбором для решения проблемы будет использование Django. Если вам нужно создать нетривиальный интерфейс, веб-приложение, которое будет работать очень быстро, вам следует выбрать Spring MVC. Нужно сделать выбор в пользу Laravel, если необходимо значительно упростить процесс создания веб-приложения. Если необходимо сконцентрироваться на методах и логике, создать компактное приложение, а не работать с большим объемом кода, то надо выбирать Ruby on Rails, но следует помнить, что язык программирования Ruby – не для новичков. Порог входа высок, поэтому нужно понимать принципы программирования и веб–разработки в целом.

Список литературы

1. Django documentation. [Electronic resource]. URL: https://docs.djangoproject.com/en/3.1/ (date of access: 03.12.2020).

2. Рябова К.М. Фреймворк Django: архитектура и возможности // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. статей. Пенза, 2018. С. 118–120.

3. Laravel documentation. [Electronic resource]. URL: https://laravel.com/docs/8.x (date of access: 03.12.2020).

4. Brotherton C. The Most Popular PHP Frameworks to Use in 2020. [Electronic resource]. URL: https://kinsta.com/blog/php-frameworks/ (дата обращения: 03.12.2020).

5. Stauffer M. Laravel: Up and Running: A Framework for Building Modern PHP Apps – O'Reilly Media, 2016. 464 p.

6. Spring. Learn. [Electronic resource]. URL:https://spring.io/learn (date of access: 03.12.2020).

7. Web MVC framework. [Electronic resource]. URL: https://docs.spring.io/spring-framework/docs/3.2.x/spring-framework-reference/html/mvc.html (date of access: 03.12.2020).

8. Krzywiec W. How to start with Spring MVC. [Electronic resource]. URL: https://wkrzywiec.medium.com/how-to-start-with-spring-mvc-309dec3c59fd (date of access: 03.12.2020).

9. Фултон Х., Арко А. Путь Ruby – ДМК Пресс, 2016. 666 с.