

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский национальный технический
университет
Факультет информационных технологий и
робототехники



**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ТЕХНИЧЕСКИХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ
НАУКАХ**

Материалы
Республиканской научно-практической
конференции

20 мая 2021 г

Минск
БНТУ
2021

Редакционная коллегия:

А.М. Авсиевич, Ю.В.Полозков, С.А.Павлюковец, А.Р.Околов,
И.А.Хорунжий, М.В.Щукин, В.А.Мартинович

Издание включает материалы Республиканской научно-практической конференции «Информационные технологии в технических и естественных науках», проведенной в рамках 74-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ, по направлениям: информационные технологии и автоматизация, теория и практика физико-математических исследований.

© Белорусский национальный
технический университет, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

EVALUATING PROFESSIONAL COMPETENCY OF PROGRAMMER TEAMS Prihozhy A.A.....	11
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ЯЧЕИСТЫХ СТРУКТУР ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛЕГКОВЕСНЫХ ДЕТАЛЕЙ Полозков Ю.В., Ярмошук Ю.М., Кункевич Д.П., Напрасников В.В.	16
IF-DECISION DIAGRAM BASED GENERATION OF PARALLEL ADDERS Prihozhy A.A.....	21
ДВУХКООРДИНАТНЫЕ ЛОКАТОРЫ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO Куприянов А.Б.	26
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА С РАБОЧИМ ОБОРУДОВАНИЕМ Гурский Н.Н.....	29
ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ОБ ОБРАБОТКЕ ЗАКАЗОВ НА ОСНОВАНИИ ПРЕДПОЧТЕНИЙ Конончик О.Н., Ковалева И.Л.	34
НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАКУПКАМИ КОМПЛЕКТУЮЩИХ Стародубцев Н.М., Ковалева И.Л.....	37
ПРИМЕНЕНИЕ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ CATS В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ Попова Ю.Б.....	41

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ПОСТАНОВКИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ОДНОГО ТИПА СПОРТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Напрасников В.В., Боровок О.А., Ермилов В.В.45

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВУХФАЗНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПОРИСТОМ 3D ОБЪЕКТЕ

Напрасников В.В., Соловьев А.Н., Скалиух А.СЗ., Полозков Ю.В. 49
КОРНЕВЫЕ ГОДОГРАФЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ РЯДА РЕАЛЬНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Несенчук А.А.52

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ БУМАЖНЫХ НОСИТЕЛЕЙ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РИЗОГРАФИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

Юденков В.С., Сулим П.Е.55

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

В.В. Сидорик, И.З. Джилавдари59

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Сидорик В.В.63

ГИПЕРКОНВЕРГЕНТНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА КОРПОРАТИВНОГО УРОВНЯ

Белова С.В., Колос К.А.68

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕГО УСКОРЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА

А.Ю.Бумай, А.А.Лобатый71

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ В МОДЕЛИРОВАНИИ ЛАНДШАФТОВ

Носкова Л.А.76

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СТУДЕНТОВ ИТ-СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ КАК ПРЕДИКТОРИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МОЛОДОГО СПЕЦИАЛИСТА

Марченко Л.Н., Подгорная В.В., Певнева А.Н.81

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ	
Якубович О.В., Марченко Л. Н.	84
ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ В ВУЗЕ: ЗА И ПРОТИВ	
Слука А.А., Каморникова Т.Я.	87
УПРАВЛЕНИЕ ПОИСКОМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЧЕРЕЗ ИКТ	
Атвиновский А.А., Парукевич И.В.	90
ОСОБЕННОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ WEB-ПРОГРАММИСТОВ	
Ружицкая Е.А.	93
МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ В УСЛОВИЯХ УДАЛЕННОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ	
Федосенко Е. А., Жукова А. А.	96
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДЕЛИ ИНЕРЦИОННОГО УЧАСТКА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ ПАРОВОГО КОТЛА ПО МОДЕЛЯМ ГЛАВНОГО И ОПЕРЕЖАЮЩЕГО УЧАСТКОВ	
Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Кравченко В.В., Ковалев В.А.	99
ЦИФРОВИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ НА КАФЕДРЕ «РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»	
Околов А.Р., Заярный В.П.	104
КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ АСКУЭ	
Гутич И.И., Матрунчик Ю.Н.	105
АКТИВНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ТОКОВ УТЕЧКИ НА ЗЕМЛЮ В КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ	
Дубинин С.В.	108
ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ ГОРОДСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО АУДИТА	
Синицын А.В., Лившиц Ю.Е.	110
ИНТЕГРАЦИЯ РАЗНОРОДНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ	
Новичихин Р.В., Журавлёва Е.Р.	113
УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ	
Опейко О.Ф.	114

ТЯГОВЫЕ ИНВЕРТОРЫ СОВРЕМЕННОГО
ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Миронович А.В.....	118
РАСЧЕТ И ВЫБОР ТОРМОЗНОГО РЕОСТАТА В РЕЖИМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ СДПМ ПРИ СКАЛЯРНОМ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ	
Александровский С.В., Фираго Б.И.	121
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ПОГРУЖНЫХ НАСОСАХ	
Нитиевский С.А.	125
ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ SMART MANUFACTURING	
Павлюковец С.А.	128
НАПРАВЛЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДУЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	
Горюнова В.А.	132
АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЛИНОЙ ХОДА СТОЛА ПРОДОЛЬНО-ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА	
Гульков Г.И.....	137
ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ	
Цыбульский П.С.....	140
ПОВЫШЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ	
Васильев С.В.	143
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ИНСОЛЯЦИИ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	
Вельченко А.А., Мирончук В.И.	146
РАСЧЕТ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА РОЛИКОВОЙ ЦЕНТРИФУГИ	
Ефимик А.В.	150
АВТОМАТИЗАЦИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КРИСТАЛЛОВ	
Герман А.Е., Лицкевич А.Ю.1, Шункеев К.Ш.	153

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ СКОРОСТНОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ КИНОФОТОСЪЕМКИ

Васильев С.В., Губаревич И.К., Иванов А.Ю. 156

Секция 2

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДИМЕРАМИ ИЗ ДВУХ ЦИЛИНДРОВ КОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ И ИХ ИНВЕРСНЫМИ СИСТЕМАМИ

Ковтун-Кужель В.А., Хацук Д.В., Самородов А.П. 161

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В НАНОАНСАМБЛЯХ НА ОСНОВЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК AIS/ZnS/GSH И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛ

Зенькевич Э.И., Куликова О.М., Шейнин В.Б., Селищев О.П., Джаган В.М., Степанов М.А., Строюк А.Л., Раевская А.Е., Койфман О.И., Цан Д.Р.Т. 164

ЗАВИСИМОСТЬ ОТ pH СПЕКТРАЛЬНО-КИНЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК AIS/ZnS/GSH В РАСТВОРАХ

Зенькевич Э.И., Мотевич И.Г., Качан С.М., Строюк А.Л., Раевская А.Е., Куликова О.М., Шейнин В.Б., Койфман О.И., Цан Д.Р., Стрекаль Н.Д. 167

ПРИМЕНЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАБОЧИХ СВОЙСТВ СМАЗОЧНОГО МАСЛА

Маркова Л.В. 170

СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПАДА ТВЕРДОГО РАСТВОРА ВОДОРОДА В ПАЛЛАДИИ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ИЗ РАЙОНА КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ СИСТЕМЫ ПАЛЛАДИЙ-ВОДОРОД	
Жиров Г.И.	173
ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛАСТИН МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ, ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ГЕЛИЕМ И ОБРАБОТАННЫХ В ПЛАЗМЕ ВОДОРОДА	
Францкевич Н.В., Францкевич А.В., Мартинович В.А.	176
МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ НАГРЕТОГО ТЕЛА И МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ	
Смурага Л.Н.	180
КОНЦЕПЦИЯ «УМНОГО ГОРОДА»	
Симонова-Лобанок М.П.	183
РАСЧЁТ НАПРЯЖЕНИЙ В АЛМАЗЕ, ИМПЛАНТИРОВАННОМ ИОНАМИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ	
Хорунжий И.А., Мартинович В.А., Русецкий М.С., Казючиц В.Н., Казючиц Н.М.	187
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВРЕМЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ СЧЕТЧИКА ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO	
Качан С.М., Мингалеев С.Ф.	191
АНАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕСКОНЕЧНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ ДРОБЕЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В КОНСТРУКТИВНОЙ ТЕОРИИ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ТЕОРИИ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ	
Роговцов Н.Н.	197
ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	
Лебедева Г.И.	200
ЗАДАЧА КОММИВОЯЖЁРА НА МАТРОИДЕ	
Исаченко А.Н.	203

ВЛИЯНИЕ ВИДОВ ВОЗМУЩАЮЩЕЙ СИЛЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	
Воронович Г.К., Мартыненко И.М., Коробко Е.В.....	206
О РЕЛЯТИВИСТСКОМ ЦЕНТРЕ МАСС ДВУХ ТЕЛ В НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ	
Рябушко А.П., Неманова И.Т.1, Жур Т.А.1, Юринок В.И. ...	207
«ПРОХОД СКВОЗЬ ОШИБКИ» КАК МЕТОДИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО И МОТИВАЦИЯ В ИЗУЧЕНИИ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ СТУДЕНТАМИ УНИВЕРСИТЕТА	
Михайлова Н.В.	210
ОБ ОПЫТЕ ПРИЁМА ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ЗАЧЁТА ПО МАТЕМАТИКЕ НА МСФ	
Раевская Л.А., Юринок В.И.	213
О МАТЕМАТИЧЕСКОМ ВСЕОБУЧЕ СОВЕТСКОГО ПЕРИОДА	
Метельский А.В., Чепелев Н.И.	214
ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ В СИСТЕМЕ EXCEL В КУРСЕ «ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА»	
Кузьмицкая Э.Е, Кураленко М.В., Королёва О.В., Раевская Л.А.	218
О МЕТОДИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ МАГИСТРАНТОВ, ИЗУЧАЮЩИХ ПРИКЛАДНЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ	
Лебедева Г.И., Зубко О.Л.	221
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТОВ MATHCAD И MATHMATICA В УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ РАБОТЕ СО СТУДЕНТАМИ АТФ И ЭФ	
Матвеева Л.Д., Рудый А.Н.	222
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА	
Чепелева Т. И.	225

СЛОЖНОСТИ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ	
Чепелева Т. И., Чепелев С. Н.	229
ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ СТУДЕНТАМ ЗАОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА	
Щукин М.В.	232

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

UDC 004.4-004.9

EVALUATING PROFESSIONAL COMPETENCY OF PROGRAMMER TEAMS

Prihozhy A.A.

Belarusian National Technical University

Minsk, Belarus

Let $C = \{c_1, \dots, c_m\}$ be a set of topics (Table) Joseph Sijin proposes in work [1] to estimate the competency of tentative participants of an IT project. Let $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ be a set of programmers who have filled in a questionnaire and have indicated his proficiency level on each of the competency topic. Work [1] describes requirements to the programmer competency level on each of the topics. It introduces a metric of four predefined values $L0$, $L1$, $L2$ and $L3$, which we replace with the numerical values 0, $1/3$, $2/3$ and 1. As a result, a variable $PgrmLevel(p, c)$ describes the proficiency level of programmer p on competency c . Additionally, we introduce a $weight(c)$ of each competency topic $c \in C$ and estimate the weighted competency level of programmer p as:

$$PgrmWLevel(p, c) = weight(c) \times PgrmLevel(p, c) \quad (1)$$

Note that such a proficiency estimation technology extends the model proposed in [2]. We consider a subset $t = \{p_1, \dots, p_k\}$, $t \subseteq P$ of programmers as a team. The number $|t|$ of programmers in team t is the team size. To recognize workable and unworkable teams, we evaluate with (2) the team t average competency $AvrTeamComp(t, c)$ regarding topic c .

$$AvrTeamComp(t, c) = \sum_{p \in t} PgrmLevel(p, c) / |t| \quad (2)$$

We also evaluate with (3) the best-representative team competency $BestTeamComp(t, c)$.

$$BestTeamComp(t, c) = \max_{p \in t} PgrmLevel(p, c) \quad (3)$$

Every IT project formulates requirements to the competency level of a programmer and of a team with respect to each topic of the competency table. We model the requirements with three constraints:

- $TACConstr(c)$ is a threshold value of the average competency level of a team programmer in topic c
- $TBCConstr(c)$ is a threshold value of the team best-representative competency in topic c
- $TIconstr$ is a threshold value of the integrated competency of a team.

Table. Topics of the programmer competency matrix

Computer Science	Software Engineering
data structures	source code version control
algorithms	build automation
systems programming	automated testing
Programming	
problem decomposition	
systems decomposition	Experience
communication	languages with professional experience
code organization within	platforms with professional

a file	experience
code organization across files	years of professional experience
source tree organization	domain knowledge
code readability	
defensive coding	Knowledge
error handling	tool knowledge
IDE	languages exposed to
API	codebase knowledge
frameworks	knowledge of upcoming technologies
requirements	platform internals
scripting	books
database	blogs

- $TBCConstr(c)$ is a threshold value of the team best-representative competency in topic c

- $TIConstr$ is a threshold value of the integrated competency of a team.

We associate these three constraints with three team competency weighted parameters, which take a value in interval $[0, 1]$:

1) weighted average competency over all team members and topics

$$TeamWAvrComp(t) = \sum_{c \in C} weight(c) \times AvrTeamComp(t, c) / MaxAllWComp$$

where $MaxAllWComp$ is the sum of weights over all competency topics.

- 2) weighted best-representative competency over all topics

$$TeamWBestComp(t) = \sum_{c \in C} weight(c) \times BestTeamComp(t, c) / MaxAllWComp$$

- 3) integrated competency of a team

$$TeamIntCompet(t) = \lambda \times TeamWAvrComp(t) + (1 - \lambda) \times TeamWBestComp(t)$$

where $0 \leq \lambda \leq 1$ describes the importance of average and best-representative team competency.

Each of the three parameters takes value 0, if inequalities as follows hold:

- 1) $\exists c (AvrTeamComp(t, c) < TACConstr(c))$
- 2) $\exists c (BestTeamComp(t, c) < TBCConstr(c))$
- 3) $TeamIntComp(t) < TIConstr$.

Zero value means that team t is unworkable in the project; nonzero value means that the team is workable.

Let us assume that we have a partition of the set P of programmers into a set $T = \{t_1, \dots, t_s\}$ of teams, and the team set cardinality is $|T|$. For each team $t \in T$ we have evaluated the competency $TeamIntComp(t)$. We consider three ways to evaluate how perfect is the partitioning T , i.e. on the number of workable teams, all teams' competency, and average competency of a workable team in the partitioning. We maximize the value of three functions:

- 1) the all teams competency

$$OverallComp(T) = \sum_{t \in T} TeamComp(t) \tag{7}$$

- 2) the average competency of a team

$$AverageComp(T) = OverallComp(T) / WorkableTN(T) \quad (8)$$

3) the number $|T|$ of workable teams.

The maximization of each of the functions is a hard combinatorial problem, for which no algorithm of polynomial computational complexity known. That is why we have developed a genetic algorithm, which is a good heuristic for finding an acceptable suboptimal solution [3-5]. In this paper, we report results obtained for a set P of 33 programmers, for all of 32 competency topics, and for given constraints on an IT project. The genetic algorithm has generated various partitioning T of set P for various value of the constraints. The value of $|T|$ and $OverallComp(T)$ depend on $TIConstr$. The value of $OverallComp(T)$ decreases from 6.06 to 0.83, and the value of $|T|$ decreases from 9 to 1 with increasing the value of $TIConstr$ from 0.3 to 0.82. The value of $|T|$ is larger than $OverallComp(T)$ in all cases because the team competency is less than 1 for each team.

References

1. Sijin, J. Perspectives on Software, Technology and Business: Programmer Competency Matrix / J. Sijin // [Electronic resource]. – Mode of access: <https://sijinjoseph.com/programmer-competency-matrix/>. – Date of access: 23.02.2021.
2. Prihozhy A.A., Zhdanouski A.M. Method of qualification estimation and optimization of professional teams of programmers. «*System analysis and applied information science*». 2018;(2):4-11. (In Russ.) <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2018-2-4-11>
3. Prihozhy, A. Genetic algorithm of optimizing the size, staff and number of professional teams of programmers / A. Prihozhy, A. Zhdanouski // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2019) : материалы международной научно-технической конференции, Минск, 21 - 23 февраля 2019 г. / Белорусский государственный университет

информатики и радиоэлектроники; редкол.: В. В. Голенков (гл. ред.) [и др.]. - Минск, 2019. - С. 305 - 310.

4. Prihozhy A.A., Zhdanouski A.M. Genetic algorithm of optimizing the qualification of programmer teams. «*System analysis and applied information science*». 2020;(4):31-38. <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2020-4-31-38>

5. Прихожий, А. А. Оптимизация состава профессиональных групп программистов для работы над большими проектами / А. А. Прихожий, А. М. Ждановский // BIG DATA Advanced Analytics: collection of materials of the fourth international scientific and practical conference, Minsk, Belarus, May 3 – 4, 2018 / editorial board: M. Batura [etc.]. – Minsk, BSUIR, 2018. – P. 405 – 408.

УДК 004.415:378

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ЯЧЕЙСТЫХ СТРУКТУР ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛЕГКОВЕСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Полозков Ю.В., Ярмошук Ю.М., Кункевич Д.П.,
Напрасников В.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Рассматривается проблема определения наименее нагруженных и деформирующихся областей для размещения ячеистых структур при проектировании легковесных деталей. Описываются особенности реализованного алгоритма поиска таких областей на основе триангуляции Делоне. Представлены результаты работы алгоритма.

При создании легковесных деталей ключевым условием возможности размещения ячеистых структур, является то, что показатели напряженно-деформированного состояния проектируемой детали должны оставаться в пределах, обеспечивающих ее работоспособность. Поэтому эти показатели,

рассчитанные в областях для размещения ячеистых структур, должны принимать значения в рамках определенного диапазона, который зависит от максимального задаваемого значения.

Задача определения области для размещения ячеистых структур связана с результатами построения сетки конечных элементов (рисунок 1), которая рассчитывается в среде Solid Woks в процессе инженерного анализа, выполняемого посредством компоненты SolidWoks Simulation.

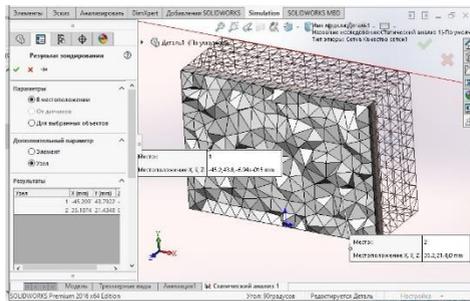


Рис. 1. Сетка конечных элементов

Автоматизировать реализацию указанной задачи позволяют функции API Solid Woks, с помощью которых были реализованы алгоритмы задания параметров инженерного анализа, его автоматического выполнения и извлечения полученных результатов [1, 2]. При этом основным результатом выступает массив узлов конечных элементов и действующих в них показателей напряженно-деформированного состояния. Сложность заключается в том, что даже при неизменных параметрах задания сетки конечных элементов в процессе перепроектирования монолитной детали в деталь с ячеистыми структурами количество, расположение и индексация узлов изменяется. Кроме того, узлы индексируются не в соответствии с последовательным обходом каждого конечного элемента (рисунок 2). Таким образом, один из наиболее важных этапов решения задачи определения области для размещения ячеистых структур состоит в поиске узлов, минимально удаленных друг от друга (ближайших соседей) в 3D пространстве. Причем, показатели напряженно-деформированного состояния

узлов, которые могут быть приняты в качестве ближайших соседей, должны удовлетворять заданному диапазону значений.

Решение задачи поиска ближайших соседей узлов предлагается на основе триангуляции Делоне [3]. Основная идея используемого в данном случае алгоритма триангуляции Делоне заключается в построении на базовом отрезке (первом ребре будущего треугольника, соединяющем две точки исходного множества точек) окружности и проверке всех точек, лежащих внутри этой окружности, на принятие их в качестве третьей вершины, соединяющей два других ребра искомого треугольника. Центр окружности находится на серединном перпендикуляре к базовому отрезку, а ее диаметр может увеличиваться в процессе поиска требуемой вершины. Условием принятия точки в качестве третьей вершины является максимальный угол, образуемый двумя ребрами, соединяющими эту точку с вершинами базового отрезка [3, стр. 56]. Далее полученные ребра становятся базовыми для построения следующих треугольников. Для пар соседних треугольников, полученных в результате триангуляции, но не удовлетворяющих условию Делоне, выполняется операция перестроения, называемая флипом [3, стр. 10, 11].

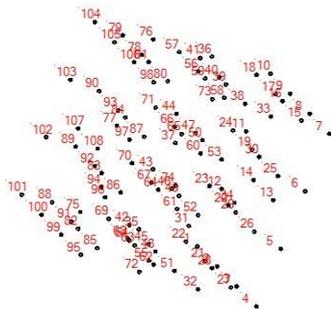
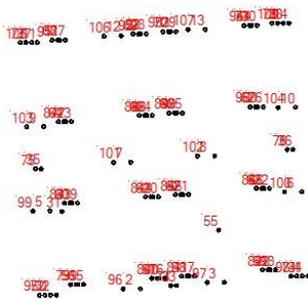


Рис. 2. Пример расположения и индексации узлов конечно-элементной сетки

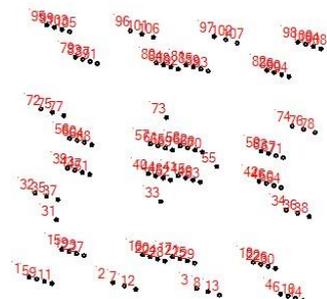
Применение представленного алгоритма обусловлено фактом распределения множества узлов, задающих конечно-элементную

сетку, по уровням параллельным каждой из плоскостей пространственной системы координат при выбранном способе нанесения сетки (рисунок 4).

Программная реализация используемого алгоритма триангуляции Делоне была дополнена, во-первых, процедурой перехода между уровнями точек конечно-элементной сетки. Это обеспечило поиск ближайших узлов в трёхмерном пространстве. Во-вторых, была встроена процедура проверки показателей напряженно-деформированного состояния, действующих в анализируемых узлах, условию соответствия заданному диапазону значений. В результате работы модифицированного таким образом алгоритма триангуляции Делоне была обеспечена возможность определения совокупностей соседних узлов, удовлетворяющих заданным условиям показателей напряженно-деформированного состояния детали (рисунок 5).

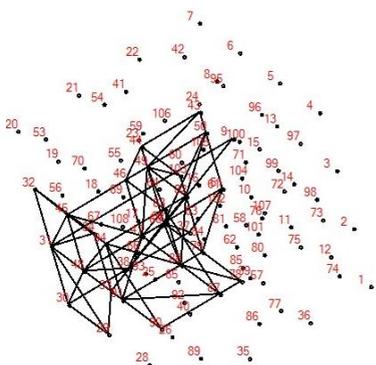


а. Уровни, параллельные плоскости YZ

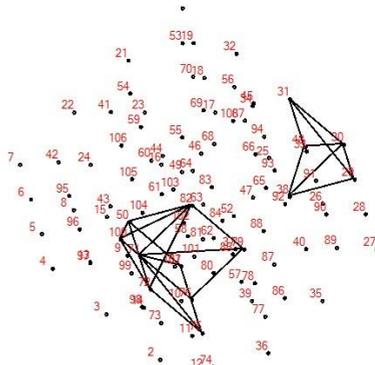


б. Уровни, параллельные плоскости XY

Рис.4. Пример расположения и индексации узлов конечно-элементной сетки



а. Пример определения одной области



б. Пример определения двух областей

Рис. 5. Примеры определения областей для размещения ячеистых структур в зависимости от значений допустимого диапазона показателей напряженно-деформированного состояния

Совокупности узлов, определяемые с помощью разработанного алгоритма, задают области для потенциального размещения ячеистых структур. Дальнейшие исследования предполагают решение задач расчета и оптимизации размеров, геометрической конфигурации и пространственной ориентации ячеистых структур в этих областях.

Литература

1. Полозков, Ю.В. Автоматизация оценки влияния конфигурации ячеистых структур на физико-технические свойства детали / Ю.В. Полозков, Е.Н. Юхо, С.А. Рагуля, А.Ю. Калита // Информационные технологии и системы: проблемы, методы, решения (ИТС-2018): Сб. материалов Респ.. науч.– техн. конф., Минск, 22 - 23 ноября 2018 г. / Четыре четверти ; редкол.: С.В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2019. – С. 124 – 129.
2. Разработка метода автоматизации поиска области размещения ячеистых структур при проектировании нагруженных

легковесных деталей; Отчет о НИР (заключ.) / Рук. темы Ю.В. Полозков. – Минск, 2020 – 88 с. – № ГР. 20200618.

3. Скворцов, А.В. Триангуляция Делоне и её применение / А.В. Скворцов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с.

UDC 004.4-004.9

IF-DECISION DIAGRAM BASED GENERATION OF PARALLEL ADDERS

Prihozhy A.A.

Belarusian National Technical University

Minsk, Belarus

Works [1-4] proposed a new class of decision diagrams, i.e. IFDs that are based on a theory of incompletely specified Boolean functions.

A one-bit full-adder (Figure 1, left) adds three one-bit numbers a , b and c_{in} , and produces two one-bit numbers s and c_{out} . Figure 1, right shows a two-root if-decision diagram (IFD) that models the adder. The incoming edges of roots are labeled with s and c_1 . The diagram consists of three nonterminal nodes and seven terminal nodes. The nonterminal node is not labeled and has three outgoing edges. The terminal node has no outgoing edges and is labeled by a variable a , b and c_0 , or a variable negation (\neg).

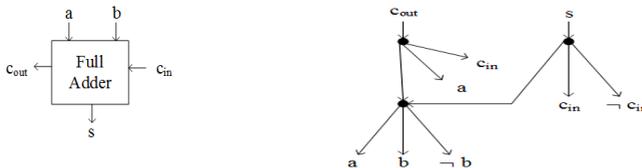


Fig.1. One-bit full-adder and its IFD-based modelling

The one-bit full-adder allows the construction of an N -bit ripple carry adder (RCA). Figure 2 depicts a 8-root IFD that realizes the 7-bit adder. The diagram consists of two-type nonterminal nodes: *xor* and *if-then*

else. While the advantage of the adder IFD is a regular structure and a low cost of 21 nonterminal nodes, its drawback is a large-time delay that is determined by the IFD critical path of 8 nonterminal nodes.

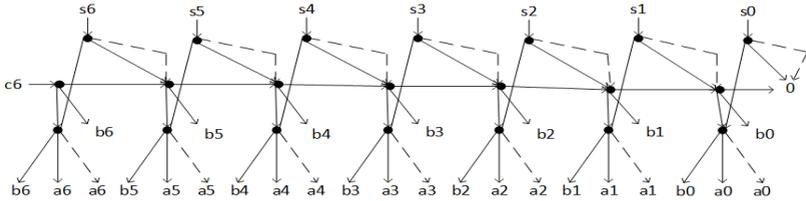


Fig. 2. IFD of 7-bit ripple carry adder

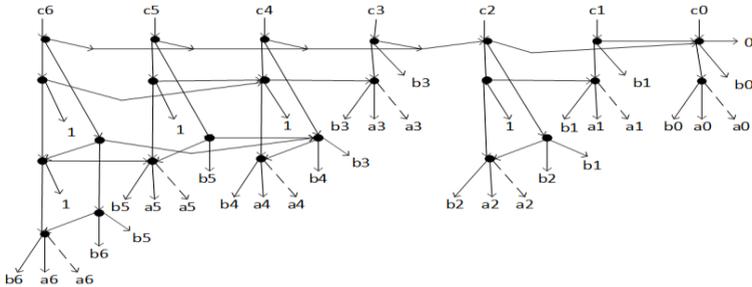


Fig. 3. IFD of carry part of 7-bit parallel adder

The goal of the paper is to create a procedure of systematical generation of IFDs of faster parallel many-bit adders [5] from the RCA IFD. Work [6] develops a method of cutting long paths in a many-root IFD to obtain a new IFD with shorter critical paths. The depth of the new IFD is lower, but its sizes slightly grows. Figure 3 depicts an IFD of the carry part of a 7-bit parallel adder. The diagram size is 24 nodes against 14 nodes in RCA, and the diagram depth is 4 nodes against 8 nodes in RCA.

Figure 4 depicts a five-block-structure of the IFD of the 31-bit carry part of the parallel adder. Blocks 0, 1, 2, 3 and 4 have the bit-size of 1, 2, 4, 8 and 16 respectively. Figure 4 also reports in parentheses the

block-depth of 2, 3, 4, 5 and 6, and the node count of 2, 4, 6, 8 and 10 for the left bit of each block.

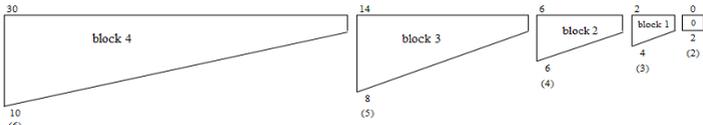


Fig. 4. Five-block carry part of 31-bit parallel adder

Based on the experience of systematically transforming IFDs of various-bit ripple carry adders to IFDs of parallel adders, we have found out that it is possible to develop an efficient algorithm of automatically generating a parallel n -bit-adder IFD at any finite n . The algorithm is based on a recursive procedure, which is capable of generating the IFD of block i from the IFD of block $i-1$. Figure 5 shows how we construct the IFD of block 4 from the IFD of block 3 in a 31-bit adder.

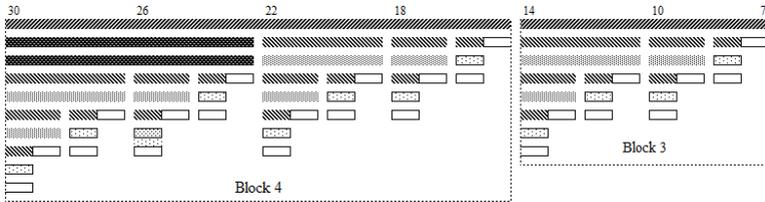


Fig.5. Construction of block 4 IFD over block 3 IFD in 31-bit adder

A horizontal line represents a set of nodes, which refer over the third outgoing edge to the node located right to the line. For instance, the top line of block 4 represents nodes from bit 15 to bit 30, and all these nodes refer over the third outgoing edge to a node of bit 14. Observing Figure 5, we can see that block 4 consists of two copies of block 3, one located in bits 15 – 22, and other located in bits 23 – 30. Two additional node lines (in dark) are inserted between lines 1 and 2 in the second copy of block 3. In both block copies, the variable indices are re-enumerated as well as the referred node indices.

In Figure 5, filled in dark horizontal rectangles represent sets of nodes that have horizontal and vertical references to other nodes. The lightly filled cells have only vertical references, and the cells without fill have no any references.

The described algorithm of recursively constructing blocks that is applied many times to IFDs is capable of generating a parallel adder of any bit-width. We can estimate the IFD-size of the n -bit parallel adder as

$$S^{pr}(n) = n + (n + 1) \times \log_2(n + 1) \quad (1)$$

We can estimate the IFD-depth of the n -bit parallel adder as

$$D^{pr}(n) = 1 + \log_2(n + 1) \quad (2)$$

Figure 6 shows how the average and maximal number of IFD nodes in the parallel adder carry part grows depending on the adder bit-width. At the bit-width of 1023, the depth of parallel adder almost 100 times lower the depth of RCA, and its size is higher only 5 times.

The parallel adder generation algorithm is capable of creating IFD structures that can be mapped to reversible digital circuits for further quantum implementation [7].

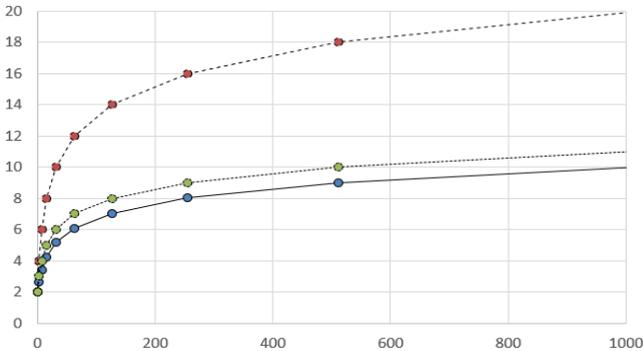


Fig. 6. Average (solid) and maximal (dash) size per bit and depth (square dot) of carry part IFD vs. adder width

References

1. Прихожий, А.А. Обобщение разложения Шеннона для частично определенных функций: теория и применение / А.А. Прихожий / Системный анализ и прикладная информатика. – 2013, № 1-2. – С. 6-11.
2. Прихожий, А.А. Частично определенные логические системы и алгоритмы / А.А. Прихожий / Минск, БНТУ. – 2013. – 343 с.
3. Prihozhy, A.A. If-Decision Diagram Based Modeling and Synthesis of Incompletely Specified Digital Systems / A.A. Prihozhy, B. Becker // Electronics and communications, Electronics Design. – Kyiv. – 2005, pp. 103 – 108.
4. Prihozhy, A.A. If-Decision Diagram Based Synthesis of Digital Circuits / A.A. Prihozhy // Proc. Int. Conf. “Information Technologies for Education, Science and Business”. – Minsk, Belarus. – 1999. – P. 65-69.
5. Brent, R.P., Kung, H.Te. "A Regular Layout for Parallel Adders". IEEE Transactions on Computers. 1982, C-31, (3): 260–264.
6. Prihozhy A.A. Synthesis of parallel adders from if-decision diagrams. «System analysis and applied information science». 2020;(2):61-70. <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2020-2-61-70>
7. Prihozhy A.A. Realization of if-decision diagrams by reversible circuits / VIII Международная научно-техническая интернет-конференция «Информационные технологии в образовании, науке и производстве». – Минск: БНТУ, 2020. – С. 169-173.

УДК 004.383

ДВУХКООРДИНАТНЫЕ ЛОКАТОРЫ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO

Куприянов А.Б.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Простые и дешевые локаторы могут быть использованы для реального определения положения рабочего инструмента промышленного робота, что позволит решать следующие задачи.

- Повышение точности позиционирования за счет использования системы автоматического управления положением рабочего инструмента.
- Обеспечение безопасности персонала и оборудования за счет отключения робота при аварийном попадании инструмента в запрещенную зону.

В качестве такого локатора может быть использован сканирующий ультразвуковой или лазерный измеритель дальности на базе микроконтроллера Arduino Uno.

Ультразвуковой измеритель координат (УЗИК) был создан на основе ультразвукового датчика расстояния HC-SR04, представленного на рисунке 1.

Основные характеристики датчика

- Напряжение питания 5В;
- Рабочая сила тока – 15 мА;
- Длительность зондирующего сигнала – 25 мкс.
- Диапазон измеряемых расстояний: 2–400 см

Лазерный измеритель координат (ЛИК) был создан на основе лазерного датчика расстояния VL53L0X.

Основные характеристики датчика

- Чип: VL53L0X
- Длина волны излучателя: 940 нм
- Рабочее напряжение: 3...5 В
- Интерфейс: I2C (программируемый адрес)
- Рабочая дальность: до 2 м

Для перемещения по угловой координате ультразвуковой и лазерный датчики были закреплены на выходном валу сервопривода HD-1900A, который обеспечивал сканирование в угловом секторе 60 градусов.

Для оценки возможностей обоих измерителей координат были разработаны программы для микроконтроллера Arduino Uno (скетчб), предполагающие угловое перемещение измерителя дальности в диапазоне от 60 до 120 градусов и обратно с шагом 1 градус. На каждом шагу углового перемещения измерялась дальность до отражателя, которая передавалась на основной компьютер.

Для отображения информации, получаемой датчиком дальности была разработана программа для персонального компьютера, позволяющая выбрать порт, по которому происходит обмен информацией между основным компьютером и микроконтроллером, запустить сканирование по угловой координате и отображать поступающую от микроконтроллера информацию на индикаторе Дальность-Угол на экране основного компьютера с возможностью установки максимальной дальности на индикаторе 1 или 2 или 5 метров.

Проведены исследования созданных измерителей координат по обнаружению и возможности определения координат отражателя для различных значений задержки после перемещения на 1 градус. Отражатель устанавливался на дальности 50 см для ультразвукового датчика и на дальности 60 см для лазерного датчика.

Результат отображения информации, поступающей от микроконтроллера при использовании ультразвукового датчика дальности показан на рисунке 3а, а при использовании лазерного датчика на рисунке 3б.

Выводы.

1. Разработанные лазерный и ультразвуковой измерители координат позволяют определять дальность и угловую координату отражателя при скорости перемещения равной 30 градусов в секунду.

2. Имеется разброс измеренных значений дальности до отражателя, поэтому для точного определения дальности и угловой координаты необходима дополнительная обработка получаемых данных.

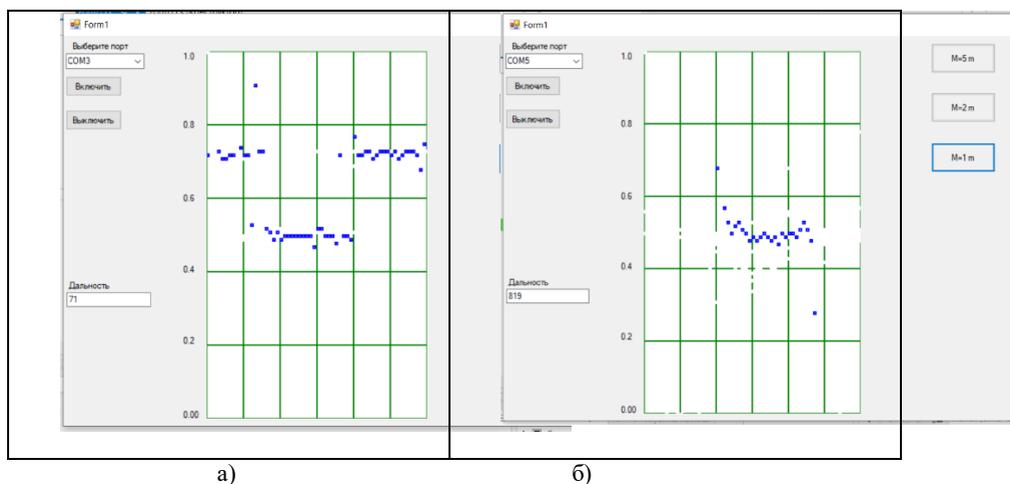


Рис. 1. Отображение результата обзора: а - ультразвуковым датчиком; б - лазерным датчиком дальности.

3. Необходимы дальнейшие исследования точности определения координат в зависимости от размеров и материала отражателя.

Литература

1. Петин В. А. Проекты с использованием контроллера Arduino. — СПб.: БХВ-Петербург, 2014. — 400 с.: ил. — (Электроника).
2. Делаем сенсоры : проекты сенсорных устройств на базе Arduino и Raspberry Pi : [перевод с английского] / Тери Карвинен, Киммо Карвинен, Вилле Валтокари. — Москва : Вильямс, 2016. — 429 с.

3. Петин, В.А. Arduino и Raspberry Pi в проектах Internet of Things / Виктор Петин. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2016 – 319 с.

4. Иго, Том. Arduino, датчики и сети для связи устройств : перевод с английского] / Том Иго. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2015. –543 с.

УДК 629.11.032.1.012.814:004

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА
С РАБОЧИМ ОБОРУДОВАНИЕМ**

Гурский Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Для решения задачи вибронагруженности обоснованной является дискретная модель в виде сосредоточенных масс, объединенных упругими и диссипативными безинерционными связями с необходимым числом степеней свободы, учитывающих линейные вертикальные и угловые продольные и поперечные колебания подрессоренной массы и вертикальные линейные неподдресоренных масс, а также аналогичные фазовые координаты объектов вторичного подрессоривания, в частности, кабины и сиденья водителя, рабочего оборудования.

Расчетная схема пространственных колебаний колесного трактора с учетом принятых степеней свободы показана на рис.1.

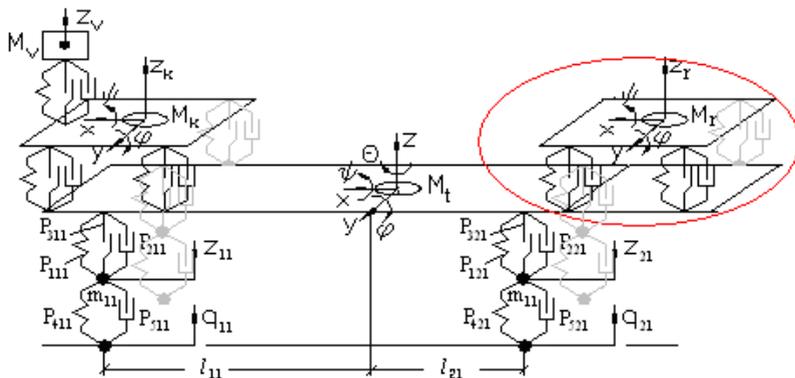


Рис. 1. Расчетная схема пространственных колебаний колесного трактора с рабочим оборудованием

Математическая модель, соответствующая данной расчетной схеме, описывается системой дифференциальных уравнений (ДУ) второго порядка в виде:

$$\left. \begin{aligned}
M_t \ddot{z} + \sum_{l=1}^2 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 P_{jil} &= 0, \\
J_y \ddot{\phi} + \sum_{l=1}^2 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 l_{il} P_{jil} &= 0, \\
J_x \ddot{\psi} + \sum_{l=1}^2 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 b_{il} P_{jil} &= 0, \\
m_{il} \ddot{z}_{il} - (P_{1il} + P_{2il} + P_{3il}) + P_{4il} + P_{5il} &= 0, \\
M_k \ddot{z}^k + \sum_{l=1}^2 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 P_{jil}^k &= 0, \\
J_y^k \ddot{\phi}^k + \sum_{l=1}^2 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 l_{ij}^k P_{jil}^k &= 0, \\
J_x^k \ddot{\psi}^k + \sum_{l=1}^2 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 b_{ij}^k P_{jil}^k &= 0, \\
M_v \ddot{z}^v + \sum_{j=1}^3 P_j^v &= 0.
\end{aligned} \right\}$$

$$l=1, 2; i=1, 2; j=1, 2, 3$$

с начальными условиями при $t \geq t_0$:

$$\begin{aligned}
z \Big|_{t=t_0} = z_0, \quad \dot{z} \Big|_{t=t_0} = \dot{z}_0, \quad \varphi \Big|_{t=t_0} = \varphi_0, \quad \dot{\varphi} \Big|_{t=t_0} = \dot{\varphi}_0, \\
\psi \Big|_{t=t_0} = \psi_0, \quad \dot{\psi} \Big|_{t=t_0} = \dot{\psi}_0,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
z^k \Big|_{t=t_0} = z_0^k, \quad \dot{z}^k \Big|_{t=t_0} = \dot{z}_0^k, \quad \varphi^k \Big|_{t=t_0} = \varphi_0^k, \quad \dot{\varphi}^k \Big|_{t=t_0} = \dot{\varphi}_0^k, \\
\psi^k \Big|_{t=t_0} = \psi_0^k, \quad \dot{\psi}^k \Big|_{t=t_0} = \dot{\psi}_0^k,
\end{aligned}$$

$$z^v \Big|_{t=t_0} = z_0^v, \quad \dot{z} \Big|_{t=t_0} = \dot{z}_0^v,$$

$$z_{il} \Big|_{t=t_0} = z_{0il}, \quad \dot{z}_{il} \Big|_{t=t_0} = \dot{z}_{0il}; \quad i = 1, 2; l = 1, 2.$$

Здесь: M_t – подрессоренная масса шасси, J_y – момент инерции подрессоренной массы шасси относительно оси тангажа, J_x – момент инерции подрессоренной массы шасси относительно оси крена, l – индекс борта; i – индекс номера опоры; j – индекс типа упруго-диссипативного элемента ($j=1$ – упругий элемент, $j=2$ – амортизатор, $j=3$ – условный элемент сухого трения); P_{jil} – нелинейная характеристика восстанавливающей силы элемента il – подвески; l_{il} – расстояние по горизонтали от центра масс до il – й оси (моста); b_{il} – расстояние в поперечной плоскости от центра il – го колеса до вертикальной плоскости, проходящей через ось крена, P_{4il}, P_{5il} – соответственно диссипативная и упругая силы в il – й шине в нормальном направлении, M_k – подрессоренная масса кабины, J_y^k – момент инерции подрессоренной массы кабины относительно оси тангажа, J_x^k – момент инерции подрессоренной массы кабины относительно оси крена, l_{ij}^k – расстояние по горизонтали от центра масс кабины il – й опоры; b_{ij}^k – расстояние в поперечной плоскости между опорами кабины, M_v – масса сиденья водителя.

В систему уравнений нужно добавить также уравнения для рабочего оборудования. Аналогично, как для кабины.

Относительные перемещения и скорости, являющиеся аргументами для вычисления упруго-диссипативных сил в элементах il – подвески P_{jil} ($j=1, 2, 3$), имеют вид:

$$\Delta_{il} = z + l_{ij}\varphi + b_{il}\psi - z_{il}, \quad \dot{\Delta}_{il} = \dot{z} + l_{ij}\dot{\varphi} + b_{il}\dot{\psi} - \dot{z}_{il},$$

а соответствующие аргументы для сил P_{jil} ($j=4,5$) il -го колеса:

$$\delta_{il} = z_{il} - q_{il}, \quad \dot{\delta}_{il} = \dot{z}_{il} - \dot{q}_{il}.$$

На рис. 2 приведена компьютерная модель колесного трактора с рабочим оборудованием.

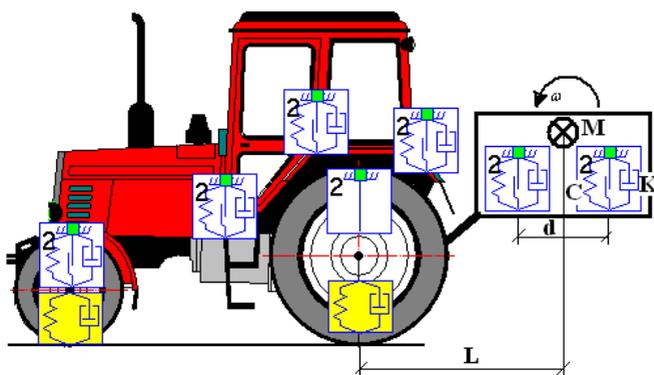


Рис. 2. Компьютерная модель колесного трактора с рабочим оборудованием

На рис. 3 представлен полученный спектр вертикальных колебаний шасси в ЦМ. Второй пик соответствует частоте вращения рабочего оборудования $f=1.59$ Гц.

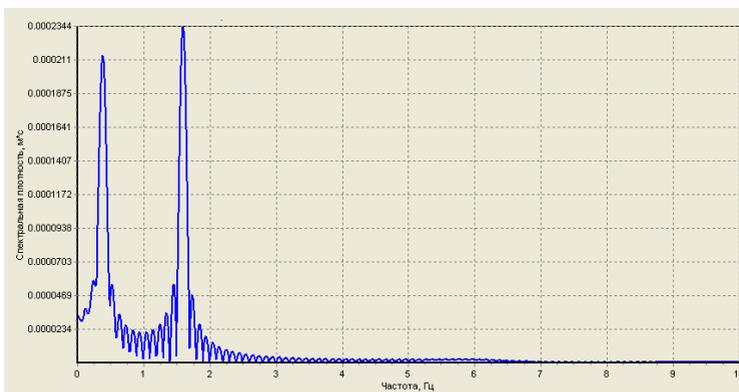


Рис. 3. Спектр вертикальных перемещений в центре масс шасси

УДК 004

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ОБ ОБРАБОТКЕ ЗАКАЗОВ НА ОСНОВАНИИ ПРЕДПОЧТЕНИЙ

Конончик О.Н., Ковалева И.Л.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Обработка заказов может превратиться в проблему, если на предприятии существуют ограничения в доступных ресурсах и рабочей силе, используемых для их выполнения. Как правило, в большинстве случаев менеджер по спросу старается принять в работу все входящие заказы, так как это потенциально способствует увеличению прибыли компании и общего объема производства. Однако, когда спрос на услуги превышает мощность производства, решение менеджера о приёме всех входящих заказов может привести к значительной загруженности производственного центра. В результате сроки исполнения заказов могут существенно затянуться, что вызовет недовольство клиентов.

Очевидным решением описываемых проблем является прием заказов на основе заранее сформированных предпочтений. Решение о принятии заказа в этом случае служит в качестве внешнего

интерфейса для фильтрации входящих заказов. Это позволит из большого числа выделить только выгодные для исполнения заказы.

Для оценки предпочтений предлагается использовать метод парных сравнений. Согласно этому методу осуществляются парные сравнения всех заказов во всех возможных сочетаниях. В каждой паре выделяется наиболее предпочтительный заказ. И это предпочтение выражается с помощью оценки по какой-либо шкале.

Обработка матрицы оценок позволяет найти веса всех заказов, характеризующие их относительную важность.

Для автоматизации процесса заполнения матрицы оценок предлагается использовать нейронную сеть с прямыми связями (рисунок 1). Количество нейронов входного слоя нейронной сети равно количеству критериев, на основании которых определяется предпочтение.

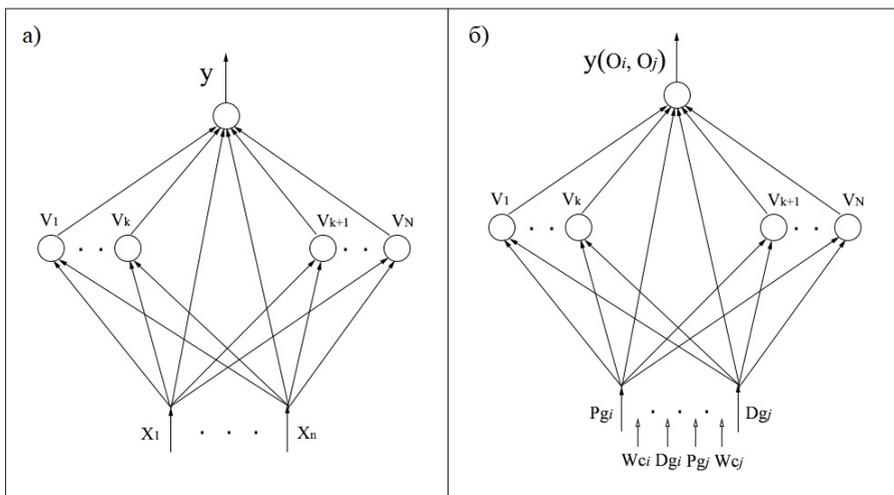


Рис. 1. Нейронная сеть с прямой связью: а) общая архитектура нейронной сети, б) архитектура нейронной сети как модели предпочтений

Каждый входящий заказ предлагается описывать тремя основными критериями: прибыль от заказа (P), рейтинг клиента (R) и срок исполнения заказа (D). Прибыль от заказа является обобщенным критерием, характеризующим размер, стоимость и ряд других параметров заказа. В свою очередь рейтинг клиента обобщает некоторые параметры, такие как: количество успешных/неудачных заказов, размер сделанных заказов и их стоимость и т.д.

Пусть $O_i = (P_i, R_i, D_i)$ обозначает i -й заказ, где $i \in [1, N]$, а операторы \succ , \prec и \sim обозначают предпочтительнее, менее предпочтительнее и равнозначны, соответственно. Здесь отношение бинарного предпочтения – это набор упорядоченных пар над декартовым произведением пространств критериев, таких что $O_i \succ O_j$, если менеджер по спросу предпочитает O_i из пары O_i и O_j , основываясь на информации об этих заказах.

Предлагаемая нейронная сеть с прямой связью в качестве представления предпочтений состоит из одного выходного нейрона, нескольких скрытых нейронов и имеет шесть входных нейронов. Входы в нейронную сеть связаны с выходным нейроном, а также со всеми скрытыми нейронами. Эти прямые подключения от входов к выходному нейрону благоприятны как для обучения, так и для обобщения.

Входным аргументом модели предпочтений является 6-ти мерный вектор, сформированный из пары рассматриваемых заказов, т.е. $X(O_i, O_j) = (P_i, R_i, D_i, P_j, R_j, D_j)$. Значения критериев P , R и D перед отправкой на вход нейронной сети нормализуются до безразмерных величин. Выходом нейронной сети является значение (y) в диапазоне от 0 до 1, обозначающее предпочтение O_i над O_j следующим образом: предпочтительнее ($y=1$), менее предпочтительнее ($y=0$) и равнозначны ($y=0.5$).

Перед обучением нейронной сети менеджер должен четко сформулировать свои предпочтения по парным сравнениям заказов. Для более мощного обучения можно использовать данные о предпочтениях не одного, а нескольких менеджеров. Для обучения нейронной сети используется алгоритм адаптивного обучения. На

этапе тестирования тесты выполняются на основе данных в наборе тестирования. Результатом тестирования является обученная нейронную сеть, содержащая в себе всю информацию о предпочтениях менеджера. Теперь, имея знания о предпочтениях, можно попарно сравнивать заказы без участия менеджера по спросу.

Разработанный алгоритм, включающий модель предпочтений на основе нейронной сети с прямой связью, обученной с использованием данных о предпочтениях, позволяет в автоматическом режиме принимать решения об обработке заказов без участия менеджеров на производственных системах, где спрос превышает мощность. Это помогает компании минимизировать затраты на производство, и, следовательно, максимизировать свою общую прибыль.

Литература

1. Конончик О.Н., Ковалева И.Л. Оптимизация процесса исполнения заказов // Математические методы в технике и технологиях: сб. науч. тр. – СПб, 2019. – Т. 12, Ч. 2, С. 92-95.

УДК 004

НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАКУПКАМИ КОМПЛЕКТУЮЩИХ

Стародубцев Н.М., Ковалева И.Л.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Управление закупками комплектующих является одной из важнейших функций управления предприятием по ремонту компьютерной и мобильной техники. Правильная организация процесса управления закупками вносит существенный вклад в сохранение конкурентоспособности предприятия.

В настоящее время существует множество программных продуктов, которые успешно применяются для решения различных логистических задач. Однако условия неопределенности, связанные с непредсказуемостью использования конкретного вида комплектующих, усложняют применение большинства из них на предприятиях по ремонту компьютерной и мобильной техники. Поэтому менеджерам и собственникам предприятий необходим инструмент, позволяющий в условиях неопределенности принимать экономически грамотные решения. На помощь здесь может прийти аппарат нечеткого моделирования, с помощью которого можно построить модель с нечеткими входными данными.

Процесс управления закупками комплектующих носит многоаспектный и сложный характер, поэтому требует привлечения современных инструментальных средств, позволяющих значительно сократить время расчетов и принятия решения. Одним из таких инструментов является система MATLAB, включающая в себя пакет нечеткой логики (Fuzzy Logic Toolbox). Данный пакет осуществляет обмен информацией между пользователем и экспертной системой через достаточно простой графический интерфейс, что обеспечивает возможность ее использования пользователями без специальной подготовки в области нечетких множеств и компьютерных наук.

При построении нечеткой экспертной системы управления процессом закупок комплектующих на первом этапе был сформирован набор входных параметров. Основой для выбора лингвистических переменных послужил принцип и особенности организации работы предприятия по ремонту компьютерной и мобильной техники.

В качестве входных параметров системы нечеткого вывода предлагается использовать 4 нечеткие лингвистические переменные: «установлено сегодня», «установлено вчера», «установлено год назад» и «остаток на складе», а в качестве выходных параметров – нечеткую лингвистическую переменную «размер заказа». Сформированный набор лингвистических переменных позволяет учитывать уровни расхода комплектующих в течение некоторого промежутка времени.

Набор лингвистических переменных представлен в таблице 1.

Таблица 1 Набор лингвистических переменных

Переменная	Назначение	Описание
Установлено сегодня (Уст_Сегодня)	Входной параметр	Определяет количество комплектующих, установленных за текущий день
Установлено вчера (Уст_Вчера)	Входной параметр	Определяет количество комплектующих, установленных вчера
Установлено год назад (Уст_Год)	Входной параметр	Определяет количество комплектующих, установленных в текущий день год назад
Остаток на складе (Остаток_Склад)	Входной параметр	Определяет количество комплектующих, находящихся на складе
Размер заказа	Входной параметр	Определяет количество комплектующих, которые необходимо заказать

В качестве терм-множеств лингвистических переменных «установлено сегодня», «установлено вчера» и «установлено год назад» было использовано множество $T1 = \{\text{«мало»}, \text{«средне»}, \text{«много»}\}$. Для лингвистической переменной «остаток на складе» в терм-множество были включены только два значения $T2 = \{\text{«мало»}, \text{«средне»}\}$. Для термов «мало» и «много» были выбраны Z и S-образные (соответственно) формы функций принадлежности. Для термина «средне» - Л-образная функция принадлежности.

Для нечеткого вывода использовался алгоритм Мамдани (рисунок 1).

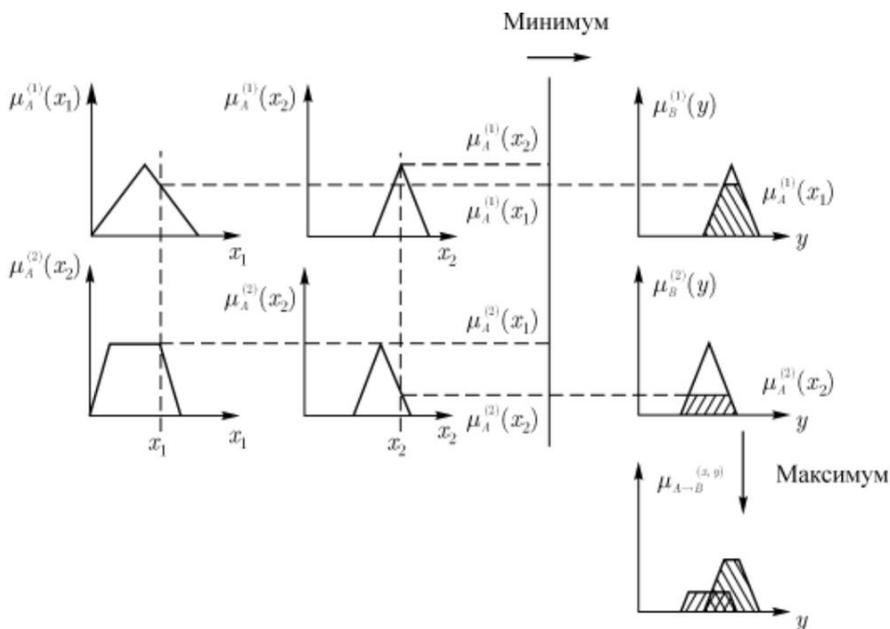


Рис. 1 Пример системы вывода Мамдани

Литература

1. Алтунин А. Е., Семухин М. В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. Тюмень : изд-во ТГУ, 2000. 352 с.
2. Основы теории нечетких множеств : учеб. пособие / В.Г. Чернов ; Владим. гос. ун-т.- Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 96 с. – ISBN 978-5-9984-0055-1.

УДК 004.942

ПРИМЕНЕНИЕ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ CATS В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Попова Ю.Б.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Введение. Переоценить важность и актуальность дистанционного обучения в настоящее время крайне сложно. Реализовать его возможно только посредством применения обучающих систем либо автоматизированных систем управления обучением (англ. Learning Management Systems, LMS). Классификация таких систем, а также их подробное описание приведено в [1]. Одной из основных тенденций в разработке LMS является их интеллектуализация, т.е. способность системы адаптировать уровень представления учебного материала к индивидуальным способностям и возможностям обучаемого. Таким образом, происходит переход от LMS к интеллектуальным либо адаптивным обучающим системам [2].

Руководствуясь преимуществами электронного обучения и наметившимися направлениями в нем, на кафедре программного обеспечения информационных систем и технологий факультета информационных технологий и робототехники Белорусского национального технического университета разработана, используется и постоянно совершенствуется собственная обучающая система [3]. В настоящее время актуальна уже третья ее версия, размещенная в сети Интернет по адресу [<http://educats.bntu.by>]. Данная версия системы получила название CATS (англ., Care About The Students) по результатам проведенного среди студентов кафедры конкурса на лучшее название.

Описание разработки. На сегодняшний день в системе зарегистрировано более 1700 пользователей, из них 99 преподавателей и почти 1600 студентов. Пользователями системы являются преподаватели и студенты факультета информационных технологий и робототехники, энергетического факультета, автотракторного факультета, машиностроительного факультета,

международного института дистанционного образования. Для проведения очных или дистанционных занятий преподаватель создает предмет, выбирает необходимые модули для предмета и заполняет каждый модуль требуемой информацией (рис. 1). Модуль «Новости» позволяет доносить требуемую информацию для студентов всех групп, которые прикреплены к данному предмету, что значительно сокращает время распространения информации. Модуль «Лекции» позволяет сформировать расписание проведения лекционных занятий, отмечать посещаемость занятий, прикреплять к лекциям требуемую информацию в виде слайдов, текстовых, анимационных, аудио- или видеофайлов.

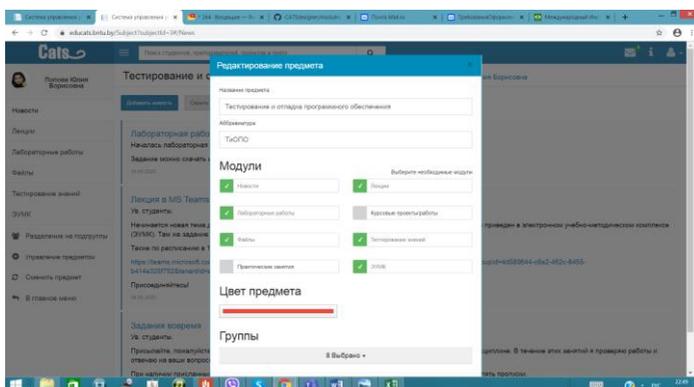


Рис. 1. Выбор модулей обучающей системы CATS

Модуль «Лабораторные работы» формирует расписание проведения лабораторных занятий с возможностью разбивки на подгруппы. При создании лабораторной работы необходимо указать отведенное на нее количество часов для построения графика защиты. Принимая во внимание текущую дату и указанное количество часов на лабораторную работу, система автоматически построит график защиты и будет рекомендовать преподавателю выставлять ту или иную оценку в день защиты работы. На рис. 2 приведен график защиты лабораторных работ по дисциплине «Тестирование и отладка программного обеспечения» с перенесением

тем лабораторных работ и дат проведения занятий. Как следует из рис. 2, на лабораторную работу №1 «Разработка требований к программному продукту» отведено всего 6 часов на даты 14-го, 21-го и 28-го февраля. Если студент будет защищать эту лабораторную работу в дни проведения занятий, то он может претендовать на максимальную оценку, т.е. 10 баллов. Если же защита работы будет проходить позже, например, 3-го апреля, то система будет рекомендовать преподавателю выставить оценку 5. Такой подход мотивирует студентов вовремя защищать лабораторные работы и формировать высокую рейтинговую оценку по предмету.

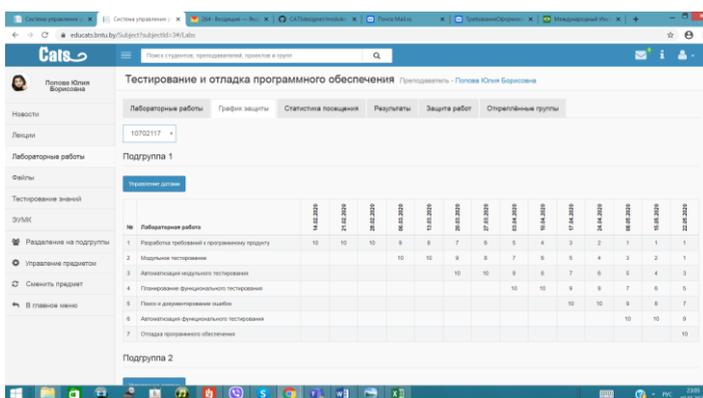


Рис. 2. Формирование графика защиты лабораторных работ обучающей системы CATS

Также в модуле «Лабораторные работы» предусмотрена возможность ведения электронного журнала с проставлением пропусков занятий и выставлением оценок за лабораторные работы. Кроме этого, в модуле существует закладка «Защита работ», куда студенты могут присылать лабораторные работы на защиту. Преподаватель имеет возможность посмотреть работу, принять ее, если все хорошо, либо отправить на доработку с комментариями. Все даты и время присланных и отправленных работ фиксируются (рис. 3), что позволяет отследить версию процесса проверок присланных работ. Следует добавить, что все присланные

лабораторные работы можно проверить на плагиат, т.е. сравнить с другими работами студентов групп, прикрепленных к данной учебной дисциплине. Для этого необходимо нажать на иконку в виде глаза, расположенную возле выбора группы и выделенную зеленой подсказкой на рис. 3. Результатом проверки будут кластеры работ с заданным в начале проверки процентом схожести. Проверка на плагиат возможна по векторному методу либо по методу шинглов.

Для проверки знаний студентов в системе существует модуль «Тестирование знаний», который реализует тесты для контроля знаний, самоконтроля, предтест перед изучением учебной дисциплины и др. Более подробно этот процесс описан в [3].

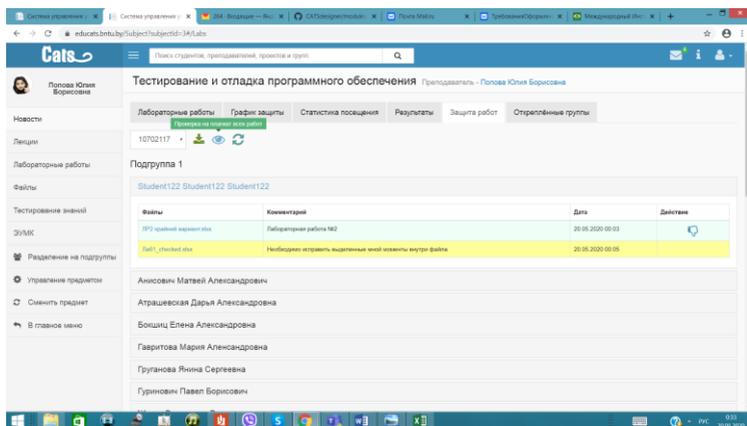


Рис. 3. Реализация процесса защиты лабораторных работ обучающей системы CATS

Заключение. Рассмотренная обучающая система CATS предоставляет полный набор функциональных возможностей для реализации учебного процесса. Система показала свою достаточную работоспособность, удобство использования и возможность применения для очного и дистанционного процессов обучения.

Литература

1. Попова, Ю.Б. Классификация автоматизированных систем управления обучением / Ю.Б. Попова // Системный анализ и прикладная информатика. – 2016. – №2. – С. 51–58.
2. Попова, Ю.Б. От LMS к адаптивным обучающим системам / Ю.Б. Попова // Системный анализ и прикладная информатика. – 2019. – №2. – С. 58-64.
3. Попова, Ю.Б. Автоматизированная система управления обучением CATS (Care About The Students) / Ю.Б. Попова // Наука и техника. – 2019. – №4 (18). – С. 339-349.

УДК 621.391.25

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ПОСТАНОВКИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ОДНОГО ТИПА СПОРТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Напрасников В.В., Боровок О.А., Ермилов В.В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В работе рассматривается методика выполнения лабораторной работы на примере построения оптимизационной модели каркаса безопасности гоночного автомобиля багги. Каркас безопасности проектируется в соответствии с требованиями к открытым автомобилям и состоит обычно из двух основных дуг, соединенных между собой как минимум одной перемычкой.

Геометрическая модель, представленная на рисунке 2, создается в среде SpaceClaim и в дальнейшем импортируется в Ansys WB.

Диаграмма чувствительности выходных параметров при изменении параметров проекта представлена на рисунке 2.

Постановка оптимизационной задачи следующая:

- длина стороны квадратного сечения каркаса $0,32 \text{ см} \leq S \leq 1 \text{ см}$;
- диаметр раскоса №1 $0,18 \text{ см} \leq D1 \leq 0,76 \text{ см}$;
- диаметр раскоса №2 $0,45 \text{ см} \leq D2 \leq 1 \text{ см}$;
- максимальное напряжение не выше 160Мпа;
- критерий - масса конструкции, минимизируется.

На рисунке 3 представлены результаты оптимизации.

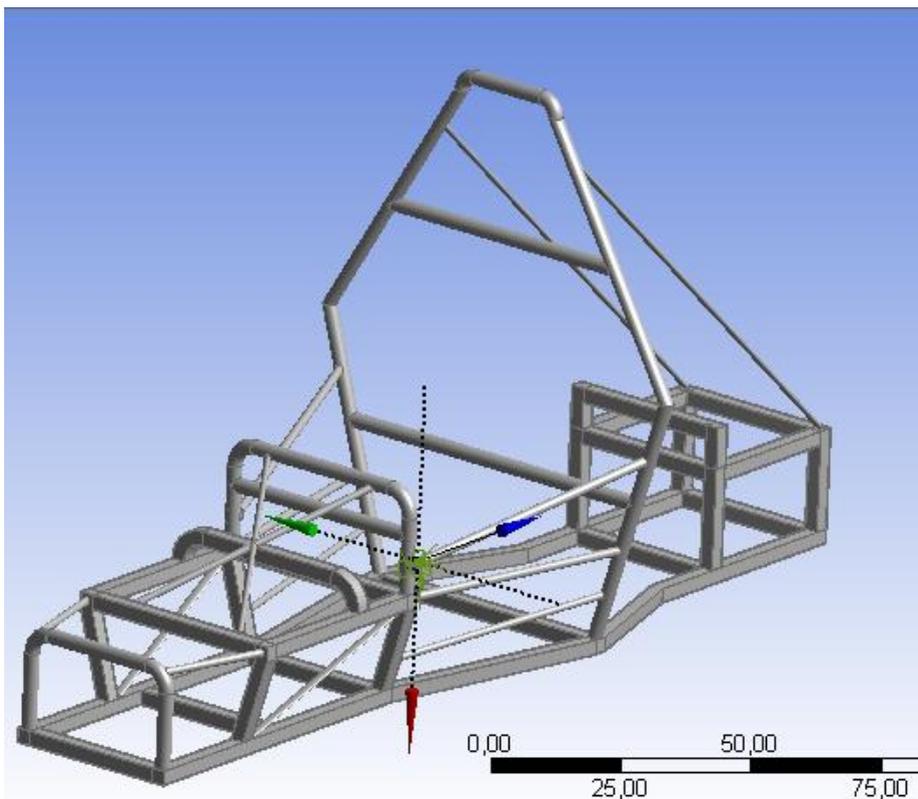


Рис. 1. Геометрическая модель

Candidate Points				
		Candidate Point 1	Candidate Point 2	Candidate Point 3
10	P21 - Грунна2 от 0,18 до 0,76	0,68318	0,69046	0,69289
11	P22 - Грунна3 от 0,45 до 1	0,9001	0,90948	0,90166
12	P23 - Грунна1 от 0,32 до 1	0,9001	0,93961	0,97911
13	P15 - Total Deformation Maximum (m)	0,00034804	0,00034577	0,00034329
14	P16 - Equivalent Stress Maximum (Pa)	★ ★ 1,5619E+08	★ ★ 1,4695E+08	★ ★ 1,3887E+08
15	P24 - Твердое тело1111113112211\Solid11 Mass (kg)	★ ★ 7,1451	★ ★ 7,1532	★ ★ 7,1576

Рис. 3. Результаты оптимизации

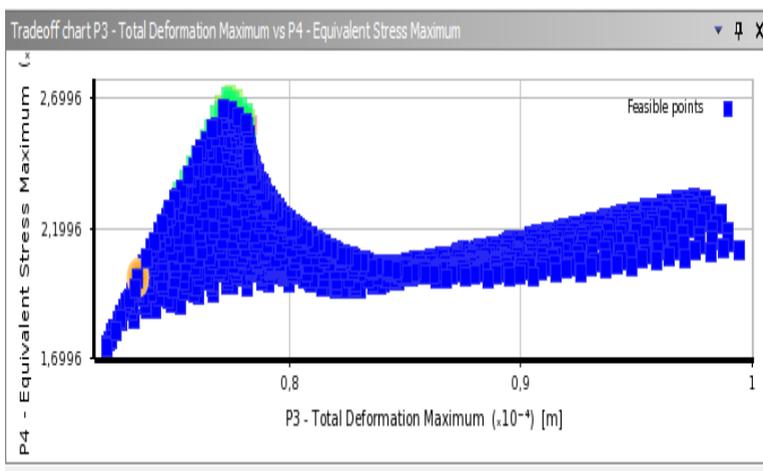


Рис. 4. Диаграмма Парето

УДК 658.512.22.011.56

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВУХФАЗНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПОРИСТОМ 3D ОБЪЕКТЕ

Напрасников В.В.¹, Соловьев А.Н.², Скалиух А.С.³,
Полозков Ю.В.¹

¹ Минск, Белорусский национальный технический университет

² Ростов-на-Дону, Донской государственный технический
университет

³ Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет

При создании пористых материалов одной из задач является повышение фильтрующих свойств таких материалов. При этом возникает задача по моделированию многофазных течений. Под многофазным обычно подразумевается совместное течение двух и более сред, находящихся в разном агрегатном состоянии.

Исходя из этого, важной является задача построения моделей, позволяющих на основе виртуальных испытаний оценить эффективность предлагаемой пористой структуры по критерию удержания примесей.

Цель работы – построение модели для оценки изменения во времени количества примесей в фильтруемой жидкости.

На примере пузырьковой геометрии пор, представленной на следующем рисунке, рассматривается последовательность этапов формирования модели для визуализации движения примесей при заданных давлениях на входе и выходе такой структуры.

Выполнены вариантные расчеты распределений примесей по объему для разных конфигураций пор.

Настроим параметры отслеживания частиц `DiscretePhase`, как показано на рисунке 1 вверху.

Применим настройки, как показано на рисунке 1 внизу, где максимальное число шагов (`Maxnumberofsteps`) умноженное на длину масштаба (`Lengthscale`), будет равно ожидаемой аппроксимации длины, пройденной частицами.

Во всех случаях использовались 20 итераций, при этом достигалась хорошая сходимость по моментам и массам. Динамика развития процесса фильтрации для одного из вариантов пористой

структуры представлены на рисунке 2. Частицы примесей отображены точками красного цвета.

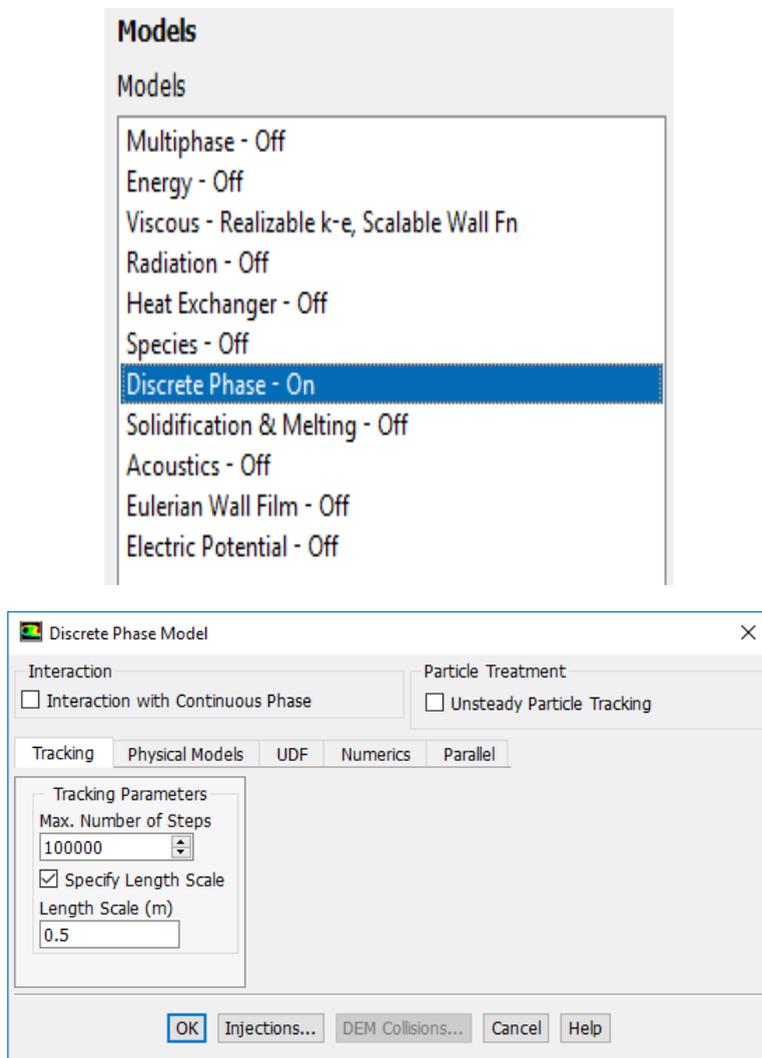


Рис. 1. Параметры отслеживания частиц

На рисунке 3 представлены графики сходимости по различным критериям на первых двадцати итерациях.

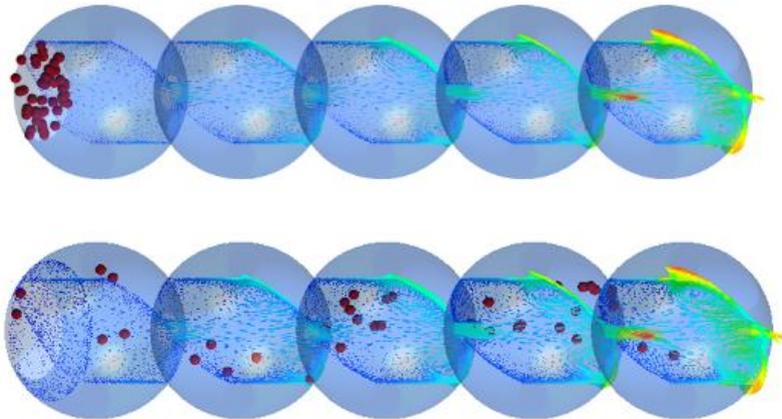


Рис. 2. Исходное распределение примесей (вверху) и распределение на четвертом шаге по времени (внизу)

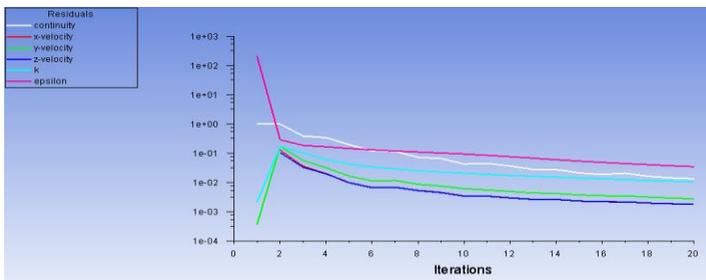


Рис.3. Графики сходимости

В ходе проделанной работы сформулирована граничная задача для определения скоростей и давлений в жидкости внутри пористой структуры с наличием примесей, выполнены варианты расчеты для определения скоростей и давлений в жидкости с наличием примесей внутри пористой структуры, и динамики изменения количества примесей.

УДК 681.511

**КОРНЕВЫЕ ГОДОГРАФЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ РЯДА
РЕАЛЬНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
УПРАВЛЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ**

Несенчук А.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Рассматривается математическая модель системы в форме корневого портрета (корневого годографа) при изменении двух реальных физических параметров объекта.

Модели реальных физических объектов всегда являются неточными, т.е. в большей или меньшей степени неопределенными. Неопределенность систем, как правило, возникает ввиду различных причин как внешнего, так и внутреннего свойства.

При наличии существенной неопределенности объекта ее следует учитывать при проектировании системы управления объектом, поскольку в противном случае возникает риск несоблюдения технических требований по точности и качеству системы. Иными словами, следует спроектировать систему робастной [1, 2], а именно способной сохранять предписанную работоспособность в условиях существенной неопределенности.

Известно, что для синтеза и анализа систем, параметры которых подвержены изменениям, наиболее подходящим и распространенным средством является метод корневого годографа, положенный в основу теории корневых траекторий [2]. Корневые годографы являются идеальным средством синтеза качественных систем в условиях параметрической неопределенности, в особенности систем с использованием ПИД (пропорционально-интегрально-дифференцирующих) регуляторов.

Классический корневой годограф используется для установления свойств систем при вариации одного параметра. Однако корневой подход (корневые годографы) может быть успешно использован, когда варьируемыми являются два и более реальных физических параметра системы.

Рассмотрим математическую модель в виде корневых траекторий характеристического полинома системы в форме:

$$p(s,A) = s^n + a_1s^{n-1} + a_2s^{n-2} + \dots + a_{n-2}s^2 + a_{n-1}s + a_n, \quad (1)$$

где s – комплексное переменное, $s = \sigma + i\omega$;

a_j – коэффициенты полинома, $j=1,2, \dots, n$ (принадлежат множеству A).

Перепишем выражение (1) для случая, когда коэффициенты $a_j(\mathbf{q})$ являются функциями вектора $\mathbf{q} = \{q_i, i = 1, 2, \dots, m\}$ реальных физических параметров системы:

$$p(s,\mathbf{q}) = s^n + a_1(\mathbf{q})s^{n-1} + a_2(\mathbf{q})s^{n-2} + \dots + a_{n-k}(\mathbf{q})s^k + \dots + a_{n-1}(\mathbf{q})s + a_n(\mathbf{q}). \quad (2)$$

Для системы третьего порядка с одним физическим параметром q_1 полином (2) может иметь, например, следующий вид:

$$s^3 + (4 + q_1)s^2 + 4s + 7 = p(s,q_1).$$

Рассмотрим пример системы третьего порядка, когда изменяются два параметра объекта управления, которые фактически являются коэффициентами полинома. Характеристический полином данной системы имеет следующий вид:

$$s^3 + s^2 + q_1s + q_2 = p(s,q_1,q_2). \quad (3)$$

Такие системы часто встречаются в практических задачах синтеза систем автоматического управления техническими объектами.

Тогда, выделив в (3) интересующий нас параметр, например q_1 , в качестве параметра корневого годографа, получим уравнение корневого годографа в общем виде [2]:

$$\phi(s) + q_1\psi(s) = (s^3 + s^2 + q_2) + q_1s = 0, \quad (4)$$

где $\psi(s)$ и $\phi(s)$ – полиномы числителя и знаменателя передаточной функции разомкнутой системы.

Приняв $q_1=0$, можно выполнить исследование динамических свойств системы при вариации коэффициента q_2 , т.е. реакцию системы на изменение этого параметра в пределах бесконечного интервала изменения его значений, учитывая, что построенный для этого случая корневой годограф $RL(q_2)$ характеристического полинома передаточной функции разомкнутой системы, имеющий параметр годографа q_2 , представляет собой траекторию полюсов (начальных точек) корневого годографа полинома передаточной функции замкнутой системы.

Исследовав влияние параметра q_2 на динамику системы, следует выбрать приемлемое в смысле расположения корней в плоскости собственных частот и удовлетворяющее пользователя значение $q_2 = \tilde{q}_2$ этого параметра. На положительной ветви годографа $RL(q_2)$ выбран подходящий корень, соответствующий точке со значением $q_2=10$.

На следующем этапе, используя выбранное значение $q_2 = \tilde{q}_2$, с помощью корневого годографа (4), построенного уже относительно параметра q_1 годографа, $RL(q_1)$, выполняем исследование влияния изменения параметра q_1 на динамику рассматриваемой системы управления. В этом случае полюсы (4) представляют собой корни, соответствующие найденному на предыдущем этапе значению q_2 . На положительной ветви годографа $RL(q_1)$ выбрано значение корня, соответствующее точке со значением $q_2=10$, а именно $q_1=25$.

Таким образом определены два искомого параметра динамической системы: $q_1=25$ и $q_2=10$, которые обеспечивают ее устойчивость.

Построенные годографы $RL(q_1, q_2)$ обладают большой наглядностью, позволяя не только исследовать характер влияния параметрических вариаций на динамические свойства системы автоматического управления, но также установить взаимовлияние отдельных параметров системы. По такому принципу выполняется определение значений параметров и для систем иных порядков.

Литература

1. Поляк, Б.Т. Управление линейными системами при внешних возмущениях / Б.Т. Поляк, М.В. Хлебников, П.С. Щербаков // – М.: ЛЕНАНД, 2014. – 560 с.

2. Несенчук, А.А. Анализ и синтез робастных динамических систем на основе корневого подхода / А.А. Несенчук // – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. – 234 с.

УДК 004.932.4:681.6-33:655.3.063.2

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ БУМАЖНЫХ НОСИТЕЛЕЙ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РИЗОГРАФИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

Юденков В.С.¹, Сулим П.Е.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Для повышения качества ризографической печати требуется создание методов по формированию исходных показателей оригинал-макета: четкость, корректность передачи полутонов, контрастность. При этом на качество изображений, полученных при печати на ризографе, влияет микрогеометрия поверхности и физико-механические свойства бумаги. Оптическая плотность красочного слоя на оттиске в значительной степени определяется структурой участков бумаги, в частности, впитывающей

способностью и пористостью. Для получения качественных изображений на оттисках требуется не только настроить сам оригинал-макет, но и подобрать бумагу с такими характеристиками, которые позволили получить наилучший результат при печати на ризографе.

Для получения печатной продукции на ризографе используется бумага массой от 46 г/м² до 210 г/м², писчая, соответствующая ГОСТ 18510-87, а также офсетная по ГОСТ 9094-89. Использование бумаги с различными свойствами требует дополнительного проведения экспериментальных исследований с целью определения оптимальных видов и сортов, которые позволяют получать качественные показатели изображений по четкости, контрастности, корректности передачи полутоновых изображений. Из ранее проведенных исследований [1-4] следует, что для печати изображения типа «фото» и «график» целесообразно применять гибридный способ растривания, так как применение данного способа растривания позволяет получать мелкоструктурную детальную проработку изображений, и тем самым повышает его разрешающую способность. В то же время для изображения типа «контурный рисунок» - периодический растр, так как позволяет более полно отображать графическую информацию, а для изображения типа «текст» использовать непериодический способ растривания.

Целью данной работы является исследование влияния свойств бумаги на показатели контрастности, четкости и корректности передачи получаемых ризографических печатных оттисков. Исследования качества получаемых оттисков проводились при использовании различных сортов бумаги с использованием шести образцов (таблица 1). Печать оттисков осуществлялась на ризографе марки EZ371. Измерения толщины образцов бумаги осуществляли с помощью толщинометра ТНБ-1-А (ISO 534, ГОСТ 27015-86). Для этого толщину образцов бумаги измеряли прибором в десяти точках образцов. Результатом измерения является среднее значение десяти измерений толщины образцов бумаги. Количество твердых веществ волокна, наполнителя в бумаге оценивается массой в 1 м². Данный параметр определялся взвешиванием вырезанного куска бумаги.

Белизна бумаги измерялась с помощью фотометра КОЛИР. Шероховатость бумажных образцов определялась по методу Бендтсона, основанную на истечения потока воздушной массы в течении 1 мин.

Таблица 1

Свойства бумаги	Образец бумаги №1	Образец бумаги №2	Образец бумаги №3	Образец бумаги №4	Образец бумаги №5	Образец бумаги №6
Толщина, мм	102	146	81	91	80	170
Масса, г/м ²	80	120	65	75	50	195
Белизна, %	81,63	85,49	74,11	68,71	58,21	84,33
Шероховатость, мл/мин	344	320	117	176	175	14

Равномерность распределения красочного слоя на поверхности бумажного носителя важное условие формирования изображения. Чем выше равномерность распределения красочного слоя по толщине, тем точнее передаются отдельные детали изображения. Такое качество печатных изображений получается лучше при гибридном растривании исходного оригинал-макета и при печати на образцах бумаги №1 и №2 с белизной 81,63% и 85,49%.

Анализ получаемых тестовых изображений при значениях кегля текста 24 пт показывает, что получаемые изображения по качеству отличаются. Наиболее высоким качеством обладают текстовые изображения с использованием настроек штатного драйвера и применением непериодического способа растривания. Таким образом, разработанная тестовая шкала для печати различных видов изображений типов «фото», «график», «текст» и «контурный рисунок» показывает наиболее целесообразное ее использование при проверки качества ризографических оттисков на различных видах бумажных носителей. При этом наиболее качественной запечаткой изображений типов: «фото» и «график» является применения гибридного растривания с использованием бумаги образца №1, так как она обладает высокой шероховатостью (344 мл/мин), что характеризует образец бумаги развитой структурой поверхности, которая объемно связывается с печатной краской, и обеспечивает

лучший контраст, четкость и корректность передачи полутоновых изображений. В то же время образцы №2 (шероховатость 320 мл/мин) и №4 (шероховатость 176 мл/мин) обладают развитой структурной поверхностью бумажного полотна, также позволяют получать качественные печатные оттиски. Но образец бумаги №4 имеет низкую белизну (68,71 %), что в конечном счете не позволяет получать высококачественные оттиски по контрастности. Менее целесообразным является для использования в ризографической печати образцов бумаги под №3 и №6, в связи с низкой шероховатостью бумажного листа, что не позволяет красочному слою скрепиться с поверхностью бумажного листа.

Литература

1. Sulim P., Yudenkov V. Improvement of the printing quality on a risograph on the basis of the adaptive screening method // Printing Future Days 2015: Proceeding of the 6th International Scientific Conference. Germany, 2015. P. 109–116.

2. Сулим П. Е., Юденков В. С. Использование программного обеспечения для спектрального анализа ризографической печати // Системный анализ и прикладная информатика. 2015. № 3. С. 42-46.

3. Сулим П. Е., Юденков В. С. Метод улучшения процесса растривания на ризографе EZ 371E на основе программно-гибридной технологии // Труды БГТУ. 2016. № 9: Издат. дело и полиграфия. С. 61-66.

4. Сулим П. Е., Юденков В. С. Гибридный способ растривания для ризографической печати // Труды БГТУ. 2017. № 2: Принт- и медиатехнологии. С. 37-43.

УДК 53: 681.3.06 (075.8)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

В.В. Сидорик, И.З. Джилавдари

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Рассматриваются вопросы технологии компьютерного моделирования при обучении студентов технических вузов. На примере задачи движения тел и летательных аппаратов в атмосфере планет представлены физическая и математическая модели, дан алгоритм достижения учебных целей.

В современном информационном обществе компьютерное моделирование, как правило, является составной частью любого научного исследования. В этой связи актуальным является внедрение идей компьютерного моделирования в учебный процесс как технологии для подготовки будущих специалистов.

Рассмотрим элементы этой технологии на примере физической задачи движения тел и летательных аппаратов в атмосфере планет [1]. Сложность физической и математической моделей не позволяют включить такую и другие задачи в учебный процесс с использованием классических (не компьютерных) подходов. В тоже время, углубленный анализ физических моделей и процессов, связанных с анализом сложных нелинейных уравнений движения, позволяют отойти от абстрактных задач и приблизить учебный процесс к реалиям. Такой подход не только приближает курс физики к специальным курсам, но и усиливает мотивацию изучения дисциплины.

Постановка задачи исследования. Тело массой m , площадью поперечного сечения S , коэффициентом лобового сопротивления C_D и аэродинамическим качеством K начинает движение в атмосфере планеты с высоты h_0 с начальной скоростью \vec{v}_0 под углом θ к местной горизонтали. Требуется провести исследование по изучению вида траектории, характера движения, определению

кинематических характеристик движения в зависимости от: модели гравитационного поля; начальных условий движения; характера зависимости силы сопротивления и подъемной силы от скорости движения; динамических параметров и формы тела.

Учебные цели. Исследовать траекторию движения тела в *однородном* и *центральной* неоднородном гравитационном поле планеты при наличии атмосферы. Исследовать влияние атмосферы на *перегрузки* летательных аппаратов. Исследовать условия безопасной посадки космических аппаратов. Исследовать влияние параметров летательных аппаратов (массы, баллистического параметра, аэродинамического качества) на характеристики движения. Исследовать влияние на движение вида зависимости силы лобового сопротивления и подъемной силы от скорости.

Физическая модель. Гравитационное поле Земли. Будем рассматривать в пространстве планету Земля как неподвижное твердое тело сферической формы и постоянной плотности. Гравитационное поле Земли является центрально-симметричным.

Модель однородного гравитационного поля (случай малых скоростей и высот). В случае, когда начальная скорость тела v_0 меньше 200 м/с и начальная высота запуска h_0 меньше 10 000 м, в данной работе предполагается, что тело движется в однородном гравитационном поле, с $g = g_0 \approx 9,8 \text{ м/с}^2$.

Модель центрально-симметричного гравитационного поля (случай космических скоростей и высот). В случае, когда начальная скорость тела $V_0 > 200 \text{ м/с}$ и начальная высота запуска $h_0 > 10^5 \text{ м}$, в данной работе предполагается, что тело движется в неоднородном центрально-симметричном гравитационном поле.

Варьируемые параметры: m — масса тела; K — аэродинамическое качество; S — площадь поперечного сечения; n — показатель зависимости силы сопротивления от скорости; v_0 — начальная скорость тела, h_0 — начальная высота над поверхностью планеты, θ — угол вхождения в атмосферу.

Атмосфера Земли. Модель атмосферы — это модель газа, температура которого не зависит от высоты и плотности, а

плотность уменьшается с увеличением высоты по закону Больцмана

$$\rho = \rho_0 e^{-\hat{\gamma}h}$$

Спускаемый аппарат. Спускаемый аппарат будем рассматривать как твердое тело, параметры которого не изменяются в процессе движения. В качестве определяющих параметров будем рассматривать форму тела и его массу, поскольку эти параметры определяют силу лобового сопротивления и подъемную силу, действующие на тело со стороны атмосферы, а также силу гравитационного притяжения, действующую на тело со стороны Земли. Спускаемый аппарат стабилизирован в пространстве так, что его аэродинамическое качество, т. е. отношение подъемной силы к силе лобового сопротивления, не меняется в процессе движения. Траектория движения аппарата (тела) предполагается плоской.

Коридор входа. Вид траектории спуска летательного аппарата в атмосфере определяется, в основном, его аэродинамическими характеристиками. Возвращение из космического пространства, когда скорость превышает первую космическую, отличается от спуска с орбиты искусственного спутника. Проблему представляет точность управления, требующая осуществить спуск по траектории без отражений от атмосферы, избежать при этом чрезмерно больших перегрузок ($a/g > 10$). Для этого вводят понятие *коридор входа* (рис.1), т. е. диапазон углов вхождения в атмосферу, при котором достигаются заданная точность приземления и условия безопасной посадки.

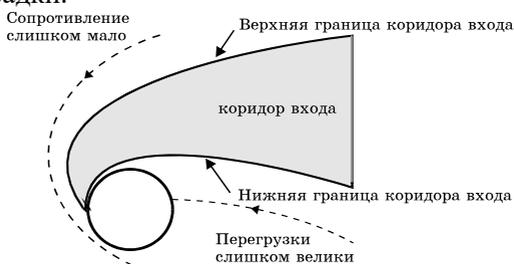


Рис.1. Коридор входа летательного аппарата в атмосферу
Математическая модель.

Центрально-симметричное поле. При движении тела в центрально-симметричном гравитационном поле Земли вывод дифференциальных уравнений движения удобно проводить в полярной системе координат. Расчетная схема представлена на рис. 2, где \vec{v} — скорость тела, \vec{D} — сила лобового сопротивления, \vec{L} — подъемная сила, $m\vec{g}$ — сила гравитационного притяжения, θ — угол вхождения в атмосферу, R — радиус Земли.

Сила лобового сопротивления. Силу лобового сопротивления D обычно записывают в виде $D = \frac{1}{2} C_D S_D \rho v^2$, где C_D — коэффициент лобового сопротивления (безразмерная величина), величина которого обычно меняется в пределах от 0,03 (хорошо обтекаемые тела) до 2 (плохо обтекаемые тела), S_D — площадь поперечного сечения тела (проведенного перпендикулярно вектору скорости тела), ρ — плотность воздуха.

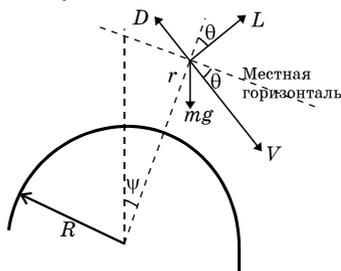


Рис. 2. Расчетная схема в полярной системе координат

Подъемная сила. Подъемную силу L обычно считают пропорциональной силе лобового сопротивления $L = KD$. Коэффициент K называют *аэродинамическим качеством*.

Уравнение движения. Уравнение движения тела имеет вид

$$h' = (R+h)(\psi')^2 - g + \frac{1}{2} \frac{\rho_0}{\beta} e^{-\gamma \frac{h}{R}} [-h' + K(R+h)\psi'] V,$$

$$\psi'' = -\frac{1}{R+h} \left\{ 2h' \psi' + \frac{1}{2} \frac{\rho_0}{\beta} e^{-\gamma \frac{h}{R}} [Kh' + (R+h)\psi'] V \right\}.$$

Закон зависимости силы сопротивления и подъемной силы от скорости. Зависимость может быть квадратичной или в общем виде v^n .

Уравнение движения в однородном поле. Уравнение движения имеет вид системы нелинейных дифференциальных уравнений

$$x' = -\frac{1}{2} \frac{\rho_0}{\beta} v^{n-1} (x' + ky) e^{-\gamma y},$$

$$y' = -g - \frac{1}{2} \frac{\rho_0}{\beta} v^{n-1} (y' - kx') e^{-\gamma y}.$$

Для данной задачи имеется практическая реализация.

Литература

1. Сидорик В.В., Джилавдари И.З. Физика в компьютерных моделях: Учебно-метод/ пособие. – Минск : ПИОН, 1998, с. 250

УДК 378.147

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Сидорик В.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Рассматривается проблема разработки электронных учебно-методических комплексов и особенности технологии ее реализации на платформе облачных технологий.

В настоящее время актуальным и востребованным является разработка электронных учебно-методических комплексов (ЭУМК) на различных платформах и с использованием различных технологий. Следует отметить, что подготовка ЭУМК, безусловно, требует определенных временных затрат и наличия квалификационных компетенций разработчиков. Исследованию этих вопросов посвящен целый ряд работ [1-3]. Многие

существующие платформы для образовательного процесса учреждений не имеют универсального характера, достаточно дороги, громоздки и не всегда гибки в части обновления содержания и вариативности используемых технологий. При этом требуется индивидуальное обучение для их использования и практической адаптации.

Подготовка ЭУМК завершается оформлением документации и поэтапным утверждением, а также публикацией. Интенсивное обновлением информации в IT области требует актуального обновления технологий обучения и содержания ЭУМК. При сложившихся нормах и правилах внесение изменений в ЭУМК становится достаточно медленная процедура.

Исходя из этого, следует, что необходимо обратить внимание на уже существующие и достаточно широко используемые сервисы, которые можно адаптировать для обеспечения ЭУМК. Это решения различных лидеров в IT области: Google, Microsoft и Яндекс, предлагающих уже готовые и бесплатные универсальные облачные сервисы. Имеющиеся сервисы, как правило, достаточно универсальны, позволяют реализовывать различные файловые ресурсы и их администрирование. Реализованы различные средства сетевого общения (электронная почта, чат, видеоконференции).

Многие преподаватели уже знакомы с этими сервисами, имеют почтовые аккаунты и опыт работы с ними. Соответственно период обучения и адаптации проходит достаточно быстро. Аналогичная ситуация и по отношению к студентам. Срок актуальной адаптации уже имеющихся учебно-методических материалов для потребностей ЭУМК на знакомой платформе существенно сокращается. Важно также учитывать простоту и оперативность управления учебным контентом. Немаловажным является возможность учитывать особенности каждой дисциплины и запросы преподавателя, ее обеспечивающего.

Рассмотрим компоненты образовательной технологии, необходимые для реализации ЭУМК на платформе с использованием облачных ресурсов Google.

Предварительная подготовка студентов. Для начала работы студенты регистрируют индивидуальные аккаунты на ресурсе

Google и присылают подтверждение на адрес преподавателя. Регистрация на Google бесплатная и позволяет получить каждому студенту 15 Гб бесплатного дискового пространства на облаке, а также полный набор сервисов для работы с ресурсами. Отметим, что этот процесс протекает не очень гладко и требует определенного времени. На аудиторных занятиях преподаватель предварительно объясняет правила и регламент работы с облачными сервисами, возможно предлагает краткую памятку работы с ними.

Формирование групп контактов. Преподаватель формирует группы контактов в соответствии с номерами учебных групп. Это существенно экономит время преподавателя и позволяет в дальнейшем осуществлять коммуникацию и рассылку учебно-методических материалов, администрирование ресурсов с определением к ним доступа просто указанием номера группы.

Оценка предварительной подготовленности студентов. Безусловно, для гибкого и эффективного управления учебным процессом, актуальной адаптации материалов ЭУМК к текущему набору студентов необходимо предварительно оценить уровень их базовой подготовки и остаточных знаний, необходимых для изучения дисциплины. Этому помогает электронная форма-анкета с заранее подготовленными вопросами. Желательно подготовить анкету с использованием Google форм и разослать ссылку для каждого студента. Результаты анкетирования накапливаются в электронной таблице и могут быть обработаны встроенными стандартными средствами электронных таблиц.

Конфиденциальность информации. При проведении анкетирования каждому студенту можно использовать персональный код (совокупность алфавитно-цифровых символов), который каждый может создать для себя. Код доступен только для него и преподавателя. При необходимости в дальнейшем результаты текущей работы студента и группы в целом с полным статистическим анализом могут быть представлены в публичном доступе с указанием кода (без фамилии). Такое кодирование снимает в дальнейшем целый ряд этических проблем.

Информирование и оповещение. При системной работе со студентами необходимо иметь возможность оперативной доставки информации каждому студенту персонально и всей группе одновременно. Здесь предпочтительным является формирование документа (файла), содержащего необходимую информацию и предоставление доступа студентам к этому файлу. Доступ может быть полным с правами редактирования или, например, только для просмотра.

Обеспечение изучение теоретической части дисциплины. Для обеспечения лекционного курса на облаке создается соответствующая папка, например, «Лекции». К этой папке дается доступ всем студентам с правами, как правило, только для просмотра. В эту папку помещаются все необходимые материалы, которые, по мнению преподавателя, должны быть доступны студентам. Это могут быть не только презентации, но и другие материалы, детализирующие и расширяющие изучение того или иного вопроса учебной программы. Существенно также, что дополнять можно и после лекции, если преподаватель зафиксировал проблемы с пониманием того или иного раздела в аудитории. Это придает учебному процессу и ЭУМК дополнительную гибкость.

Лабораторный практикум. Для обеспечения лабораторного практикума также необходимо сформировать отдельную папку с лабораторными работами. Доступ к этой папке дается, как правило, только для просмотра. В этой папке размещаются учебно-методические материалы к практикуму. Каждая лабораторная работа выкладывается после выполнения предыдущей. Это позволяет гибко реагировать на усвоение материала студентами и вносить необходимые коррективы.

Учет и анализ индивидуальной работы студента. Немаловажным фактором в образовательном процессе является получение обратной связи и оперативное реагирование с целью диагностики индивидуального усвоения материала и внесение корректив в учебную работу с каждым студентом. В случае лабораторного практикума этому способствует создание индивидуальных папок с персонифицированным доступом для каждого студента. Доступ к папке у каждого студента

предоставляется в режиме редактирования. Это позволяет не только преподавателю, но и студенту размещать, удалять и редактировать содержимое этой папки. Такая возможность, безусловно, применима и используется в ряде других случаев, например, для курсовых работ и персональных консультаций.

Онлайн-общение. При работе с любым учебным материалом у студента непременно возникает целый ряд вопросов. Для онлайн-общения Google реализует дополнительные сервисы в виде чата с обменом текстовыми сообщениями и проведение видео конференций в онлайн-режиме, включая группы.

Заключение. Анализ, представленный в данной работе, показывает, что использование облачных технологий обеспечивает решения для реализации ЭУМК и повышения качества и эффективности образовательного процесса.

Литература

1. Сидорик В.В. Структура образовательного процесса кафедры на основе облачных технологий. Материалы 14-й Международной научно-технической конференции (69-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ). В 4-х томах. Том 4. Минск, БНТУ, 2016, С.442

2. Кутовенко, А. А. Облачные и сетевые технологии в учебном процессе : учебно-методическое пособие для студентов и слушателей системы повышения квалификации и переподготовки / А. А. Кутовенко, В. В. Сидорик ; под общей редакцией В. В. Сидорика ; Белорусский национальный технический университет. – Минск : БНТУ, 2020. – 57 с.

УДК 004.93

ГИПЕРКОНВЕРГЕНТНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА КОРПОРАТИВНОГО УРОВНЯ

Белова С.В., Колос К.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

На сегодня одним из основных решений в области построения ИТ-инфраструктуры корпоративного уровня становятся гиперконвергентные системы. Это такой подход к созданию ИТ-инфраструктуры, который объединяет в одном модульном решении серверы, системы хранения, сетевые функции и программное обеспечение, отвечающее за создание пула ИТ-ресурсов, быстрое и простое их реконфигурирование, не требующее специальной подготовки.

Гиперконвергентные системы пользуются всё большей популярностью. Многие компании малого и среднего уровня, не имеющие больших штатов ИТ-специалистов, с помощью подобных систем очень быстро разворачивают компактные, недорогие и очень гибко масштабируемые системы хранения и обработки данных. Для управления хранилищами данных и серверным оборудованием порой достаточно одного системного администратора.

Такой тип инфраструктуры обычно представляет собой готовое решение от производителя, задача которого – ускорить развертку инфраструктуры. Основная идея состоит в том, чтобы обеспечить одну точку входа для технической поддержки и упростить обслуживание компонентов.

Сам термин «конвергентная инфраструктура» предложила компания Hewlett-Packard. В терминологии Gartner этот тип инфраструктуры называется интегрированной системой, а в Cisco Systems – системой унифицированных вычислений (UCS).

Гиперконвергенция позволяет упростить и ускорить ввод в эксплуатацию ИТ-ресурсов, снизить затраты на управление и общую стоимость владения ИТ-инфраструктурой, в том числе за счет глубокой автоматизации и самообслуживания.

Гиперконвергентная система представляет собой объединённые в одном корпусе сервер, систему хранения данных и сетевой коммутатор. Однако самой главной частью является адаптированное ПО, включая контроллеры. Это некое массовое устройство, не требующее наладки и доводки, обладающее широчайшей совместимостью и универсальное в применении.

Гиперконвергентные решения выделяются улучшениями на уровне программного контроллера, что позволяет легко их масштабировать. Для увеличения емкости и производительности нужно добавить новый блок. Вместо усиления мощности за счет увеличения числа дисков, количества памяти или процессоров, производительность увеличивается за счет добавления большего числа модулей.

Гиперконвергентные системы обычно состоят из нескольких физических модулей, объединяемых в горизонтально масштабируемый кластер. Каждый из них содержит вычислительное ядро, ресурсы хранения, сетевые компоненты и гипервизор.

Отдельное устройство имеет от одного до четырех узлов, каждый из которых представляет собой самостоятельный сервер с процессором и памятью в общем шасси. Гиперконвергентные кластеры (HCI) обычно содержат от 4 до 64 узлов, хотя некоторые производители не указывают конкретных пределов масштабируемости.

Для того чтобы узлы могли совместно использовать ресурсы хранения, применяется программное обеспечение для создания виртуальной сети хранения или кластерная файловая система. Программное обеспечение для реализации гиперконвергентной инфраструктуры может предлагаться как отдельно, так и предустановленным на физические устройства.

Недостаток при покупке ПО - заказчику придется отдельно приобретать оборудование и затем самостоятельно его устанавливать. Преимущество - возможность самостоятельно выбирать аппаратное обеспечение (в отличие от приобретения готовых устройств с предустановленным ПО).

Поставщики гиперконвергентных систем позиционируют свои продукты как ответ на самые насущные вызовы, с которыми сталкиваются корпоративные ИТ-отделы: быстрое развертывание оборудования для поддержки новых услуг, сокращение капитальных и операционных затрат, нехватка квалифицированных ИТ-кадров, упрощение управления ИТ-инфраструктурой, повышение защищенности и доступности данных и т. д.

Поставщики гиперконвергентных систем наиболее часто выделяют следующие их преимущества.

Во-первых, сокращение числа управляемых систем. Установка одного гиперконвергентного узла ведет к сокращению числа отдельных устройств и, как следствие, уменьшению количества объектов, которые надо приобретать, устанавливать и обслуживать. Более простое управление аппаратным обеспечением особенно привлекательно для небольших компаний и удаленных филиалов, где нет условий для содержания штата администраторов.

Во-вторых, упрощение масштабирования. Масштабирование систем хранения всегда было трудной задачей. В отличие от них, гиперконвергентные системы рассчитаны не на вертикальное (scale-up), а на горизонтальное (scale-out) масштабирование. Когда возникает необходимость в дополнительной вычислительной мощности, ИТ-отделу достаточно приобрести еще один узел и добавить его к имеющемуся кластеру. По сравнению с традиционными и конвергентными решениями типичный квант наращивания значительно меньше.

Третье - гиперконвергентные платформы позволяют применять политику к отдельным ВМ, назначая для каждой свои правила резервного копирования, тиражирования и т. д.

Четвертое преимущество – гиперконвергентные системы обеспечивают высокую производительность приложений.

Таким образом, гиперконвергентные системы являются одним из быстро развивающихся решений в области построения ИТ-инфраструктуры корпоративного уровня. Рынок гиперконвергентных систем продолжает расти, расширяется целевая аудитория и области применения. Многие компании

заинтересованы в использовании преимуществ, предоставляемых подобными системами.

Литература

1. Ганьжа Д. Гиперконвергенция: ИТ-инфраструктура на раз, два, три.- Журнал сетевых решений/LAN. - №5. – 2016. Режим доступа: <https://www.osp.ru/lan/2016/05/13049349/> (дата обращения: 19.05.2020)
2. Гиперконвергентность. - Национальная электронная библиотека им. Н.Э. Баумана. - Режим доступа: <https://ru.bmstu.wiki/> (дата обращения: 19.05.2020)
3. Немного о конвергентной (и гиперконвергентной) ИТ-инфраструктуре. - Блог компании ИТ-ГРАД. Разработка под e-commerce. - Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/it-grad/blog/281813/> (дата обращения: 19.05.2020)

УДК 629.7+531.383

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕГО УСКОРЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА

А.Ю.Бумай, А.А.Лобатый

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Небольшие беспилотные авиационные системы (БАС) стали опорой в текущих военных и гражданских операциях, обеспечивая лиц, принимающих решения, жизненно важной разведкой и наблюдением. БАС, также называемый беспилотным летательным аппаратом (БЛА) или дроном, являются самолетом многоцелевого использования, в котором обычно используются бортовые датчики и средства обработки для оценки текущего кинематического состояния и автоматического управления его полетом. БАС бывают разных форм и размеров и использовались в различных военных и

гражданских целях, включая, поисково-спасательные операции, мониторинг земной поверхности и исследования атмосферы. Цель этого доклада представить решение задачи аналитического синтеза управляющего ускорения беспилотного летательного аппарата при полете его по сложной траектории, состоящей из последовательно расположенных участков горизонтального полета, находящихся на разной высоте относительно земной поверхности и изучить основы оценки состояния и управления полетом. Решение задачи рассматривается как аналитическое определение оптимального управления линейной нестационарной системой при заданном минимизируемом функционале качества. Математическая модель системы представляется в виде дифференциальных уравнений движения БЛА в вертикальной плоскости неподвижной системы координат, привязанной к земной поверхности. Особенностью предлагаемой методики решения задачи является обоснование оригинального вида минимизируемого функционала и параметров, входящих в полученный известными методами закон изменения управляющего ускорения. В качестве составляющих функционала качества рассматриваются значения координат и скорости БЛА, заданных в соответствующих точках пространства, через которые должен проходить путь БЛА, для получения оптимальной кривизны траектории. Полученные математические зависимости позволяют реализовать их на борту летательного аппарата и в конечном итоге решают задачу обеспечения минимальных затрат энергии при управлении объектом (БЛА). Проведенное компьютерное моделирование полученных аналитически результатов в виде траектории полета БЛА и процессов изменения ускорения и скорости БЛА показало работоспособность предлагаемой методики и перспективность её использования на первоначальном этапе синтеза системы управления БЛА. [1].

Математические модели применения БЛА включают в себя большое число математических выражений, которые описывают перемещение БЛА как твердого тела в пространстве, включающие уравнения кинематики и динамики движения центра масс и относительно центра масс. Здесь должны присутствовать модели атмосферы, включающие её турбулентность, математические

выражения, описывающие физические процессы, происходящие в различных системах и элементах БЛА. Математически моделируются происходящие в системах БЛА механические и электрические процессы. Кроме того, в математических моделях функционирования систем БЛА могут присутствовать модели, описывающие газодинамику, пневматику, гидравлику. Значительную часть математических моделей систем управления БЛА занимает моделирование радиотехнических систем и их элементов [1].

В связи со сложностью математического описания всех элементов БЛА синтез управления БЛА необходимо производить поэтапно, начиная с решения наиболее общей задачи и последовательно переходя к решению частных задач. Первоначально целесообразно решать задачу в самом общем виде, постепенно переходя к решению частных задач. [1].

Для исследования полета БЛА по заданной траектории представлена общая математическую модель соответствующей траектории [2]:

$$\begin{aligned} \dot{X}(t) &= A(t)X(t) + B(t)U(t), \\ X(t_0) &= X_0, \end{aligned} \quad (1)$$

При решении данной задачи синтеза управления БЛА, минимизируемый функционал – квадратичный функционал Летова-Калмана [2]:

$$J = X_k^T R X_k + \int_{t_0}^{t_k} [X(t)^T Q(t) X(t) + U(t)^T S(t) U(t)] dt. \quad (2)$$

Рассмотрена задача изменения траектории полета БЛА в вертикальной плоскости. На рис. 1 представлен общий вид траектории полета БЛА [1]:

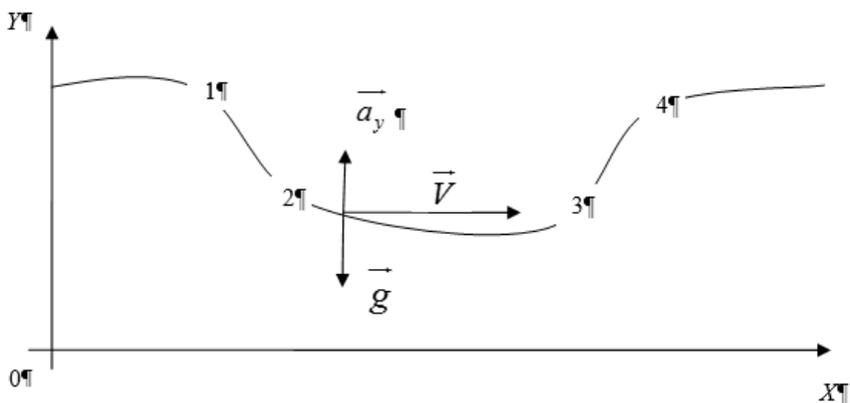


Рис. 1. Траектория полёта БЛА

Проекция оптимального ускорения центра масс БЛА на ось Y при определенных допущениях определяется следующим выражением [1]:

$$a_{yg} = -\frac{4v_{yg}}{t_{ост}} - \frac{6(y_g - y_{gзад})}{(t_{ост})^2} + g. \quad (3)$$

Результат компьютерного моделирования представлен на рис. 2

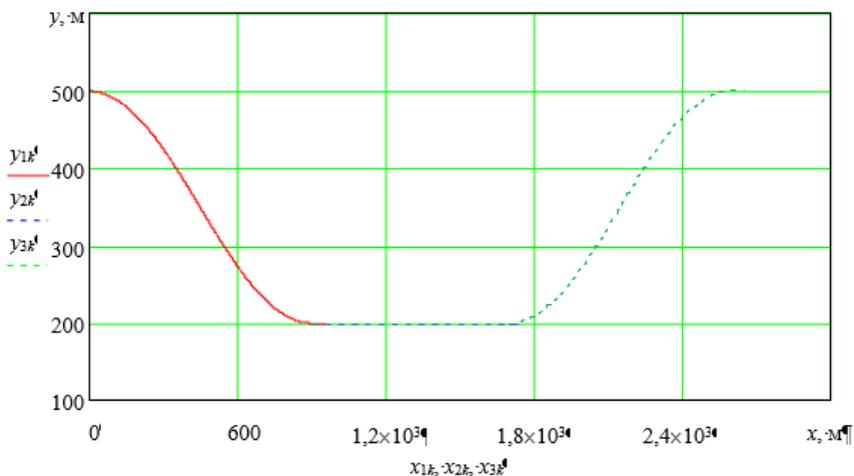


Рис. 2. Результаты моделирования траектории полёта БЛА

Литература

1. Лобатый А.А., Бумай А.Ю. Аналитический синтез управляющего ускорения беспилотного летательного аппарата / А.А. Лобатый, А.Ю. Бумай, С.С. Прохорович // Наука и техника. – 2021. – Т20. – № 3. – С. 215-224.
2. Лобатый А.А., Бумай А.Ю., Ду Ц. Формирование оптимальных параметров траектории пролета беспилотного летательного аппарата через заданные точки пространства / А.А. Лобатый, А.Ю. Бумай, Д. Цзунь // Доклады БГУИР. – 2019. – №7-8(172). – С. 50-57.

УДК 621

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ В МОДЕЛИРОВАНИИ ЛАНДШАФТОВ

Носкова Л.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Одной из задач, стоящих при моделировании сцен открытого пространства, является создание ландшафта. Существуют множество областей, в которых необходимо наличие программного обеспечения, способного создавать реалистичный ландшафт.

Для большинства предметных областей, человеку, занимающемуся созданием ландшафта, необходима возможность точно определить его конечный вид. Существуют два диаметрально противоположных подхода к решению этой задачи – процедурный и декларативный.

Главной задачей при процедурной генерации рельефа является получение матрицы высот, которую можно применить к полигональной решетке. Алгоритм Diamond-Square позволяет реализовать это.

После создания рельефа местности необходимо разделить ландшафт на географические зоны. Определить, где должна быть тундра, где пустыня, а где тропический лес, на какой высоте должен быть уровень моря и т.д. Для достижения этих целей можно воспользоваться картой высот, или, например, расстоянием до водных пространств. Схема работы показана на рисунке 1.



Рис. 1. Схема системы моделирования ландшафтов

Для начала работы алгоритма необходима квадратная матрица высот. На каждой итерации значение S уменьшается вдвое (рисунок 2).

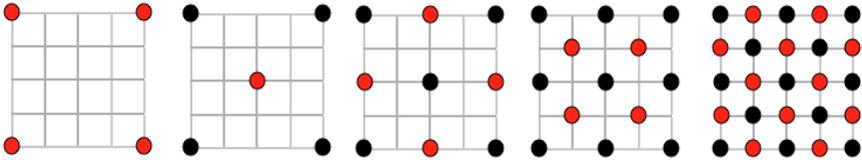


Рис. 2. Алгоритм Diamond-Square, этапы разбиения

Результатом работы алгоритма Square-Square является квадратная матрица высот. Размерность данной матрицы не может быть произвольной, а должна являться членом последовательности чисел.

На рисунке 3 показано влияние параметра r при первом способе вычисления границ диапазона случайного отклонения. Стоит отметить, что не смотря на то, что значение шероховатости может быть указано в диапазоне от 0 до 1, в ходе тестирования алгоритма было выявлено что, рабочий диапазон для первого способа вычисления границ диапазона случайного отклонения условно равен от 0,35 до 0,65.

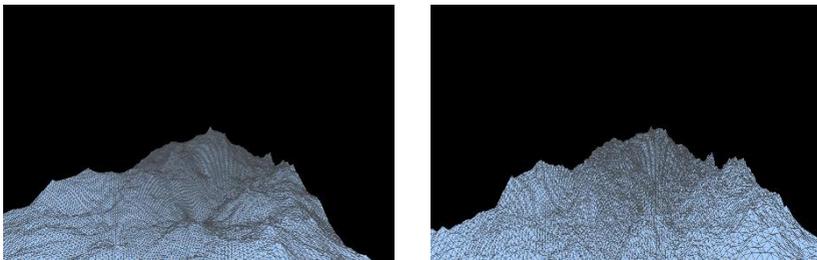


Рис.3. Пример влияния параметра γ на вид полученного рельефа при шероховатости $\gamma=0.37$ и 0.61 .

Стоит отметить, что у такой реализации алгоритма есть определенный недостаток. На полученных рельефах можно заметить нежелательные пики. Они зачастую появляются в точках, высоты которых вычисляются на ранних этапах работы алгоритма.

На рисунке 4 продемонстрировано влияние параметра γ на вид поверхности, полученной с помощью алгоритма Square-Square. Сразу можно отметить улучшение по сравнению с алгоритмом Diamond-Square. Алгоритм дает возможность получить куда более гладкую поверхность.

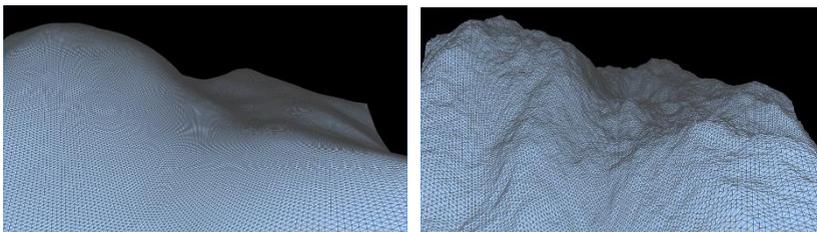


Рис.4. Пример влияния параметра γ на вид полученного рельефа при шероховатости $\gamma=0.63$ и 0.75 .

Третьим шагом была генерация с помощью шума Перлина. На рисунке 5 представлено влияние параметра масштаба на поверхность по этому методу.

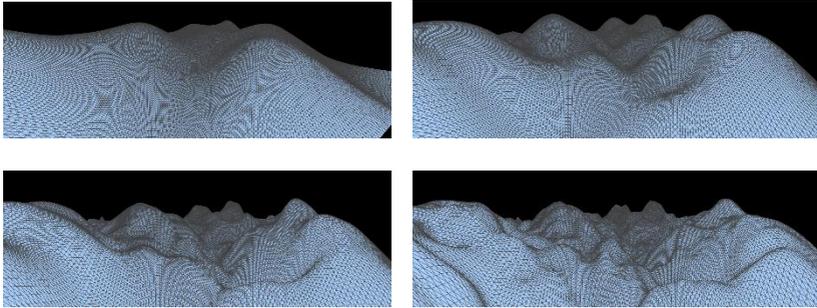


Рис.5. Пример влияния числа октав на моделируемую поверхность. Число октав изменяется от 1 до 4

Шум Перлина представляет собой алгоритм по генерированию процедурной текстуры псевдослучайным методом. Существуют реализации этого алгоритма, где на вход можно подавать как двумерные, так трехмерные вектора. В результате работы этого алгоритма получается значение в диапазоне от -1 до 1. Одним из важных свойств данного шума является то, что при маленьком изменении в вводных данных, происходит маленькое изменение выходных данных.

На рисунке 7 приведен окончательный результат моделирования горных вершин и воды с использованием перспективной проекции и бокового освещения. Сглаживание ребер проведено по методу Гуро.

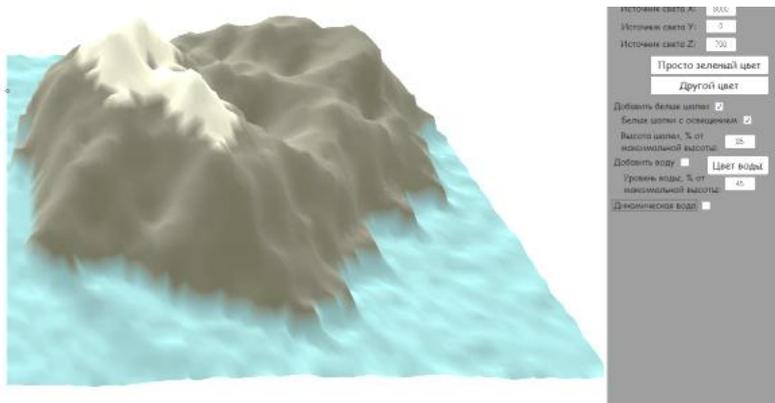


Рис.6. Пример моделирования горных вершин и воды

Литература

1. Сиденко Л.А. Компьютерная графика и геометрической моделирование. – С.П.: Питер, 2009.
2. Роджерс, Д. Математические основы машинной графики / Д. Роджерс, Дж. Адамс – М.: Машиностроение, 1996. – 150 с.

УДК 378.159.9

**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СТУДЕНТОВ
ИТ-СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ КАК ПРЕДИКТОР
ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
МОЛОДОГО СПЕЦИАЛИСТА**

Марченко Л.Н.

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
Подгорная В.В.

Институт механики металлополимерных систем им. В.Белого НАНБ,
Гомель, Беларусь
Певнева А.Н.

Гродненский государственный университет им. Я.Купалы
Гродно, Беларусь

Проблема организации исследовательской деятельности студента вуза является одной из наиболее сложных, сопровождающих процесс трансформации системы современного образования. Сложность заключается в необходимости разработки концептуальных конструкций, которые позволили прогнозировать и повысить эффективность инновационной деятельности, тем самым сформировать образовательную траекторию молодого специалиста. Продуктом инновационной деятельности является разработка новых технологий, а также формирование у обучающихся личностных ресурсов, обусловленных инновационным потенциалом.

Научные исследования на первый план выходит выявление личностных, когнитивных, мотивационных и иных факторов, способствующих эффективному выполнению исследовательской работы [1], то есть выявлению исследовательского потенциала. Исследовательский потенциал (ИП) может служить критерием для оценки готовности человека к исследовательской деятельности, как предиктора инновационной деятельности молодого специалиста. Авторами [2] ИП определен как многомерная разноуровневая система индивидуально-психологических качеств личности, которые в совокупности обеспечивают способность эффективно и

результативно выполнять исследовательскую деятельность, решать исследовательские задачи.

Когнитивный компонент ИП проявляется через чувство дефицита знания, переживание непонимания, непереносимости неопределенности, чувствительности к противоречиям, оригинальности мышления, вариативности выдвигаемых гипотез, умения ставить вопросы, динамической рефлексивности, симультанности, продуктивности мышления [2]. Заметим, для математического мышления неопределенность эвристических ситуаций является стандартной, в преодолении которой и происходит поиск новых знаний. А чувствительность к противоречиям – это необходимый атрибут логического мышления специалиста, часть профессиональной интуиции, которая нарабатывается со временем.

К поведенческому компоненту ИП относят такие личностные особенности, как инициативность, самостоятельность, нетолерантное отношение к неопределенности, критическое отношение к догмам, толерантность к новому [2]. Вместе с тем инициативность и самостоятельность можно и нужно формировать, создавая определенные условия для работы и учебы. При этом математика отличается строгой преемственностью знаний, здесь уместно говорить о расширении области исследования и изучении новых структур.

Формирование компонент ИП личности, как основы инноваций, начинается уже с научно-исследовательской деятельности школьников, раскрывается при обучении в университете, а дальнейшую реализацию получает в профессиональной деятельности. Специалистам в сфере ИТ на протяжении всей профессиональной деятельности приходится получать новые знания, эвристические решения.

Работа выполнена на базе Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины и в ней приводятся результаты изучения исследовательского потенциала студентов ($N = 88$; в возрасте $18,93 \pm 0,79$ лет). В исследовании использовалась методика оценки ИС студента [2] и авторская анкета. Анализ результатов позволил выявить средний уровень показателей ИП у

обучающихся: общий уровень представлен значением $318,52 \pm 45,45$; мотивационный компонент – $71,44 \pm 13,69$; когнитивный – $119,43 \pm 18,44$; поведенческий – $135,97 \pm 23,75$.

С целью анализа способностей к инновациям у студентов 4-го курса факультета математики и технологий программирования – будущих специалистов проведен опрос в виде перечня утверждений, раскрывающих их способности к инновациям. Каждый респондент самостоятельно оценивал, насколько каждое утверждение характерно для него по шкале от 1 до 10, где 1 – полностью не свойственно, 10 – полностью соответствует. Ответы респондентов на некоторые вопросы были распределены следующим образом: 31,25 % оценили в 7 баллов свои намерения решить неординарными способами научную проблему, в 8 и 9 баллов по 12,50 %, что свидетельствует о инновационном подходе студентов к поиску различных путей решений поставленных задач.

Распространенная оценка на утверждение о способности ставить нестандартные вопросы по научной проблеме равна 5 баллам, что говорит о достаточно высоком исследовательском потенциале студентов IT-профиля. Заинтересованность студентов в инновациях и достижениях в науке и технике появляется в высокой оценке утверждения «Мне нравится читать статьи о новых достижениях в науке и технике», которое 68,75 % респондентов оценили в 5 и выше баллов, что характеризует их как стремящихся к инновациям.

Оценка уровня исследовательского потенциала конкретного студента, и, следовательно, его способности к инновационной деятельности с относительной долей условности можно проследить при более глубоком анализе ответов на эти вопросы, которые позволяют увидеть потенциальные возможности и стремление к инновационной деятельности. Следовательно, одной из задач научной деятельности является оказание профессиональной поддержки творческим студентам в повышении уровня исследовательского потенциала, что будет являться предиктором инновационной деятельности.

Литература

1. Бордовская Н. В., Костромина С. Н. Потенциальная и реальная готовность студента к исследованию // Высшее образование в России. 2013. № 10. – С. 125-133.

2. Бордовская Н. В., С. Н. Костромина, С. И. Розум, Н. Л. Москвичева. Исследовательский потенциал студента: содержание конструкта и методика его оценки // Психологический журнал, 2017, том 38, № 2. – С. 89-103.

УДК 378.371.377

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ

Якубович О.В., Марченко Л. Н.

Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины
Гомель, Беларусь

В условиях современного общества одной из важнейших задач является создание перспективной системы образования, способной подготовить конкурентоспособных специалистов. Стремительно развивающиеся информационные технологии предлагают много возможностей для поиска и передачи информации. Средства информационных технологий можно условно поделить на три категории: организационные, коммуникационные и вычислительные, которые определяют цели и задачи их использования. Каждый преподаватель при организации процесса обучения сталкивается с аналогичными задачами. Именно присутствие информационных технологий в образовательном процессе позволили реализовать дистанционную форму обучения, когда возникла необходимость.

Использование информационно-компьютерных технологий при дистанционном обучении требуют особого внимания к организации контроля знаний. Эффективность образования во многом зависит от

правильного сочетания различных форм контроля знаний. Традиционные методы контроля имеют ряд недостатков, например, главная роль отводится преподавателю, проведение экзамена или зачета требует много времени и затрат творческой энергии. Традиционная система контроля знаний подразумевает оценку знаний студента только во время сессии, что не способствует активной и равномерной самостоятельной работе студентов в течение всего семестра. Ко второму курсу большинство студентов начинает понимать, что домашнее задание совсем необязательно выполнять в срок, что можно все сдать в последнюю неделю и «штурмом» заработать зачет и экзамен. В таком случае не только многократно усиливается нагрузка на преподавателя и студента в конце семестра, но и, в конце концов, оборачивается непрочными, «однодневными» знаниями. Таким образом, возникает необходимость в некотором механизме способном повысить мотивацию учебной деятельности студентов, активизировать их учебную работу. Одним из способов решения указанной проблемы является модульно-рейтинговая система.

Модульно-рейтинговая система – система обучения и контроля знаний, предполагающая разбиение всей учебной программы на отдельные относительно тематически-однородные этапы (модули), проведения по итогам модулей контрольных процедур и накопления суммарного балла (рейтинга) на достаточно детализированной шкале. При этом в самом начале обучения преподаватель знакомит студентов с проводимой им системой оценки знаний, в течение семестра «правила» не должны меняться. Использование такой системы в учебном процессе позволяет организовать практически непрерывный контроль за учебной деятельностью студента в рамках изучения дисциплины. В процессе обучения студенты имеют возможность сопоставить результаты своей учебы с результатами товарищей, что позволяет повысить мотивацию познавательной деятельности студентов. При такой системе оценки знаний можно говорить не о принуждении к активности, а о побуждении к ней.

На факультете математики и технологий программирования Гомельского государственного университета имени Франциска

Скорины модульно-рейтинговая система применяется в организации учебного процесса по многим дисциплинам более 20 лет. Опыт работы с такой формой обучения позволил более эффективно реализовать дистанционную форму обучения. В университете при организации учебного процесса в области дистанционных образовательных технологий используются системы Moodle, системы электронного обучения <http://stutor.gsu.by>, система виртуальный университет <http://virtet.gsu.by>, системы дистанционного обучения <http://gsu.by/ru/distance-learning>, <https://dl.gsu.by>, <http://dot.gsu.by>, электронные ресурсы и ЭУМК, размещенные в электронной библиотеке <http://docs.gsu.by> и репозитории <http://elib.gsu.by>. В частности, система DOT (дистанционное обучение и тестирование) на платформе MOODLE активно используется преподавателями не только для комплексной проверки знаний, но и для организации модульно-рейтинговой системы обучения и контроля знаний [1], что способствует повышению качества знаний студентов. Например, проведение тематического online-тестирования позволило активизировать работу студентов и наладить «обратную коммуникационную связь» с преподавателем в условиях «дистанцирования».

Модульно-рейтинговая система служит не только способом оценки уровня и качества знаний и умений студентов, но и выступает методом системного подхода к изучению дисциплины, повышает мотивацию, позволяет в полной мере использовать такие принципы обучения как объективность, единство требований, непрерывность.

Литература

1. Дистанционное обучение и тестирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dot.gsu.by>. – Дата доступа: 05.04.2021.

ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ В ВУЗЕ: ЗА И ПРОТИВ

Слука А.А., Каморникова Т.Я.

Гомельский государственный университет им.Ф. Скорины
Гомель, Беларусь

Онлайн-образование – это формат, при котором весь учебный процесс строится вокруг определенной онлайн-платформы: уроки и задания, тесты и оценки, общение студентов и преподавателя. Сегодня в мире идёт дискуссия: является ли то, чем мы занимаемся сейчас, настоящим онлайн-обучением либо это экстренное дистанционное обучение. Мы согласны со многими экспертами, что это, скорее всего, второй вариант. В большинстве вузов этот переход не был спланирован заранее, продуман и методически обеспечен.

Дистанционное обучение – это «обучение на расстоянии» при помощи Интернета. Нюанс в том, что здесь нет единой платформы или инструмента, который решал бы все задачи. Студентам и педагогам приходится пользоваться сразу несколькими сервисами и средствами связи, а также обычными тетрадями и учебниками. Сам учебный процесс построен примерно так же, как и в обычном режиме, без каких-либо технических новшеств.

Для факультета математики и технологий программирования, учитывая его специфику, дистанционное обучение не ново. Например, первый в РБ сайт дистанционного обучения Distance Learning Belarus, разработанный студентами под руководством Долинского М.С. Более 20 лет здесь обучаются программированию различные категории молодежи – от дошколят до студентов. На этой платформе проводятся областные и факультетские олимпиады, конкурсы по программированию для студентов и школьников региона. Кроме того, факультет активно сотрудничает со многими IT-компаниями в плане подготовки студентов к будущей работе. Многие такие мероприятия проходят в онлайн формате.

В настоящее время имеют место большое количество платформ, позволяющих проводить обучение удаленно: Zoom, Discord и всем

известный Skype. Каждая из этих программ имеет свои особенности использования, свои плюсы и минусы.

Zoom – программа для организации видеоконференций, разработанная компанией Zoom Video Communications. Она предоставляет сервис видеотелефонии, который позволяет подключать одновременно до 100 устройств бесплатно, с 40-минутным ограничением для бесплатных аккаунтов. Программа подходит для индивидуальных и групповых занятий, студенты могут заходить как с компьютера, так и с планшета с телефоном. К видеоконференции может подключиться любой, имеющий ссылку, или идентификатор конференции.

Discord – бесплатный мессенджер с поддержкой VoIP (IP-телефонией) и видеоконференций, изначально ориентированный на пользователей компьютерных игр. Discord – это в некотором роде мессенджер, имеющий средства для эффективного общения больших групп пользователей, в том числе и в корпоративном применении.

Skype – это популярная бесплатная программа-мессенджер для чата, голосовой (VoIP) и видеосвязи. Skype работает через интернет, используя технологию пиринговых сетей, за счет чего в сети могут работать сотни миллионов абонентов. Skype также предоставляет ряд платных функций - для звонков на мобильные и стационарные телефоны, групповой видеосвязи, демонстрации экрана и другие.

Исходя из нашего опыта работы в этих приложениях, приведем сравнительный анализ их характеристик в виде таблицы 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ характеристик

Критерии	Zoom	Discord	Skype
Хорошее качество звука и видео	++	++	+
Бесплатное использование	40 мин	++	+
Лёгкость в использовании	+	+	++
Демонстрация экрана	+	+	+
Интерактивная доска	++	–	–
Сообщения и файлы через чат	+	+	+
Разделение студентов на группы	+	+	–
Подключаемые пользователи	до 100	до 50	до 50
Администрирование	+	+	–

По нашему мнению, критерий «Бесплатное использование» является одним из важнейших, а у бесплатной версии Zoom сессия длится 40 минут затем необходимо подключаться заново, следовательно, придётся потратить не менее 5 минут, чтобы продолжить обучение. Критерий «Разделение студентов на группы» на практике показал себя с наилучшей стороны, поэтому предпочтительно выбирать программы Zoom либо Discord. Skype предпочтительно использовать во время конференций либо лекций. На практике при скорости интернета 100 Мбит/с, без видеосвязи с 20-25 пользователями функция «Демонстрация экрана» в нем зависает, что затрудняет проведение занятий. Таким образом, по нашему мнению, Discord является лучшей программой из рассмотренных выше и обладает удобными возможностями для проведения дистанционного обучения.

Однако, даже учитывая весь накопленный опыт, многие преподаватели и студенты столкнулись с большим количеством проблем на этапе использования ИКТ массово. Во-первых, это отсутствие у ряда не только студентов, но и преподавателей дома современных и надежных аппаратно-технических, программных, коммуникационных средств, компьютеров, ноутбуков, планшетов и высокоскоростных каналов связи. Во-вторых, сложность перехода для некоторых работающих на кафедрах преподавателей старшего поколения и преподавателей не ИТ-предметных направлений, привыкших к работе в системе классического аудиторного образования к полностью сетевой системе ДО. Кроме того, резкий переход к полностью электронному обучению приводит к тому, что нагрузка на профессорско-преподавательский состав при использовании новых технологий резко возрастает. В-третьих, несформированные навыки самостоятельной работы у студентов 1 и 2 курсов, низкая заинтересованность и мотивация ИТ-обучающихся в самостоятельной деятельности.

Вместе с тем, как показал опыт начала перехода на дистанционное обучение, значительная часть студентов воспринимают «дистанционку» как отдых и не появляются на онлайн-занятиях. Это выразилось в том, что к началу летней сессии

часть студентов пришла с нулевыми результатами – лабораторные не выполнены, тесты не сданы.

Но, не смотря на все озвученные минусы, можно с уверенностью сказать, что после пандемии образование, и высшее в том числе, однозначно изменится и часть преподавателей и студентов от этого точно получит удовольствие: можно будет учиться в удобное время, искать образовательные ресурсы по всему Интернету. Смешанное обучение – наше ближайшее будущее. Мы уже не сможем работать по-старому.

УДК 378

УПРАВЛЕНИЕ ПОИСКОМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЧЕРЕЗ ИКТ

Атвиновский А.А., Парукевич И.В.

Гомельский государственный университет им.Ф.Скорины

Гомель, Беларусь

В современной системе образования основной акцент делается на активное использование информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Из всей совокупности проблем, связанных с применением ИКТ в образовании, мы выделили на наш взгляд, наиболее значимую, а именно: проблему познавательной деятельности каждого конкретного студента, связанную с развитием его самостоятельного мышления. Электронные средства обучения, в отличие от традиционного учебника с его линейным построением материала, могут решать поставленную выше проблему современной дидактики достаточно легко и эффективно, используя гипертекстовые технологии. Методически грамотно скомпонованная система ссылок позволяет организовать учебный материал таким образом, чтобы эффективность развивающего характера обучения сохранилась, несмотря на то, что не посредственное общение педагога и обучающегося при этом отсутствует. Для этого необходимо организовать процесс обучения так, чтобы была возможность направлять обучающегося на верное решение предлагаемых задач.

В этой связи речь пойдет о создании формирующих тестов, которые являются самой яркой, видимой частью информационных ресурсов, повышающих эффективность обучения. В дистанционной образовательной технологии чаще всего используются именно последний тип тестов. Поскольку отличительной методической особенностью этой технологии обучения является преобладание самоконтроля обучающегося над контролем знаний со стороны преподавателя, то основную функцию обучения в этом случае должны взять на себя именно формирующие тесты. Такие тесты являются средством управления процессом поиска решения задач, нацелены на оценку степени владения изучаемого материала конкретного раздела, обеспечивают обратную связь преподавателя и обучающегося для последующей корректировки знаний, умений и навыков. Формирующий тест состоит из заданий продуктивного уровня и содержит конкретные инструкции для обучающихся.

Такой подход к составлению теста предполагает, что каждое тестовое задание имеет содержательный блок управление поиском решения этого задания, который можно разбить на три этапа: поиск стратегии решения, поиск тактики решения, поиск операций, необходимых для решения. На первом шаге, как правило, дается теоретический посыл к решению, а следующие шаги являются практическими подсказками или промежуточными действиями.

Авторами была разработана серия тематических тестов формирующего типа для студентов факультета математики и технологий программирования специальности «Математика (научно-педагогическая деятельность)», используемых при изучении таких дисциплин как «Избранные вопросы элементарной математики» и «Методика преподавания математики». Составление тестов было основано на требованиях, предъявляемых к основным видам тестовых заданий [1], которые применяются в обучающих тестах. Минимальные требования к составлению тестовых заданий состоят в наличии всех трех частей: инструкция, текста задания (вопроса), правильного ответа. Для составления теста были использованы задания закрытого типа, которые предусматривают различные варианты ответа на поставленный вопрос, а именно: из ряда предлагаемых ответов выбирается один правильный ответ.

Рассмотрим методику использования такого подхода на следующем примере тестовых заданий.

Задание 1

Упростить выражение:

$$\frac{7^{2x+1} * 2^x}{49^{-x-1} * 14^x * 7^{3x^2}} = \frac{(3^x)^x * 49^{x+1}}{7^{2x-1} * 3^{x^2}}$$

Подсказка 1:

Используя свойства степеней, представим каждое выражение в числителях и знаменателях в виде произведения степеней с основаниями, являющимися простыми числами.

Подсказка 2:

$$\frac{7^{2x+1} * 2^x}{49^{-x-1} * 14^x * 7^{3x^2}} = \frac{7 * 7^{2x} * 2^x}{\frac{1}{49} * 7^{-2x} * 2^x * 7^x * 7^{3x}}$$

Подсказка 3:

$$\frac{(3^x)^x * 49^{x+1}}{7^{2x-1} * 3^{x^2}} = \frac{3^{x^2} * 49 * 7^{2x}}{\frac{1}{7} * 7^{2x} * 3^{x^2}}$$

Разработано WEB-приложение для расширения поля обработки результатов тестирования. Приложение есть сайт, который можно поставить на сервер для предоставления доступа к нему с других устройств или же установить на локальный сервер для использования на одном компьютере, а также на мобильных устройствах.

При запуске приложения в первый раз перед пользователем появляется начальная страница, на которой предлагается ознакомиться с возможностями сайта или же зарегистрироваться перед началом использования. В случае, когда пользователь зарегистрирован, он может сразу войти в приложение, введя свой логин и пароль. Приложение также предусматривает изменение данных аккаунта. Далее, при нажатии на кнопку «Пройти тест» происходит переход на страницу выбора темы тестирования. После выбора темы, перед пользователем появляется тест на данный момент состоящий из десяти задач. Особенностью прохождения теста является возможность вызова подсказки, при этом количество

использованных подсказок влияет на итоговую оценку тестируемого. После завершения теста появляется страница с результатами, которые записываются в базу данных. На этой странице видна оценка каждого выполненного задания, которая напрямую зависит от количества использованных подсказок. Значит, с одной стороны, имеется возможность пользователю просматривать результаты всех своих попыток прохождения теста, а с другой стороны, администратор имеет доступ ко всем результатам испытуемых.

Предлагаемые авторами статьи тематические тесты формирующего характера и WEB-приложение являются качественным инструментом для управления поиском решения задач, что, несомненно, служит методической и технической базой в организации процесса обучения в высшей школе.

Литература

1. Майоров, А.Н. Теория и практика создания тестов для системы образования // Как выбирать, создавать и использовать тесты для целей образования – Москва : Интеллект – центр, 2001. – 296 с.

УДК 004.43

ОСОБЕННОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ WEB-ПРОГРАММИСТОВ

Ружицкая Е.А.

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
Гомель, Беларусь

Web-программирование – один из наиболее востребованных направлений программирования. Основы и технологии разработки web-приложений должен знать любой высококвалифицированный программист. Поэтому на факультете математики и технологий программирования в Гомельском государственном университете

имени Франциска Скорины в список обязательных дисциплин компонента учреждения высшего образования для студентов 2 курса специальностей «Программное обеспечение информационных технологий» и «Информатика и технологии программирования» входит курс «Основы web-технологий».

Дисциплина «Основы web-технологий» изучается в первом и во втором семестрах.

Первый семестр посвящен изучению технологий разработки клиентской части web-приложений: HTML5, CSS3 и новых модулей CSS-разметки FlexBox и Media Queries, а также технологий «адаптивного дизайна». С помощью объектной модели документа (DOM) можно получить доступ ко всем элементам документа. Язык сценариев JavaScript используется для динамического изменения содержимого web-страниц.

Во втором семестре изучаются язык программирования PHP7 и расширяемый язык разметки XML.

Язык серверных скриптов PHP7 позволяют передавать данные с локального компьютера на серверный и создавать интерактивные web-сайты. Именно эти возможности используются для разработки интернет-магазинов, осуществления платежей, поиска и заказа товаров и т. д. Поэтому студенты изучают возможности использования сессий и cookies, регулярных выражений. Данные, передаваемые на сервер, могут сохраняться в файлах или таблицах баз данных. PHP7 использует одну из самых распространенных систем управления реляционными данными, используемой для создания высококачественных коммерческих баз данных MySQL. Кроме того, студенты изучают способы разделения прав доступа к данным, возможности авторизации, регистрации и администрирования пользователей (просмотр, редактирование, удаление, блокировку).

XML предназначен для описания структуры данных, поэтому там, где выполняется ввод/вывод, хранение или передача данных, находится точка потенциального приложения возможностей XML. Вместе со своим языком отображения (XST) и стандартизированной объектной моделью документа (DOM) XML является незаменимой технологией разметки. Для преобразования XML-документов в

любой текстовый формат предназначен расширяемый язык таблиц стилей для преобразований XSLT.

Для изучения нового материала и контроля знаний применяются информационные технологии. При чтении лекций используются мультимедийные технологии, позволяющие продемонстрировать работу приложений, проанализировать программный код и показать способы отладки и тестирования программ. Для контроля знаний студентов используется система дистанционного тестирования dot3.gsu.by [1]. Разработана база данных, содержащая по 300 вопросов для первого и второго семестров. Для тестирования автоматически формируется тестовое задание, содержащее 50 вопросов открытого и закрытого типов.

Результаты тестирования студентов отправляются в IT-компанию, с которыми сотрудничает кафедра, и учитываются при заключении договоров для прохождения производственной практики, трудоустройстве и выборе направления работы в IT-индустрии.

Программа подготовки web-программистов согласовывается с ведущими специалистами IT-компаний, регулярно пересматривается и дополняется, то есть студенты получают те знания, которые необходимы в данный момент, чтобы сразу после окончания университета приступить к работе на реальных проектах.

Литература

1. Дистанционное обучение и тестирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dot3.gsu.by/>. – Дата доступа: 18.03.2021.

УДК 378

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ В УСЛОВИЯХ УДАЛЕННОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Федосенко Е. А.

Гомельский государственный университет им.Ф. Скорины

г. Гомель, Беларусь

Жукова А. А.

Гомельский государственный медицинский университет

Гомель, Беларусь

При реализации дистанционной формы обучения в высшей школе не должна исключаться возможность получения обучающимися вполне доступного и качественного образования. Использование информационных технологий мотивирует студентов к более глубокому погружению в учебный материал. Преподаватель же за счет некоторой экономии учебного времени получает возможность оптимизировать способ подачи материала. Однако, с вынужденным переходом на удаленную форму обучения, выявились недостатки, связанные с системой организации дистанционного обучения.

Дистанционное обучение в настоящее время все шире распространяется в вузовской среде. Оно становится все более эффективным благодаря своей технологичности, использованию современных программных и технических средств, в итоге передаваемая информация представляется студенту яркой и динамичной, что стимулирует его проявлять познавательную активность и мотивирует учебную деятельность [1].

Активное применение в образовании средств информационных и коммуникационных технологий в настоящее время значительно опережает возможности как преподавателей, так и студентов по их эффективному использованию, особенно по рациональному наполнению содержательной информацией.

Дистанционное обучение требует от учащегося большой силы воли и жесткой самодисциплины. Преподавателю не всегда удастся проследить участие каждого студента во время удаленного занятия, его активность в выполнении учебного задания,

самостоятельность учебной деятельности. Постоянный контроль со стороны преподавателя в данном случае отсутствует. Преподаватель видит лишь результат, представленный студентом, и не может отследить процесс выполнения задания [2].

Наиболее удобной формой дистанционного итогового и рубежного контроля признано тестирование. Тестирование является одной из наиболее объективных форм контроля качества знаний учащихся. Однако, необходимо учитывать, что сами тестовые задания создавались в условиях ограниченности времени и, зачастую, качество содержания тестовых заданий, надежность результатов тестирования, уровень обработки результатов не отвечают требованиям высшей школы и нуждаются в существенной доработке. Говорить о высокой надежности результатов определения уровня знаний с помощью тестов не позволяет пока значительная погрешность измерения тестовых результатов, а так же отсутствие использования современной теории обработки тестовых материалов с применением вычислительной техники [3].

Оценить познавательную активность студента при групповых занятиях, например, в формате вебинара, телеконференции или другой форме удаленного общения можно по следующим критериям: активность в ходе занятия; количеству правильных ответов на вопросы преподавателя; ориентации в изучаемом материале; аргументации при изложении своей точки зрения; владение терминологией и т.д. Активизировать работу студентов во время удаленного занятия возможно используя письменные чаты.

Значительная часть учебной деятельности студента при дистанционной форме обучения приходится на самостоятельное изучение учебного материала. Важной составляющей самостоятельного обучения является работа с обучающими компьютерными программами, тестирующими системами, информационными базами данных.

Степень самостоятельности выполнения задания и уровень усвоения материала можно эффективно оценить с помощью заранее подготовленных простых логических или ситуационных задач, решение которых не требует больших затрат времени и тем не менее, свидетельствует о том, что студент понял изучаемый

материал. На решение такой задачи отводиться в конце занятия две-три минуты, ответы и решение задачи каждый студент должен написать в чате.

При разработке методических материалов для самостоятельной удаленной работы студентов можно использовать задания с элементами контроля знаний. После изучения определенного раздела изучаемой темы, студенту предлагается ответить на контрольные вопросы по теме, решить задачи или выполнить другие контрольные задания, которые позволят оценить уровень усвоения ими данной темы. И только после успешного прохождения контроля можно открыть следующий раздел или тему изучаемого материала.

Для организации любой модели дистанционного обучения и реализации передовых современных форм контроля учебной деятельности необходимо обеспечение интерактивности. Поддержка внеаудиторного учебного процесса может осуществляться различными электронными средствами связи от телефона до цифрового видео. При этом преподаватель должен организовать, стимулировать и контролировать самостоятельное обучение студента управлять и руководить его учебной деятельностью.

Сведения, получаемые в результате применения различных форм и методов контроля знаний, на конечном этапе анализируются преподавателем и позволяют получить материал, на основе которого можно в дальнейшем разрабатывать новые методические подходы для организации эффективного учебного процесса в вузе.

Литература

1. Рулиене Л.Н. Дистанционное обучение: сущность, проблемы, перспективы. – Улан-Удэ: Издательство Бурятского госуниверситета, 2010. – 272 с.

2. Фертикова, Д. О. Преимущества и недостатки дистанционного обучения / Д. О. Фертикова. // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2017. – 11. – С. 40-42.

3. Раззаков, Ш. И. Контроль знаний в системе дистанционного обучения / Ш. И. Раззаков, У. З. Нарзиев, Р. Б. Рахимов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2014. — № 7 (66). — С. 70-73. — URL: <https://moluch.ru/archive/66/10934/> (дата обращения: 02.03.2021).

УДК 681.5(076.5)

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДЕЛИ
ИНЕРЦИОННОГО УЧАСТКА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ
ПАРОВОГО КОТЛА ПО МОДЕЛЯМ ГЛАВНОГО
И ОПЕРЕЖАЮЩЕГО УЧАСТКОВ**

Кулаков Г.Т.¹, Кулаков А.Т.¹, Кравченко В.В.¹, Ковалев В.А.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный аграрный технический
университет

Минск, Беларусь

Для расчета параметров оптимальной динамической настройки двухконтурных систем автоматического регулирования температуры перегретого пара паровых котлов необходимо иметь передаточные функции опережающего и инерционного участков пароперегревателя при скачкообразном возмущении впрыском. Вместе с тем экспериментально обычно определяют переходные характеристики опережающего и главного участков пароперегревателя, а динамику инерционного участка определяют графическим путем, что снижает точность идентификации инерционного участка и увеличивает трудозатраты. Для устранения этого недостатка разработан экспресс-метод идентификации инерционного участка пароперегревателя по экспериментальным переходным характеристикам опережающего и главного участков.

Для расчета параметров оптимальной динамической настройки типовой двухконтурной автоматической системы регулирования температуры перегретого пара паровых котлов необходимо знать динамику опережающего и инерционного участков

пароперегревателя [1-5]. Однако, экспериментально можно получить только переходные характеристики по температуре пара за впрыском (опережающий участок) и на выходе пароперегревателя (главный участок) при возмущении расходом воды на впрыск.

При экспериментальном определении динамических характеристик объекта регулирования (опережающего и главного участков) нахождение параметров передаточной функции опережающего участка ($K_{оп}$, $T_{оп}$ и $\tau_{оп}$) не вызывает трудностей, так как на вход участка подается скачок регулирующего воздействия. Сложнее находят параметры передаточной функции инерционного участка ($K_{ин}$, $T_{ин}$ и $\tau_{ин}$), необходимые для расчёта параметров динамической настройки САР, поскольку экспериментально невозможно получить переходную характеристику инерционного участка $\theta_{ин}(t)$, т.к. на вход инерционного участка подается сигнал соответствующий переходной характеристике опережающего участка, а не скачек.

Обычно при расчетах переходную характеристику инерционного участка определяют по переходным характеристикам главного $\theta_{гл}(t)$ и опережающего $\theta_{оп}(t)$ участков [3]. Таким образом, вначале, экспериментально определяют переходную характеристику главного участка пароперегревателя, динамика которого описывается как произведение передаточных функций опережающего и инерционного участков пароперегревателя. Переходную характеристику инерционного участка определяют графически путем через переходные характеристики главного и опережающего участков [1], что снижает точность его идентификации и увеличивает трудозатраты. Для устранения этих недостатков предлагается следующий метод определения динамики инерционного участка по динамике опережающего и главного участков пароперегревателя.

Модель главного участка аппроксимируется по методу БНТУ [6] по переходной характеристике передаточной функцией вида:

$$W_{гл}(p) = \frac{K_{гл} e^{-\tau p}}{(T_{гл} p + 1)(\delta_{гл} p + 1)}. \quad (1)$$

Известно, что достоверно определить постоянные времени для моделей в виде инерционных звеньев третьего порядка и выше по экспериментальным переходным характеристикам практически невозможно, поэтому модель главного участка (1) представлена инерционным звеном второго порядка, следовательно, модели опережающего и инерционного участков можно принять в виде инерционных звеньев первого порядка, т.е.

$$W_{оп}(p) = \frac{K_{оп}}{T_{оп}p + 1}, \quad (2)$$

$$W_{ин}(p) = \frac{K_{ин}e^{-\tau}}{T_{ин}p + 1}. \quad (3)$$

С учетом передаточных функций (2) и (3) передаточная функция главного участка (1) примет вид:

$$W_{гл}(p) = \frac{K_{гл}e^{-\tau}}{(T_{гл}p + 1)(\delta_{гл}p + 1)} = \frac{K_{оп}K_{ин}e^{-\tau}}{(T_{оп}p + 1)(T_{ин}p + 1)}. \quad (4)$$

Поскольку передаточная функция опережающего участка (2) известна, то искомый коэффициент передачи инерционного участка $K_{ин}$ будет равен:

$$K_{ин} = \frac{K_{гл}}{K_{оп}}. \quad (5)$$

Искомая постоянная времени $T_{ин}$ с учетом передаточных функций (1) и (2) рассчитывается по формуле:

$$T_{ин} = (T_{гл} + \delta_{гл}) - T_{оп}. \quad (6)$$

В нашем примере передаточные функции главного и опережающего участков:

$$W_{гл}(p) = \frac{K_{гл}e^{-\tau}}{(T_{гл}p + 1)(\delta_{гл}p + 1)} = \frac{0,65e^{-49,5p}}{(158,5p + 1)(29,5p + 1)}, \quad (7)$$

$$W_{оп}(p) = \frac{K_{оп}}{(T_{оп}p + 1)(\delta_{оп}p + 1)} = \frac{10}{(42p + 1)(4,5p + 1)}. \quad (8)$$

Следовательно, с учетом формул (5) и (6) искомые параметры передаточной функции модели инерционного участка равны:

$$T_{ин} = (T_{гп} + \delta_{гп}) - (T_{оп} + \delta_{оп}) = (158,5 + 29,5) - (42 + 4,5) = 141,5 \text{ с.} \quad (9)$$

$$K_{ин} = \frac{K_{гп}}{K_{оп}} = \frac{6,5}{10} = 0,65. \quad (10)$$

Таким образом, искомая передаточная функция упрощенного инерционного участка пароперегревателя примет вид:

$$W_{ин}(p) = \frac{K_{ин} e^{-\tau p}}{T_{ин} p + 1} = \frac{0,65 e^{-49,5 p}}{141,5 p + 1}. \quad (11)$$

Сравним переходные характеристики главного участка по модели (7), модели объекта в виде последовательно включенных передаточных функций опережающего (8) и выделенного инерционного (11) участков и модели объекта в виде последовательно включенных передаточных функций упрощенного опережающего (2) и выделенного инерционного участков (11).

Схемы моделирования переходных характеристик главного участка пароперегревателя для трех перечисленных способов его аппроксимации в виде передаточных функций приведены на рисунке 1.

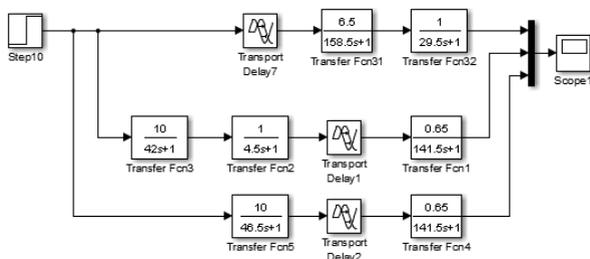


Рис.1. Схема моделирования переходных характеристик главного участка пароперегревателя для трех различных видов его моделей

Переходные характеристики полной модели главного участка (1), в виде последовательно включенных полных моделей опережающего (8) и упрощенного инерционного участков объекта (11), а также главного участка в виде упрощенных моделей опережающего (2) и инерционного (11) участков приведены на рисунке 2.

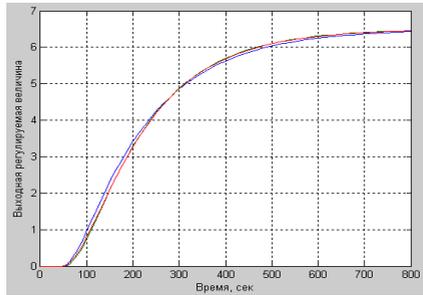


Рис. 2. Графики переходных характеристик главного участка пароперегревателя для трех различных видов его моделей

Видно, что графики переходных характеристик трех способов описания динамики главного участка пароперегревателя практически совпадают. Это подтверждает возможность использования упрощенной передаточной функции инерционного участка в виде инерционного звена первого порядка с запаздыванием, параметры которого рассчитывают по формулам (9) и (10) по исходной динамике главного и опережающего участков пароперегревателя.

Литература

1. Стефани, Е.П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов / Е.П. Стефани. – М.: Энергия, 1972. – 372 с.
2. Ротач, В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования / В.Я. Ротач. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 344 с.
3. Ключев, А.С. Наладка систем автоматического регулирования барабанных котлов / А.С. Ключев, А.Т. Лебедев, С.И. Новиков. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 280 с.
4. Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического управления: учебник / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Минск: БГТУ, 2010. – 574 с.
5. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учеб. пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 238 с.

6. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования: учеб. пособие / Г.Т. Кулаков. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 135 с.

УДК 378.147.88

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ НА КАФЕДРЕ «РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»

Околов А.Р., Заярный В.П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Цифровизация образования или цифровая педагогика - это не просто полная компьютеризация образовательного процесса, а всестороннее использование современных информационных технологий во всех сферах деятельности вуза, основной целью которых является подготовка современных, творчески мыслящих, высококвалифицированных специалистов.

На кафедре «Робототехнические системы» ФИТР БНТУ в 4-х аудиториях активно используются цифровые устройства обучения, такие как интерактивные доски, электронные проекторы или ЖКИ панели, подключенные к компьютеру и интернету. Это позволяет повысить качество и объем методического материала, представляемого как в форме презентаций, так и формах, используемых в технологиях дистанционного образования [1]. Каждый год подготавливаются ЭУМК по нескольким учебным дисциплинам, что, вместе с развитием депозитария библиотеки БНТУ, является существенным информационным источником для студентов. Появляются широкие возможности по использованию облачных платформ [2].

Установка в аудиториях точек Wi-fi доступа позволила организовать онлайн-обучение в форме вебинаров, видеоконференций, научных диспутов и дискуссий и значительно повысить активность студентов.

Цифровизация лабораторий оказалась наиболее актуальной в нынешних условиях удаленного обучения, т.к. позволила разделять

потоки на несколько аудиторий, облегчить и сделать более эффективной дистанционную работу преподавателей с использованием современных онлайн платформ непосредственно со своего рабочего места.

Литература

1. Околов А.Р. Использование педагогических технологий дистанционного обучения в системе очного образования: Материалы XI международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике», том 1, Минск 2013, - с. 264

2. Околов А.Р. Применение облачных вычислений в системе образования: Материалы XIII международной научно-технической конференции БНТУ «Наука - образованию, производству, экономике», том 1, Минск 2015.- с.227.

УДК 621.311

КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ АСКУЭ

Гутич И.И., Матрунчик Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Для достижения точного и оперативного контроля и учета производства и потребления энергии, энергосистема Беларуси ориентирована на разработку и внедрение высоких технологий, включая разработку аппаратно-программных комплексов, автоматизированных систем и программных продуктов.

Web-приложение «Софит Сбор» является клиент-серверным приложением, в котором клиент взаимодействует с автоматизированной системой учета энергопотребления при помощи браузера.

Для реализации клиентской части выбран фреймворк Angular. Преимуществами Angular является наличие cli системы, typescript, компонентный подход, наличие RxJS, модульность и Dependency Injection. В качестве back-end части выбран NodeJS.

Преимуществами NodeJS являются богатая стандартная библиотека, огромное наличие внешних библиотек и готовых модулей, быстрый движок V8 JavaScript.

Для реализации серверной части используется реляционная база данных MySQL. Преимуществами MySQL являются различные механизмы хранения данных, наличие возможности резервного копирования данных, наличие транзакций, возможность горизонтального и вертикального масштабирования, возможность создание реплик, развитые команды для работы с типом данных JSON, хранение бизнес логики системы внутри базы данных, при помощи написания хранимых процедур.

Система «Софит Сбор» содержит следующие основные программные модули.

Модуль конфигурирования отчетов предназначен для создания автоматизированных отчетов. Здесь описывается вся логика расчета данных, которые в дальнейшем будут предоставлены пользователю. Для создания отчетов используется язык запросов SQL.

Модуль генерирования отчетов предназначен для формирования отчетов и импортирования их в Excel файл.

Модуль «Баланс» предназначен для построения таблицы баланса по определенному объекту в реальном времени. Модуль поддерживает учет внутреннего потребления счетчиков, рассчитывает потребление энергии за выбранный месяц по установленному тарифу по всем потребителям и по общему вводу.

Модуль администрирования предназначен для создания пользовательских деревьев объекта, по которым осуществляется работа всей системы.

Модуль графического отображения данных служит для построения графиков по выбранным точкам для определенного канала передачи данных за определенный интервал времени.

Бизнес логика приложения – это система бизнес-правил, описывающих поведение объектов и процессов предметной области, а также представляющая эти процессы в информационных системах. Бизнес-логика определяет методы и алгоритмы анализа данных, а также способы передачи его результатов пользователям.

Вся бизнес логика «Софит Сбор» реализована на процедурном языке программирования SQL/PSM. Бизнес логика описана в хранимых процедурах базы данных MySQL.

Данная бизнес логика реализует следующие задачи:

- прием, обработка и запись данных в базу данных;
- реализация алгоритмов вычисления данных;
- осуществление контроля качества поступающих данных;
- проверка прав доступа к данным;
- синхронизация систем;
- реализация фоновых и расчетных задач.

Информационное обеспечение «Софит Сбор» состоит из:

- базы данных MySQL8 обеспечивающей хранение результатов измерений с объектов и средств измерений, конфигурационной информации, необходимой для функционирования системы, журналов событий, журнала работы системы и другой необходимой информации;
- программа сбора информации, сохранения в базе данных информации результатов измерений с объектов и средств измерения, предоставления внешним системам и формирования информации для аудита;
- информационного обеспечения, создающего формы предоставления информации пользователям и обслуживающему персоналу;
- База данных содержит основные информационные массивы:
- оперативные входные и выходные данные числовых результатов измерения;
- вычисляемые данные числовых результатов измерения и событий;
- архивные данные числовых результатов измерений.

УДК 621.313

АКТИВНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ТОКОВ УТЕЧКИ НА ЗЕМЛЮ В КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Дубинин С.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Снижение токов утечки на землю путем компенсации емкостной составляющей проводимости трехфазной электрической сети относительно земли является эффективным способом защиты человека от поражения электрическим током, что особенно актуально для сетей, содержащих преобразовательную технику [1].

Одним из способов реализации компенсации емкостной составляющей утечки тока на землю является использование конвертора отрицательного сопротивления (КОС), подключенного между фазами электрической сети и землей (рис. 1).

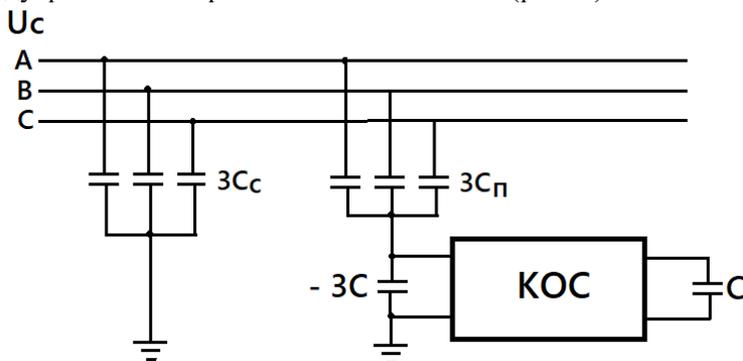


Рис.1. Подключение КОС к фазам электрической сети

Реализация КОС возможна на основе высоковольтного дифференциального усилителя.

На рис.2 приведены варианты реализации КОС. Из схемы рис.2а следует, что:

$$V_0 = \frac{R_1 + R_2}{R_2} V_t = A_{Vr} V_t; \quad V_S = V_{S1} - V_e; \quad I_e = -\frac{V_S}{Z_L},$$

следовательно, $Y_e = \frac{1}{Z_L} (1 - A_{Vr})$ и $Z_e = \frac{Z_L}{K_{ne}}$, где $K_{ne} = 1 - A_{Vr}$,

A_{Vr} – коэффициент усиления замкнутого усилителя. Таким образом, на базе КОС можно легко получить двухполюсник с проводимостью равной $1/X = -\omega C$, подключив в качестве Z_L емкость C .

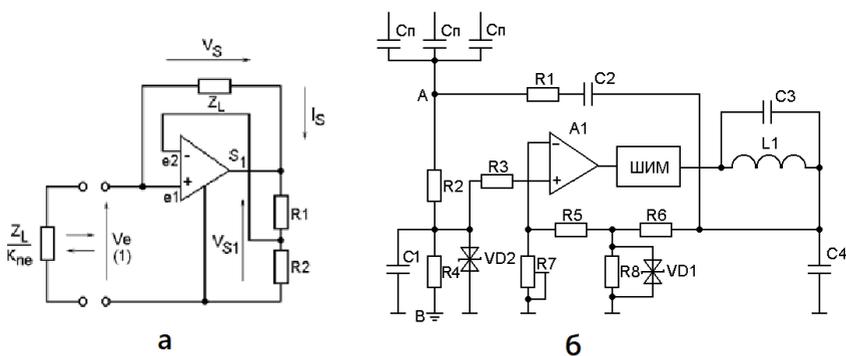


Рис.2. Варианты реализации КОС

Схемная реализация КОС содержит конденсаторы присоединения C_p , конвертор сопротивления, реализующий функцию отрицательной емкости на дифференциальном усилителе $A1$, широтно-импульсный модулятор ШИМ в качестве высоковольтного каскада, фильтр $L1$, $C3$ (рис.2б). Применение данного КОС в отличие от дроссельных компенсаторов позволяет эффективно снижать емкостную составляющую тока утечки на землю в широкой полосе частот, что важно при наличии преобразователя частоты в составе электрической сети. Однако, системы защиты человека от поражения электрическим током производят защитное отключение при достижении тока утечки на землю величины около 25 мА. Это значение превышает величину

неотпускающего тока [2], что не позволяет человеку самостоятельно освободиться от поражающего фактора. Снижение порога срабатывания может приводить к недопустимому возрастанию количества ложных отключений электрической сети.

В связи с изложенным, проведено исследование возможности компенсации не только емкостной, но и активной составляющей тока утечки на землю при помощи компьютерной модели электрической сети (рис. 2.3).

УДК 62.519

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ ГОРОДСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО АУДИТА

Синицын А.В., Лившиц Ю.Е.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Городская система водоснабжения обеспечивает добычу воды и ее доставку потребителям с заданными технологическими параметрами по химическому составу и требуемому давлению. Она состоит из большого количества насосных станций, распределенных на значительной территории и отличается существенной энергоемкостью технологического процесса. Для оценки потенциала повышения ее эффективности была разработана методика проведения инструментальных замеров технологических параметров работы (аудита) системы водоснабжения, на основании которой выполняются следующие виды анализа и расчетов.

1. Аспекты энергосбережения:

- анализ оптимальности режимов водоснабжения;
- анализ эффективности задействованного состава агрегатов насосной группы;
- анализ потенциала от замены насосного оборудования.

2. Аспекты оценки состояния насосного оборудования и водопроводной сети:

- оценка уровня износа рабочего колеса насосных агрегатов;
- оценка состояния и режимов работы насосного оборудования;
- оценка потерь давления на водоводах станции;
- выявление аномалий на сетях.

Однако проведение инструментального аудита на всех объектах города – это очень трудоемкая задача. Поэтому было предложено проведение аудита на одном или нескольких типовых объектах с последующей экстраполяцией результатов на всю систему с учетом критериев сопоставимости.

Корректный выбор типового объекта обеспечивает достоверность получения оценки потенциала энергосбережения. Типовой объект должен соответствовать следующим признакам.

1. Гидравлическая схема объекта должна быть аналогична большинству применяемым в данной системе водоснабжения.

2. Модельный ряд, количество и состояние насосных агрегатов на объекте – аналогичны большинству применяемым в данной системе водоснабжения.

3. Насосная станция должна работать на сформировавшуюся застройку.

4. На станции установлены центробежные насосные агрегаты мощностью до 300 кВт и напряжением питания 380 В.

5. В зоне влияния станции должны быть определены точки контроля давления.

Соответствие исследуемого объекта критериям типового в случае муниципального водоснабжения помогает экстраполировать результаты аудита на другие схожие объекты системы и даже на всю водопроводную сеть. Экстраполяция осуществляется исходя из следующих результатов аудита.

Результат анализа исследуемого объекта:

- минимальное достижимое удельное энергопотребление для данного объекта;
- фактическое удельное энергопотребление объекта;
- величина экономии на объекте аудита.

Параметры исследованной сети:

- структура и количество аналогичных объектов;
- соотношение режимов исследованного объекта с усредненными параметрами остальных объектов сети.

Важной особенностью предлагаемого подхода является не только оценка потенциала повышения эффективности в ходе аудита, но и разработка методики оценки величины полученного после модернизации эффекта. Она базируется на принципах, изложенных в [1] и [2] и на определении критериев сопоставимости условий, к которым относятся:

- выход за диапазон расходов, регистрируемых на этапе аудита, (обусловленные сезонностью, увеличением зоны обслуживания и т.п.);
- изменения на внешних сетях, приводящие к изменению их гидравлического сопротивления;
- замена насосов.

Таким образом, предложен комплексный подход к оценке потенциала повышения эффективности систем водоснабжения, охватывающий проведение аудита, экстраполяцию его результатов и последующую объективную оценку результатов внедрения.

Литература

1. International Performance Measurement and Verification Protocol. Concepts and options for determining energy and water savings Volume 1. Efficiency Valuation Organization. www.evo-world.org
2. ГОСТ Р 56743-2015 Измерение и верификация энергетической эффективности. Общие положения по определению экономии энергетически ресурсов. М.: Стандартинформ, 2016.

УДК 621.91:658.512:004.942

ИНТЕГРАЦИЯ РАЗНОРОДНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Новичихин Р.В., Журавлёва Е.Р.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Любая производственная система (участок, линия, цех), особенно автоматизированная и роботизированная является сложным и уникальным объектом. Для анализа таких систем требуется одновременно несколько моделей. Вид и состав моделей меняются в зависимости от объекта, задач и этапа анализа. Приходится каждый раз заново переделывать программное обеспечение для интеграции моделей и организации их взаимодействия.

Целью проекта является экономия времени, средств и квалифицированного труда при разработке программного обеспечения для моделирования производственных систем.

Ожидаемым конечным результатом проекта является универсальная программная среда, которая без дополнительного программирования (без написания кода):

- а) настраивается на объект;
- б) интегрирует требуемые модели произвольного состава и функций;
- в) автоматически управляет согласованными запусками моделей и обменом данных между ними;
- г) определяет, что взаимное уточнение моделей завершено, останавливает итерации моделирования и обобщает результаты.

Основная идея заключается в следующем. В моделирующем программном обеспечении требуется совместить два противоречивых свойства – универсальность и автоматизм. Мы

обратили внимание, что схожая задача успешно решается в другой предметной области – в программных средах для разработки экспертных систем (ЭС). Предлагается применить принципы построения и функционирования ЭС к моделирующему программному обеспечению.

Суть предлагаемого подхода заключается в следующем. Берем «пустую» оболочку ЭС производственного типа с представлением знаний в виде правил. Структура правила: условия (антецеденты) => действия (консеквенты). Считаем, что знания о системе заключены в моделях. Каждую модель будем рассматривать как одно «большое» правило, «втиснутое» в унифицированный программный модуль-шаблон. Совокупность моделей даст ЭС, заполненную знаниями о системе.

УДК 621.31.83.52

УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Опейко О.Ф.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Системы векторного управления с датчиками скорости позволяют достичь наилучших показателей динамики и точности обработки положения и скорости электроприводами. Как правило, используется инкрементальный датчик положения (энкодер), по сигналу которого скорость рассчитывается дифференцированием положения. При низких скоростях, ввиду увеличения интервала времени между импульсами датчика, запаздывание определения скорости и погрешность увеличиваются. Возможны сбои датчика, что снижает надежность системы.

Системы векторного управления без датчиков скорости применяются для привода механизмов, где установка датчиков скорости затруднена или значительно снижает надежность системы в целом. По этой причине во многих промышленных и

транспортных механизмах перспективно управление без датчика скорости [1].

Вычислительный метод получения информации о состоянии объекта имеет преимущества перед аппаратным методом: это гибкость и меньшие аппаратные затраты. В то же время для определения скорости на основании известных значений тока и напряжения необходимо знание параметров электромагнитной схемы замещения электродвигателя, которые подвержены изменениям в процессе функционирования, что является причиной погрешностей в определении скорости.

Система векторного управления электроприводом без датчика скорости содержит адаптивный наблюдатель для вычисления скорости на основании информации о токе и напряжении обмоток статора. Такая система, как правило, имеет меньшее быстродействие и точность, чем при наличии датчика скорости, но ввиду отсутствия в ней механического датчика, улучшается надежность и уменьшаются затраты.

Перспективным направлением является одновременное использование в системе электропривода двух каналов обратной связи по скорости: от инкрементального датчика положения с дифференцированием положения для расчета скорости и от адаптивной настраиваемой модели. В электроприводах, где желательна надежность и безотказность, предусматривают возможность переключения управления с одного канала на другой [1]. Структура системы с переключаемым каналом обратной связи по скорости представлена на рисунке 1.

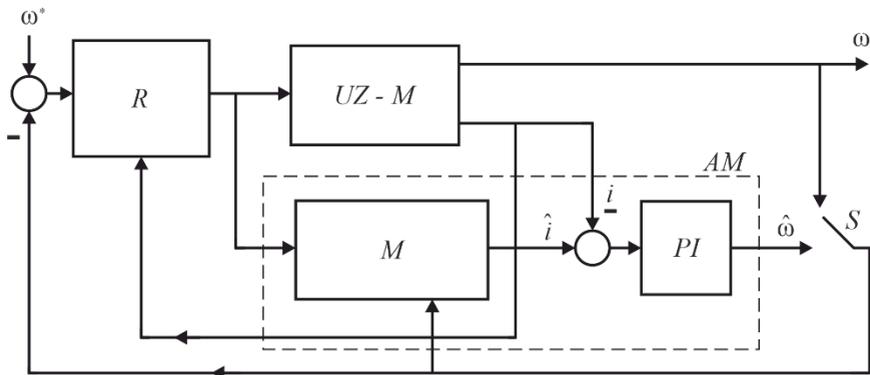


Рис. 1. Структура системы с настраиваемой моделью и переключаемой обратной связью по скорости

Принцип действия системы состоит в следующем. Если канал определения скорости по сигналу энкодера исправен, он используется для обратной связи по скорости. Если диагностирована неисправность, выполняется переключение по логическому сигналу о сбое в энкодере на определение скорости от адаптивной настраиваемой модели. На рисунке 1 показано, что на вход регулятора R поступает разность сигнала ω^* задания скорости и сигнала обратной связи по скорости ω от энкодера либо $\hat{\omega}$ от адаптивной модели AM в зависимости от положения переключателя S .

На вход пропорционально-интегрирующего звена PI адаптивной модели AM поступает разность сигналов тока i статора электродвигателя и расчетного значения \hat{i} тока модели M электромагнитных процессов. На схеме $UZ-M$ – подсистема преобразователь-двигатель. На выходе AM формируется сигнал $\hat{\omega}$ рассчитанной скорости.

Динамические свойства каналов определения скорости различны, что приводит к изменению динамических свойств системы в результате переключения S . Следовательно, регулятор скорости в рассматриваемой системе либо должен иметь переключаемую структуру для каждого варианта обратной связи, либо должен обладать робастными свойствами, позволяющими

сохранять динамические свойства в допустимых пределах независимо от источника обратной связи по скорости.

В системе применен ПИ-регулятор скорости, рассчитанный из условий устойчивости и качества системы с адаптивной моделью расчета скорости, обладающий робастными свойствами.

Для анализа системы разработана имитационная модель векторного управления электроприводом с асинхронным электродвигателем с двумя каналами определения скорости.

Имитационное моделирование системы векторного управления электроприводом с энкодером и с каналом расчета скорости показывает, что ПИ-регулятор скорости, рассчитанный для системы векторного управления без датчика скорости, позволяет сохранить динамические свойства системы при переключениях в канале обратной связи по скорости [2].

Литература

1. Gaeid K.S. Sensor and Sensorless Fault Tolerant Control for Induction Motors Using a Wavelet Index / K.S, Gaeid, H.W. Ping, M. Khalid, A. Masaoud // Sensors 2012, 12, p. 4031–4050.

2. Разработка эффективных моделей и методов робастного управления в мехатронных системах, задание 1.3.13 «Разработка эффективных моделей и методов робастного и интеллектуального управления в сложных мехатронных системах [электронный ресурс]: отчет о НИР (заключ.) / БНТУ; рук. Опейко О.Ф.; исполн. Нитиевский С.А., Жарко Д.Н., Цыбульский П.С. – Мн., 2020. – 76 с. – Библиогр.: с. 38–40. – № ГР 20191231.

ТЯГОВЫЕ ИНВЕРТОРЫ СОВРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Миронович А.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Электромобили постепенно занимают рынки автомобилей, поскольку все больше автопроизводителей заявляют о планах разработки электрифицированных моделей с целью повышения экономии топлива, конкурентоспособности, поскольку запросы потребителей смещаются в сторону эффективных, чистых транспортных средств. К ним относятся гибридные электромобили (*HEV*), подзаряжаемые от электросети гибридные электромобили (*PHEV*), чистые (батарейные) электромобили (*BEV*) и автомобили на топливных элементах.

Главным элементом всех электрифицированных силовых агрегатов является одна или несколько электрических машин (*EM*), которые работают либо вместе с двигателем внутреннего сгорания (*ДВС*) или заменяют его целиком. Вторым важным элементом является тяговый инвертор.

В самом общем смысле, инвертор – это устройство, преобразующее энергию постоянного тока в энергию переменного тока, одно- или многофазного с возможностью регулирования действующего значения выходного параметра (тока или напряжения) и его частоты.

Инверторы подразделяются по различным критериям, основные из них следующие: По привязанности к промышленной сети переменного напряжения:

Автономные – они не привязаны к сети, а работают на изолированную от сети нагрузку (электродвигатель, индукционный нагреватель и др.).

Ведомые сетью – их выход подключается к сети переменного напряжения (одно- или многофазного). Следовательно, такие инверторы должны иметь синхронизацию с сетью по частоте и фазе.

В зависимости от задаваемой выходной величины:

Инверторы напряжения. У них на выходе задается определенное действующее значение напряжения определенной частоты.

Инверторы тока. Эти устройства поддерживают заданное действующее значение тока в нагрузке при определённой частоте.

Рассмотрим подробнее, какие из инверторов применяются наиболее часто в современных транспортных средствах? Далекое не все из перечисленных выше видов инверторов находят там свое применение. Начнём с того, что ведомые сетью инверторы нужны только в том случае, если нам необходимо отдавать энергию от источника постоянного напряжения в сеть переменного. Из широко применяемых сегодня транспортных средств питание от сети переменного напряжения получают только электровозы и электропоезда на железной дороге. Это однофазное переменное напряжение обычно частотой 50 Гц и с действующим значением 25 кВ. Соответственно, если в силовой установке имеется звено постоянного тока, то для возврата энергии в сеть применяется однофазный ведомый сетью инвертор напряжения. Такие инверторы применяются в частности в электровозах ВЛ85, ЭП1 и др.

Гораздо чаще встречается другая картина. Имеется источник постоянного напряжения: контактная сеть (600, 825 или 3000 В) или накопитель энергии (батарея или суперконденсатор с напряжением от 48 до 800 В) и тяговые двигатели переменного тока: асинхронные (АМ) или синхронные (PMSM, SRM). Даже в тех современных электровозах и электропоездах, которые работают от контактной сети переменного напряжения (25 кВ) силовая электрическая схема имеет промежуточное звено постоянного напряжения. Поэтому, наибольшее распространение получили автономные инверторы.

Тяговые инверторы всегда работают на нагрузку в виде электродвигателя. Большинство тяговых двигателей на сегодняшний день являются трехфазными. Это делается для унификации тяговых электрических машин с общепромышленными. Но, на самом деле, число фаз двигателя в

тяговом приводе может быть любым (более двух). Как будет рассмотрено далее, в последнее время довольно часто внедряется концепция многофазных двигателей электромобилей (6-и, 9-фазных), что позволяет уменьшить ток каждой фазы и, соответственно, применять в инверторе более компактные и дешёвые полупроводниковые приборы.

Автономные инверторы напряжения (АИН) обычно реализуются на транзисторах или *IGBT*-модулях. У них на входе всегда установлен конденсатор C большой ёмкости. Его функция – фильтрация входного напряжения и приём реактивной энергии от двигателя при торможении. Если питание установки происходит от сети переменного напряжения, то перед конденсатором устанавливается неуправляемый выпрямитель (диодный НВ). Если же есть необходимость в рекуперации энергии обратно в сеть при торможении, то параллельно выпрямителю нужно ставить дополнительно рассмотренный ранее ведомый сетью инвертор (ВСИ).

Автономные инверторы тока (АИТ) обычно реализованы на тиристорах или *IGBT*-транзисторах с последовательным включением диода по той же мостовой схеме. Но, в отличие от АИН у них выпрямление от сети переменного напряжения производится управляемым выпрямителем (УВ), а на входе вместо конденсатора устанавливается индуктор (катушка) L с большой индуктивностью для поддержания постоянного значения входного тока. В результате, АИТ может создавать напряжение на обмотках двигателя выше напряжения звена постоянного тока, кроме того, для осуществления рекуперации в такой схеме не требуется дополнительного ведомого сетью инвертора, достаточно перевести в УВ тиристоры в инверторный режим.

При всех вышеперечисленных преимуществах АИТ у них есть два существенных недостатка применения в современном электротранспорте: большие габариты, масса и стоимость (во многом из-за индуктора), использование АИТ экономически оправдано только при мощностях выше мегаватта и существенная несинусоидальность токов в обмотках двигателя, что приводит к

большой эмиссии электромагнитных помех к окружающему оборудованию.

Таким образом, на сегодняшний день самой распространенной топологией транспортных инверторов является автономный трёхфазный инвертор напряжения. Такая схема применяется как в тяговых инверторах электромобилей, гибридных автомобилей, троллейбусов, электробусов, трамваев, электропоездов, так и во вспомогательных транспортных инверторах, например, для приводов компрессоров пневмосистемы, компрессоров кондиционеров, вентиляторов, гидростанций.

УДК 621.31.83.52

РАСЧЕТ И ВЫБОР ТОРМОЗНОГО РЕОСТАТА В РЕЖИМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ СДПМ ПРИ СКАЛЯРНОМ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ

Александровский С.В., Фираго Б.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В настоящее время синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ) широко применяются как вентильные двигатели с датчиком положения ротора (ДПР) и векторном управлении, так и при скалярном частотном управлении с независимым заданием частоты в диапазоне мощностей от единиц кВт до 300 кВт в различных промышленных и транспортных установках.

В регулируемом электроприводе важное значение имеют тормозные режимы. Основным тормозным режимом синхронного частотно-регулируемого электропривода является частотное торможение с возвратом энергии торможения в звено постоянного тока преобразователя частоты (ПЧ). Дальше эта энергия может рассеиваться в тормозных сопротивлениях при односторонней передаче активной энергии из сети с помощью диодных выпрямителей или возвращаться в питающую сеть с помощью рекуператоров: тиристорных или транзисторных [1].

Рекуперация энергии торможения в сеть предпочтительна, но она должна экономически быть обоснована, т.к. современные рекуператоры энергии увеличивают стоимость ПЧ более, чем в 2 раза. Если преобладают тормозные режимы работы, например, как в некоторых грузовых канатных дорогах, то сразу более очевидным становится тормозной режим с рекуперацией в сеть энергии торможения.

Еще следует иметь в виду, что качество рекуперированной электроэнергии зависит от вида (сложности) рекуператора. Тиристорный рекуператор простой, но качество рекуперированной энергии невысокое, так как сдвиг первой гармоники тока относительно первой гармоники напряжения сети зависит от угла открывания тиристорov.

Самый сложный – это транзисторный рекуператор с ШИМ, обеспечивающий синусоидальную кривую тока и возможность ее сдвига относительно первой гармоники напряжения, т.е. с возможностью регулирования величины и знака реактивной энергии.

В настоящее время СДПМ применяются в электроприводах грузоподъемных механизмов, где необходимо иметь тормозной момент при нулевой частоте питающего двигателя напряжения, что соответствует динамическому торможению с независимым возбуждением. Трехфазная обмотка статора СД отключается от источника напряжения и замыкается на тормозные сопротивления. При этом следует учитывать, что активное сопротивление R_1 обмотки статора состоит из собственного сопротивления обмотки статора $R_{1,0}$ и тормозного сопротивления R_T , подключаемого к каждой фазе статора, т.е. $R_1 = R_{1,0} + R_T$.

В режиме динамического торможения СДПМ угловая частота ω_1 тока, протекающего по обмоткам статора, будет равна электрической угловой скорости $\omega_{эл}$ ротора, т.е. $\omega_1 = \omega_{эл} = p_n \omega$, где ω – механическая угловая скорость ротора; p_n – число пар полюсов.

Этот режим полностью соответствует режиму работы СДПМ при управлении от ДПР с угловой частотой $\omega_1 = \omega_{эл}$ при отключении статора от источника напряжения, а также режиму работы двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ), когда обмотка якоря отключается от сети постоянного тока и замыкается на тормозное сопротивление [1, 2].

Механические характеристики СДПМ получаются из математической модели в осях $d-q$ для установившегося режима работы:

$$\omega = -\frac{M_c}{\beta},$$

где β – модуль жесткости механических характеристик определяется формулой:

$$\beta = \frac{c^2}{R_1} = \frac{c^2}{R_{1,0} + R_T},$$

где c – коэффициент СДПМ, определяемый таким образом [1, 2]

$$c = \frac{U_{л.ном}}{\omega_{0ном}} = \frac{M_{э.ном}}{I_{1ном}},$$

$U_{л.ном}$ – действующее значение номинального линейного напряжения 3-фазного СДПМ; $\omega_{0ном}$ – номинальная угловая синхронная скорость СДПМ; $M_{э.ном}$ – номинальный электромагнитный момент двигателя; $I_{1ном}$ – действующее значение номинального тока по оси q .

Видно, что с увеличением тормозного сопротивления R_T увеличивается наклон механических характеристик к оси абсцисс.

В грузоподъемных механизмах, работающих с постоянным активным статическим моментом M_c , динамическое торможение

применяется для опускания грузов с малой скоростью, обычно принимают $\omega_{\text{оп.}} \leq (0,1 \div 0,15)\omega_{\text{ном.}}$.

В этом случае при заданной скорости опускания груза $\omega_{\text{оп.}}$, которая определяется технологическими условиями, необходимо рассчитать величину тормозного сопротивления R_{T} , включаемого в каждую фазу обмотки статора. Находим величину этого сопротивления при заданном статическом моменте $M_{\text{с}}$ по формуле:

$$R_{\text{T}} = \frac{c^2 \omega_{\text{оп.}}}{M_{\text{с}}} - R_{1,0}.$$

Обычно принимают $M_{\text{с}} = M_{\text{с.ном.}}$.

Мощность тормозного сопротивления для СДПМ, работающего в тормозном режиме с неизменной скоростью и тормозным моментом на валу $M_{\text{с}}$, может быть записана в виде:

$$P_{\text{T}} = \omega M_{\text{с}} \eta_{\text{д}} \eta_{\text{и}},$$

где $\eta_{\text{д}}$, $\eta_{\text{и}}$ – соответственно КПД СДПМ и инвертора ПЧ.

По времени торможения t_{T} и периоде $t_{\text{ц}}$ повторения тормозного цикла можно рассчитать относительную продолжительность включения тормозного сопротивления

$$\varepsilon_{\text{T}} = \frac{t_{\text{T}}}{t_{\text{ц}}}$$

и длительную (номинальную) мощность тормозного сопротивления

$$P_{\text{дл}} = P_{\text{T}} \varepsilon_{\text{T}}.$$

Затем по каталогам фирм, выпускающим ПЧ, на основании расчетных значений R_{T} , P_{T} , $P_{\text{дл}}$, ε выбираем тормозное сопротивление.

Литература

1. Фираго Б.И. Теория электропривода / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик – Минск: Техноперспектива, 2007. – 585с.
2. Фираго Б.И. Расчеты по электроприводу производственных машин и механизмов. – Минск: Техноперспектива, 2012. – 639с.

УДК 621.3

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ПОГРУЖНЫХ НАСОСАХ

Нитиевский С.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Широко известно, что электропривод является одним из основных потребителей электрической энергии. В электроприводе же, в свою очередь, достаточно большую долю мощностей занимают турбомеханизмы – насосы и вентиляторы. В частности, для организации водоснабжения интенсивно используются погружные электронасосные агрегаты, в основном работающие в длительных режимах работы.

В настоящее время в качестве приводных двигателей для погружных насосов в основном используются асинхронные короткозамкнутые погружные электродвигатели. Их применение для турбомеханизмов в целом, и для погружных насосов в частности, обусловлено достаточно высоким значением коэффициента полезного действия (КПД) при сравнительно хороших массогабаритных показателях. Для погружных насосов массогабаритные показатели, а именно диаметр агрегата и его длина являются определяющими при конструировании, поскольку допустимый внешний диаметр агрегата, т.е. насосной части и присоединенного электродвигателя определяется диаметром скважины, в которую предполагается устанавливать данный агрегат. Диаметры скважин при этом стандартизованы, и измеряются в дюймовой системе. Стандартные диаметры насосных

агрегатов: 4" – 96 мм, 5" – 120 мм, 6" – 144 мм, 8" – 193 мм, 10" – 235 мм. Возможность выполнить асинхронный двигатель малого наружного диаметра также является достаточно весомым преимуществом применения асинхронных двигателей для погружных насосов.

Несмотря на конструктивные преимущества асинхронных двигателей при применении их в качестве приводных двигателей для насосных агрегатов, в последние годы достаточно большое внимание уделяется вопросам повышения энергоэффективности насосных агрегатов, в частности, за счет перехода на более перспективный тип электродвигателей – синхронные электродвигатели с возбуждением от постоянных магнитов.

Данный тип электродвигателей широко известен и в последнее время достаточно быстро набирает популярность в различных сферах применения. Конструктивно статор синхронного двигателя аналогичен статору асинхронного двигателя, а на роторе вместо беличьей клетки располагаются постоянные магниты редкоземельных сплавов (в основном используются магниты $NdFeB$) прямоугольной формы. Лист ротора синхронного двигателя имеет вид, показанный на рисунке 1.

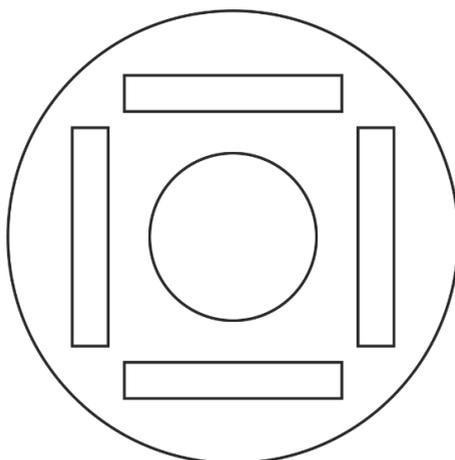


Рис. 1. Лист ротора синхронного двигателя

Применительно к погружным насосным агрегатам, при проектировании синхронного двигателя действует то же самое ограничение, что и при проектировании асинхронного: жестко заданный наружный диаметр электродвигателя. Этим обусловлена выгода изготовления синхронного двигателя на повышенную частоту питания. По этой причине погружные синхронные электродвигатели преимущественно выполняются на двойную частоту (100 Гц вместо стандартных 50 Гц), и в то же время выполняются четырехполюсными, чтобы обеспечить согласование по скорости двигателей и насосных частей, предназначенных для работы на скоростях 2900–2950 об/мин. Это позволяет улучшить массогабаритные показатели, получив большую мощность при одинаковых с асинхронным двигателем габаритах.

Однако, существенным недостатком систем с использованием синхронных двигателей является необходимость комплектовать такие системы преобразователем частоты для формирования питающего напряжения частотой 100 Гц. Кроме того, следует учитывать, что в данных системах невозможен режим *«by-pass»*, поэтому к преобразователю частоты в данном случае предъявляются повышенные требования надежности и безотказности.

Одной из основных проблем применения систем с синхронными двигателями является неполное использование преобразователя частоты. Стандартным применением преобразователя в данном случае является питание двигателя напряжением постоянной амплитуды и частоты для работы на номинальной скорости. В этом случае экономия энергии достигается за счет разности между КПД систем «насос-асинхронный двигатель» и «насос-синхронный двигатель-преобразователь частоты» - система с синхронным двигателем в общем случае будет иметь несколько больший (с поправкой на КПД преобразователя) КПД, нежели система с асинхронным двигателем (при условии, что КПД насосных частей одинаков). Однако, в данной ситуации можно добиться гораздо более высоких энергетических показателей за счет внедрения систем регулирования скорости рабочих колес насоса [1]. Это могло бы позволить обеспечить более высокий КПД системы на всем

рабочем интервале насоса, а не только в номинальной точке, а также избавило бы от необходимости использовать дросселирование для подстройки параметров трубопровода под номинальную точку работы насоса.

Однако, следует отметить, что внедрение систем автоматического управления является достаточно трудоемким и затратным процессом, поэтому вопрос наиболее экономически целесообразного режима работы систем с синхронными двигателями следует решать для конкретных насосных установок.

Литература

1. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – 3-е изд., испр. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 576 с.

УДК 681.513

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ *SMART MANUFACTURING*

Павлюковец С.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Под автоматизированными управляемыми транспортными средствами (*AGV – Automatic Guided Vehicle*) обычно понимают мобильных роботов (или беспилотных транспортных средств), используемых для транспортировки объектов. Традиционно они использовались в производственных системах, но в последнее время их популярность распространилась на многие другие промышленные применения, такие как транспортировка товаров на складах и перевалка контейнеров на контейнерных терминалах. Бум международной торговли стимулировал развитие

автоматизированных контейнерных терминалов, оснащенных автоматизированными системами перевалки контейнеров, состоящими из автоматических кранов и автоматизированных управляемых транспортных средств [1].

В зависимости от типа продуктов, которые нужно обрабатывать, и транспорта, который необходимо выполнить, существуют разные решения. Например, можно упомянуть ленточные, роликовые и вертикальные конвейеры, подъемники, роботов-манипуляторов и *AGV*. *AGV* также имеют несколько преимуществ, присущих их конструкции, таких как уменьшение повреждения продукции за счет устранения человеческой ошибки, возможность перемещаться во взрывоопасные зоны, не беспокоясь о безопасности оператора, возможность автоматически отслеживать и записывать движение продукта, сокращение трудозатрат, а также гибкости и адаптируемости, которые особенно характерны для систем с лазерным наведением. *AGV* также играет главную роль в гибких производственных системах (*FMS*), которые оснащены несколькими станками с ЧПУ, а система обработки материалов на базе *AGV* разработана и реализована для обеспечения гибкости и эффективности производства [2].

Основной принцип работы традиционной системы *AGV* заключается в заранее определенном маршруте, размещенном на полу или на полу, за которым следует считывающее устройство, которое является частью каждого традиционного *AGV*. Кроме того, другие устройства поддержки переходят к более высокому уровню базовой функциональности отслеживание заранее определенного маршрута. Это защитные бамперы, оптические сканирующие устройства, датчики препятствий, звуковые и визуальные предупреждающие устройства, *Wi-Fi* соединение, модули *GPS*, пульта дистанционного управления, системы камер и другие [3]. Существует несколько способов навигации и технологий наведения *AGV*, которые варьируются от физических направляющих с использованием лазера, магнитной ленты, оптических датчиков, проводов до инерциального наведения на основе гироскопа и беспроводной связи. Последнее дает преимущество, которое можно

легко модифицировать. *AGV* обычно имеет ПЛК или микроконтроллер в качестве основного устройства управления.

AGV взаимодействует с человеко-машинным интерфейсом (*HMI*) через промышленную беспроводную локальную сеть с использованием стандартов связи *PROFINET* и *PROFISAFE*. Прямое подключение распределенных систем управления через промышленный *Ethernet* может быть легко реализовано через *PROFINET* [4].

Общая система *AGV* по существу состоит из периферийного оборудования транспортного средства, устанавливаемого на месте, а также стационарной системы управления. Основными компонентами системы *AGV* являются: транспортная тележка; система наведения по траектории; контроллер. На рисунке 1 показана конструкция рамы *AGV*.

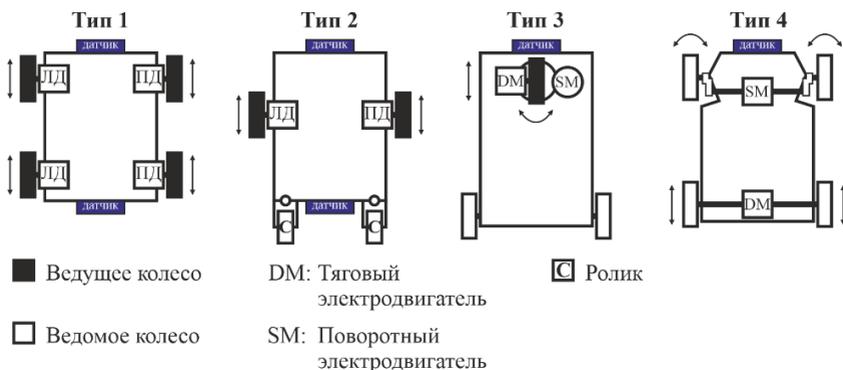


Рис. 1. Конструкционные особенности рамы *AGV*

При проектировании тележки существует четыре основных способа обеспечения привода и рулевого управления. Некоторые типы легче построить, другие обладают лучшими характеристиками управления. Две из этих конструкций полностью симметричны и могут работать в обоих направлениях [5].

В таблице 1 приводится список характеристик каждой конструкции.

Табл. 1. Конструктивные характеристики рамы AGV

Конструкция рамы	Простота исполнения	Рулевое управление	Реверсивный ход
4 ведущих колеса	Примитивная конструкция	Низкая <i>точность</i> управления	Есть
Центральное расположение ведущих колес с опорными роликами	Простая конструкция	Высокая <i>точность</i> управления	Есть
С одним поворотным-ведущим колесом	Средней сложности конструкция	Максимально высокая <i>точность</i> управления	Нет
Задний ведущий мост с передним реечным рулевым механизмом	Сложная конструкция	Высокая <i>точность</i> управления	Трудно исполнимый

Электродвигатель AGV можно выбрать между двигателем постоянного тока или бесщеточным двигателем постоянного тока (BLDC). Двигателями постоянного тока можно управлять с помощью драйверов и сигналов ШИМ, но двигатели постоянного тока не имеют достаточного крутящего момента для нагрузки до 500 кг. Двигатели BLDC обладают высоким крутящим моментом, чем наиболее часто используемые двигатели в промышленном мире, например, в автомобильной, медицинской автоматике и измерительном оборудовании.

Литература

1. Yakut Ali, M., Hossain, S.G., Jamil, H. & Haq, M.Z. 2010. Development of automated guided vehicles for industrial logistics applications in developing countries using appropriate technology. International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering, 10(02), pp. 13-17.
2. Davich, T. 2010. Material handling solutions: A look into automated robotics. Thesis, University of Wisconsin-Madison, USA. [Online] Available at:

<http://tc.engr.wisc.edu/files/2013/02/Davich2010.pdf> [Accessed 2 April 2013].

3. Stewart, T. 2009. A look at how the automobile industry uses robots. [Online] Available at: <http://www.helium.com/items/1409985-robots-in-the-automobile-industry-robots-making-cars-robotsstealing-jobs> [Accessed 2 April 2013].

4. Floreano, D., Godjevac, J., Martinoli, A., Mondada, F. and Nicoud, J.-D. 1999. Advances in intelligent autonomous systems. In: S. G. Tzafestas (ed.), Design, control, and applications of autonomous mobile robots. Dordrecht: Springer, pp. 159-186.

5. S.K Das, M.K.Pasan, "Design and Methodology of Automated Guided Vehicle-A Review" , IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE, Special Issue - AETM'16, Page 29.

УДК 621.31.83.52

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДУЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ
ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Горюнова В.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Мировая практика создания нового и модернизации действующего технологического оборудования предполагает широкое применение регулируемых электроприводов с функциями прямого цифрового управления. Это дает возможность обеспечить интеграцию электропривода (ЭП) в систему комплексной автоматизации технологических процессов: связать как с оператором, так и с автоматизированными системами управления более высокого уровня (АСУТП); осуществить контроль и диагностику как самого ЭП, так и приводимого им в действие механизма.

Современные ЭП оснащаются большим набором программных средств, с помощью которых можно решать многие

функциональные задачи управления технологическим оборудованием различного производственного назначения [1].

Основной задачей ЭП по-прежнему является регулирование координат и воспроизведение требуемых законов движения, при этом многие проблемы синтеза систем управления рассматриваются иначе, так как необходимо обеспечить адаптацию ЭП под новые или изменяющиеся условия применения, возможность самонастройки и оптимизации регуляторов, осуществления контроля и диагностики с гибким варьированием аппаратных и программных средств для обеспечения новых потребительских качеств.

Большое внимание уделяется точности математического описания процессов в ЭП, разрабатываются новые методы и алгоритмы, позволяющие реализовать практически любые сложные законы регулирования. Среди наиболее развивающихся направлений теоретических разработок можно выделить следующие:

- улучшение качества управления в сложных динамических системах за счет автоматической идентификации параметров ЭП, корректируемых по отклонениям измеряемых переменных в процессе его функционирования (использование наблюдателей состояния);

- адаптивное управление с использованием эталонной модели, в том числе с применением нечетких регуляторов;

- создание самообучающихся систем управления при неполных сведениях об объекте управления и при нестабильности параметров с применением искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов [2].

В настоящее время особое значение приобретают разработки в области создания ЭП с широкими функциональными и структурными возможностями, различными вариантами их технической реализации по условиям применения для самых разнообразных машин и механизмов.

Все ведущие мировые электротехнические компании осуществляют разработку и продажу комплектных ЭП с полным набором средств автоматизации для гибко программируемых

систем. В состав систем входят программируемые контроллеры, модули интеллектуальной периферии, системы визуализации и обслуживания, программаторы, персональные компьютеры. Создание объектно-ориентированных ЭП для различных технологических применений обеспечивает расширение возможностей, предоставляемых заказчику. Окупаемость средств, вложенных в такие системы, является наиболее быстрой.

Исходя из этого, можно выделить несколько общих направлений развития автоматизированных ЭП:

- применение блочно-модульных принципов построения ЭП и систем управления в целом;

- унификация модульных систем и оснащение их компьютерными средствами, предназначенными для широкого использования;

- активное развитие и внедрение систем диагностирования, обслуживания, визуализации процессов управления [1];

- новые подходы к проектированию автоматизированных ЭП.

С учетом отмеченных тенденций развития фирмы-производители электротехнического оборудования поставляют на рынок комплектные регулируемые ЭП, оснащенные достаточным программным обеспечением. Путем параметрирования можно выбрать любой закон регулирования – скалярный, векторный или серво, не меняя при этом аппаратной части. В интеллектуальной системе обработки данных заложена возможность идентификации параметров ЭП, автоматическая настройка регуляторов, адаптация к изменению параметров, контроль двигателей по скорости, моменту и управлению движением, обеспечение безопасности работы ЭП при возникновении аварийных ситуаций [3].

Однако, структуры контуров регулирования переменных чаще остаются закрытыми для пользователя, возможен только режим самонастройки.

Поэтому, особое значение в настоящее время приобретают разработки электротехнических фирм, в которых предусматривается возможность проектирования индивидуальных систем с использованием стандартных модулей для создания

оптимальной конфигурации ЭП, что позволяет конструировать системы, идеально подходящие под требования заказчика.

Так, например, разработка корпорации *Control Techniques* по унификации оборудования с использованием модульных электроприводов *Unidrive* дает возможность значительно уменьшить объем конструкторских работ и период проектирования, сократить сроки создания, снизить стоимость, при этом повысить качество, надежность и долговечность системы [4].

Корпорация *Siemens*, являющаяся разработчиком унифицированных модульных систем преобразователей серии *Sinamics*, комплектует поставки программным обеспечением *Starter* [5], которое можно использовать не только для ввода в эксплуатацию, но и применять в области проектирования ЭП под конкретные задачи, что позволяет снизить сроки разработки и поставки оборудования.

В настоящее время значительные изменения происходят и в области подготовки инженерно-технических кадров, так как возросли требования к компетенциям по вводу в эксплуатацию, обслуживанию, а также проектированию автоматизированных ЭП.

Одним из направлений повышения качества образования в области проектирования регулируемых ЭП является внедрение в учебный процесс лабораторных испытательных стендов, оснащенных оборудованием ведущих электротехнических фирм и персональными компьютерами с соответствующим программным обеспечением. Используя открывшийся доступ к современной зарубежной комплектации, профильные кафедры ведущих университетов активно включаются в освоение новой элементной базы, развитие методической базы расчетов и проектирования ЭП.

При работе на лабораторных стендах студенты могут осуществить экспериментальное исследование статических и динамических характеристик ЭП на реальных установках с последующим сопоставлением теоретических и экспериментальных результатов, получить практические навыки параметрирования и наладки микропроцессорных систем автоматического управления ЭП. На данном этапе такие лабораторные занятия обеспечат студентам визуализацию процессов в реальном масштабе времени и

облегчат понимание физических процессов, протекающих в системах управления ЭП [6].

На этапе дипломного проектирования, подготовки бакалавров (переподготовки инженерных работников), исследовательских работ студентов и аспирантов возможно усложнение задач, например: с помощью стендового оборудования и программного обеспечения формировать различные законы изменения нагрузки; формировать оптимальные законы управления ЭП, используя базовые функции для управления по скорости, моменту, позиционированию; исследовать работу ЭП на различных скоростях; испытывать в динамических режимах и под нагрузкой при изменении характера задающих воздействий; произвести отработку алгоритмов управления и др. Возможность поэтапной настройки системы управления ЭП, включающую настройку контуров управления и рациональный выбор регуляторов, позволит существенно сократить время, необходимое для достижения заданных показателей качества работы ЭП в составе системы управления электрооборудованием [7]. Таким образом, практическая составляющая проектирования позволит подобрать оптимальную конфигурацию ЭП.

Создание таких профильных лабораторий при выпускающих кафедрах способствует повышению эффективности научных разработок и улучшению качества подготовки будущих специалистов в области проектирования ЭП.

Литература

1. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – 3-е изд., испр. – М. : Издательский центр «Академия, 2007. – 576 с.

2. http://iwed.science/wp-content/uploads/Seminar_2012.pdf

3. mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Products/10045435?tree=CatalogTree.

4. <https://www.elec.ru/viewer?url=/files/2013/02/19/Modulnye-elektroprivody.pdf>

5. https://aep.susu.ru/assets/510_3.pdf

6. Плотников, Ю. В. Системы управления электроприводами постоянного тока (преобразователь Sinamics DCM) : учебно-методическое пособие / Ю. В. Плотников, В. Н. Поляков. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017.

7. http://ispu.ru/files/Avtoref_Smirnov.pdf

УДК 621.924:621.34-52

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЛИНОЙ ХОДА СТОЛА ПРОДОЛЬНО-ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА

Гульков Г.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Процессу шлифования на продольно шлифовальных станках (ПШС) присущи характерные особенности:

- значительная длина детали (3 м и более);
- исходная непрямолинейность детали (0,1...0,4 мм), превышающая на порядок максимальное значение подачи на врезание S_v (0,02...0,06 мм);
- безразмерная обработка детали.

При традиционном цикле шлифования на ПШС длина хода стола устанавливается в соответствии с длиной детали и в процессе шлифования не изменяется.

Вследствие этих особенностей при черновом шлифовании имеет место непроизводительные затраты времени:

- на холостые переходы стола, возникающие вследствие исходной непрямолинейности детали;
- на дополнительные проходы шлифования, возникающие при субъективном определении момента окончания операции черного шлифования.

Сокращение холостых ходов на ПШС можно осуществить путем автоматического управления длиной хода стола ПШС в функции контакта шлифовального круга с деталью. При таком управлении в момент выхода круга из контакта с деталью необходимо осуществить подачу на врезание и реверсирование стола. Шлифование возможно при использовании двух алгоритмов:

- с реверсированием привода в момент схода круга с детали (с перебегом);
- с реверсированием привода на шлифуемой части детали (без перебегов).

На основании кинематического анализа процесса шлифования для двух алгоритмов получены следующие уравнения:

$$\frac{L}{V_{g1}} + \frac{2V_{g1}}{a} = t_{M1}, \quad (1)$$

$$\frac{L}{V_{g2}} + \frac{2V_{g2}}{a} = t_{M2}, \quad (2)$$

где V_{g1}, V_{g2} – скорость детали при шлифовании по первому и второму алгоритму соответственно;

L – длина шлифуемой части детали;

a – ускорение при пуске и торможении привода в процессе реверсирования стола;

t_{M1}, t_{M2} – время шлифования по первому и второму алгоритму соответственно.

Продифференцировав (1) и (2) уравнения по скорости V_g и приравняв результаты нулю, получим оптимальные значения скорости:

$$V_{g1} = \sqrt{0,5La}, \quad V_{g2} = \sqrt{0,5La}$$

и соответствующие им время шлифования:

$$t_{M1} = \frac{2L}{\sqrt{0,5aL}}, \quad t_{M2} = \frac{2L}{\sqrt{0,5aL}}.$$

В результате получим:

$$\frac{t_{M1}}{t_{M2}} = \sqrt{2},$$

то есть шлифование детали без перебега обеспечивает уменьшение времени шлифования в $\sqrt{2}$ раз по сравнению со шлифованием с перебегом.

Необходимо отметить, что применение алгоритма шлифования без перебегов на ПШС возможно лишь для режима черного шлифования, так как его целью является получение деталей требуемой геометрической формы за счет уменьшения погрешности предыдущих технологических операций и погрешностей от деформации детали при термообработке.

При традиционном цикле шлифования переход от операции черного шлифования к операции чистового шлифования формируется оператором в режиме ручного управления. Для автоматизации данного процесса используется устройство автоматического контроля формы детали. Измеряемыми входными переменными устройства являются длина шлифуемой части детали и отклонение мощности резонанса за проход шлифования ΔP :

$$\Delta P = P_{\max} - P_{\min},$$

где P_{\max}, P_{\min} – максимальное и минимальное значения мощности за проход шлифования.

При достижении длины шлифуемой поверхности заданной длины детали и отклонения мощности резания ΔP ниже заданного уровня формируется команда на переход от операции черного шлифования к операции чистового шлифования.

Таким образом, автоматическое управление длиной хода стола ПШС позволяет сократить непроизводительные затраты времени при шлифовании.

УДК 62.83.52

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Цыбулькин П.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

На современном этапе технического прогресса во всем мире в последние годы принято направление, согласно которому необходимо как можно эффективнее распределять и использовать все виды энергоресурсов. В условиях направленности всех областей промышленности на использование энергосберегающих технологий все большее внимание уделяется энергоэффективным электроприводам. Одним из таких электроприводов является электропривод на основе синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ). Применение СДПМ в современном электроприводе позволяет значительно повысить эксплуатационные показатели автоматизированного электропривода.

СДПМ обладают рядом преимуществ, таких как: отсутствие обмотки возбуждения на роторе (что обеспечивает уменьшение электрических потерь), повышенный КПД, улучшенные условия охлаждения двигателя, высокое отношение максимального допустимого момента к моменту инерции двигателя (что предпочтительно для применения в быстродействующем электроприводе), лучшие массогабаритные показатели (что характеризуется высоким отношением номинальной мощности к массе двигателя) [1]. Эти качества выделяют его из ряда всех остальных электрических машин и обеспечивают ему применение в системах автоматики, приводах подачи станков, прецизионных системах слежения, а также системах, где стабильность скорости

является первостепенным требованием, предъявляемым к технологическому процессу.

Однако они также имеют ряд недостатков. К ним можно отнести: чувствительность конструкции двигателей к высоким температурам постоянных магнитов, необходимость информации о положении ротора в каждый момент времени для работы в системах с высокими требованиями по точности и качеству переходных процессов, наличие магнитного поля (даже в отключённом состоянии) и более высокая цена.

СДПМ на сегодняшний день являются наиболее перспективными электрическими машинами в диапазоне малых и средних мощностей. Двигатели такого типа конструктивно просты и надёжны. Они имеют абсолютно жёсткие механические характеристики и не требуют затрат на возбуждение, обладают большой перегрузочной способностью и высоким быстродействием в переходных процессах. СДПМ малой мощности чаще всего используются в качестве сервоприводов.

Применение СДПМ большой мощности позволяет создавать эффективные системы тягового электропривода на их основе. Обладая основными достоинствами коллекторных тяговых двигателей постоянного тока, такими как высокий пусковой момент, быстродействие и точность регулирования момента, значительная перегрузочная способность, они сохраняют все достоинства бесколлекторного привода. Появление магнитных материалов с высокой остаточной намагниченностью и устойчивыми характеристиками в большом диапазоне температуры и механических воздействий дает возможность применять СДПМ в качестве тяговых двигателей [2].

Постоянное удешевление магнитных материалов, в частности, внедрение сплавов редкоземельных металлов, совершенствование аппаратной базы управления делают возможным использование этого типа двигателей в тех областях, где традиционно применялись двигатели постоянного тока (ДПТ) или асинхронные двигатели (АД).

Использование СДПМ как альтернативы ДПТ в регулируемом электроприводе стало возможным с появлением соответствующей

преобразовательной и цифровой вычислительной техники. Прежде всего, это связано с внедрением преобразователей частоты, построенных на биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT), и использованием принципов широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Высокая эффективность, малые массогабаритные показатели при больших значениях моментов в сравнении с асинхронными двигателями делают СДПМ хорошей альтернативой системе «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель».

В то же время существуют механизмы, у которых с повышением скорости уменьшается потребность в электромагнитном моменте (главные приводы прокатных станов и станков, компрессоры, моталки и т.п.). Для таких механизмов целесообразно регулирование скорости выше номинальной за счет ослабления магнитного поля. В ДПТ это достигается за счет уменьшения потока возбуждения, в АД – за счет уменьшения потокосцепления ротора, а в СДПМ – за счет увеличения отрицательного значения продольной составляющей тока статора, которая создает поле статора, противодействующее потоку постоянных магнитов. В настоящее время основным способом пуска и регулирования скорости СДПМ является частотное управление (с использованием частотного преобразователя). Данный вид управления позволяет значительно повысить срок службы установки, за счет снижения пусковых токов и возможности плавного изменения частота питающего напряжения [3].

Для управления процессами с высокими статическими и динамическими требованиями используют векторные системы управления электроприводами, которые позволяют независимо друг от друга регулировать магнитный поток и электромагнитный поток двигателя.

Литература

1. Нго, Фьонг Ле. Расчет индуктивностей синхронного двигателя с инкорпорированными постоянными магнитами / Фьонг Ле Нго, Г.И. Гульков // Известия высших учебных заведений и

энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2017. – №1. – С. 41–53.

2. Колпахчян, П.Г. Применение синхронных тяговых двигателем с постоянными магнитами на роторе в электроподвижном составе железных дорог / П.Г. Колпахчян, М.С. Подберезная, О.В. Непомнящая // Труды РГУПС. Выпуск 5/2016. – С. 54–56.

3. Мирзаянов, Р.Р. Способы пуска синхронных двигателей с постоянными магнитами [Электронный ресурс] / Р.Р. Мирзаянов, В.Е. Вавилов // Электротехнические комплексы и системы: материалы международной научно-практической конференции / Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ) ; редколл: Ф.Р. Исмагилов (отв. ред.) [и др.]. – Уфа, 2016. – С. 31–34.

УДК 621.8

ПОВЫШЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Васильев С.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Для электроприводов (ЭП) в составе опасных производственных объектов целесообразно применение отказоустойчивого управления с обеспечением свойства «живучести». Аварийный выход из строя таких электроприводов может привести к нарушению безопасной эксплуатации оборудования с риском для персонала с большими экономическими потерями.

Свойство объекта сохранять ограниченную работоспособность при наличии дефектов или повреждений определенного вида, а также при отказе некоторых компонентов определяется термином «живучесть». Для вышеперечисленных областей применения асинхронного двигателя (АД) задача обеспечения отказоустойчивости со свойством живучести становится определяющей [1].

В промышленности нашли широкое применение электроприводы с преобразователями частоты (ПЧ) и асинхронными двигателями. Однако в некоторых аварийных ситуациях при срыве работы ПЧ требуется немедленное отключение его от питающей сети. Это снижает технологическую надежность электропривода и делает невозможным его применение в тех механизмах и установках, которые не допускают останова во время технологического процесса. В качестве примера можно привести электроприводы в металлургической промышленности, применяемые при разливке стали и т.д.

Многофазные частотные электроприводы находят применение в медицинской и бытовой технике, в электромобилестроении, в системах электродвижения судов. Перспективно их использование в специальных вентиляционных системах и комплексах, где требуется повышенная надежность двигателя при низком уровне шума и вибрации. В многофазных асинхронных двигателях наблюдается снижение пульсаций момента и скорости на валу двигателя, повышение надежности при уменьшенных уровнях шума и вибрации. Дробление электрической мощности по фазам делает регулировочные характеристики АД менее критичными к асимметрии по амплитуде и фазе питающего напряжения, что с увеличением числа фаз m , в конечном итоге, упрощает систему управления и повышает надежность

Известны частотные электроприводы с АД, имеющими две трёхфазные обмотки, смещенные в расточке статора друг относительно друга на некоторый угол θ . Каждая обмотка питается от своего ПЧ, причём две трёхфазные системы напряжений, подаваемые на обмотки АД, также сдвинуты во времени на некоторый угол γ . При равенстве модулей этих углов будет минимальное значение коэффициента нелинейного искажения намагничивающей силы статора и максимальное использование габаритной мощности АД.

В кривой МДС такой шестифазной обмотки АД полностью отсутствуют пятая и седьмая гармоники, что является одним из важных преимуществ перед обычной трехфазной обмоткой. Устранение наиболее вредных для электрических машин пятой и

седьмой гармоник уменьшает дополнительные потери, шум и вибрацию, устраняет провалы в кривой электромагнитного момента, увеличивает пусковой момент АД.

Для обеспечения отказоустойчивости электропривода возможно применение АД с двумя трехфазными статорными обмотками без смещения в расточке статора относительно друг друга.

Целью следующего изобретения является упрощение устройства и повышение технологической надежности электропривода путем обеспечения возможности работы двигателя на двух статорных обмотках с аварийным отключением одной выходной фазы преобразователя. Цель достигается тем, что данное устройство защиты электропривода переменного тока снабжено электродвигателем переменного тока с m -фазной обмоткой статора, двумя преобразователями частоты, и содержит датчики тока и компараторы по числу выходных фаз преобразователей, блок задания тока уставки, шесть элементов 2И и шесть элементов ЗАПРЕТ [2]. Из технической литературы известно, что в случае применения в электроприводе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с двумя обмотками на статоре возможна длительная работа двигателя с одной отключенной фазой, то есть в отличие от обычных двигателей обрыв фазы статора не требует немедленного отключения для двигателя с двумя самостоятельными обмотками [3].

Целью другого изобретения является упрощение устройства и повышение технологической надежности электропривода путем обеспечения возможности работы двигателя на одной трехфазной статорной обмотке при аварийном отключении одного из преобразователей частоты, питающего другую трехфазную статорную обмотку. Цель достигается тем, что данное устройство защиты электропривода переменного тока снабжено электродвигателем переменного тока с m -фазной обмоткой статора, двумя преобразователями частоты, и содержит датчики тока и компараторы по числу выходных фаз преобразователей, блок задания тока уставки, шесть элементов 2И, два элемента 3ИЛИ-НЕ [4]. Как следует из экспериментальных данных, двигатель может длительно развивать на валу нагрузку $M_c = 0,45M_n$ при работе на

одной обмотке. При работе двигателя на одной трехфазной обмотке двигатель может в течение 39 с нести номинальную нагрузку на валу и ток статора при этом составляет 2,2 номинального тока одной параллельной ветви [3].

Литература

1. Однокопылов Г.И. Отказоустойчивый многофазный электропривод с несинусоидальными токами. – Известия Томского политехнического университета, 2013, т. 322, №4.
2. Васильев С.В. Устройство защиты электропривода переменного тока. Описание изобретения к патенту РФ № 2012972.
3. Церазов А.Л., Кузьмичев А.И. Исследование режимов работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с двумя обмотками на статоре. – В сб. «Электроснабжение и автоматизация промышленных предприятий. – Чебоксары, 1978, вып. 7».
4. Васильев С.В. Устройство защиты электропривода переменного тока. Описание изобретения к патенту РФ № 2012973.

УДК 620.92

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ИНСОЛЯЦИИ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Вельченко А.А., Мирончук В.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Для проектирования и строительства энергоэффективных зданий на сегодняшний день необходимо знание точной оценки глобальных данных солнечной радиации и солнечных системы преобразования энергии (фотоэлектрические модули или гелеоколлекторы). Оценка поступающей солнечной радиации для сельскохозяйственной отрасли также важна при создании приложений для оценки суммарного испарения, прогнозирования урожая, создания моделей о накоплении биомассы. В метрологии

важно знание солнечной радиации при составлении прогнозов. Большинство метеостанций оснащено оборудованием для определения температуры, влажности воздуха, а вот измерение солнечного излучения присутствует очень редко и точность этих данных очень низкая [1]. В последние годы появились метеостанции с автоматическими электронными датчиками «Tronic», но данное оборудование требует квалифицированного персонала.

На сегодняшний день существует много разных подходов и моделей для оценки приходящей солнечной радиации R_s . Один из самых распространённых подходов основывается на моделировании физической связи между максимальной и минимальной температурами, и приходящим солнечным излучением R_s . В данных моделях фактически происходит оценка проницаемости атмосферы используя данные суточной температура воздуха, где облачный покров снижает максимальную температуру воздуха по причине меньшего поступления коротковолнового излучения, а минимальная температура воздуха в ночное время увеличивается из-за большей излучательной способности облаков в сравнении с ясным небом [2]. Такой подход очень часто выбирают многие авторы [3], так как он прост из-за небольшого количества переменных и данные о температуре доступны за большой период практически на всех метеостанциях.

Для оценки глобального солнечного излучения, создаются модели на основе эмпирических уравнений. Самая распространённая эмпирическая модель Харгривс и Самани [4], которая оценивает интенсивность солнечного излучения R_s разницей между максимальной и минимальной температурой воздуха с помощью формулы:

$$R_s = a (T_{\max} - T_{\min})^b R_a$$

где R_a – внеземное солнечное излучение ($\text{МДж м}^{-2}\text{д}^{-1}$); T_{\max} и T_{\min} – максимальная и минимальная температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$); a , b - эмпирические коэффициенты.

В последнее время начались создаваться модели на основе искусственного интеллекта (искусственная нейронная сеть (ИНС), адаптивная система нейро-нечеткого вывода, подходы к генетическому программированию). В работе [5] рассматривалась архитектура многослоевого перцептрона с четырьмя входящими сигналами (максимальная и минимальная температура воздуха, внеземная солнечная радиация и день в году). В данной модели принималось что изменение глобального солнечного излучения зависит от изменения температуры в течении дня, но есть и другие факторы которые влияют на оценку солнечного излучения (скорость ветра, влажность воздуха, доступность почвенной воды для испарения, высота над уровнем моря, осадки, крупномасштабная адвекция воздушных масс).

В данной работе предлагается создание архитектуры трехслоевой искусственной нейронной сети для оценки интенсивности солнечной радиации с учетом влажности воздуха атмосферы. ИНС состоит из слоев нейронов, которые включают три слоя: входной слой имеющий 5 входных параметров (максимальная температура воздуха T_{\max} , и минимальная температура воздуха T_{\min} , внеземная солнечная радиация R_s , день (DOY), влажность воздуха γ как функция от дня года $\gamma = \gamma(T, \text{DOY})$, один скрытый слой имеющий 10 вычислительных нейронов с сигмоидальной функцией активации и выходной слой с одним нейроном (рис. 1). Перед входом в ИНС выполняется этап предварительной обработки данных. Каждый нейрон в входном слое принимает свое значение из базы данных. Проводится нормализация входных и выходных данные, в результате чего все входные и выходные данные, результаты и целевые показатели будут находиться между нулем и единицей.

Таким образом, предложенная архитектура трехслоевой ИНС с 5 входными параметрами имеет в вычислительном скрытом слое сигмоидную функцию активации, а в выходном слое линейную функцию активации, которая позволит получить зависимость интенсивности солнечного излучения с метеорологическими параметрами (максимальная и минимальная температура воздуха, внеземная солнечная радиация, влажность воздуха). Данная модель ИНС учитывает относительную влажность воздуха в земной

атмосфере, которая зависит от температуры и дня года, что позволит более точно оценить интенсивность солнечной радиации и провести более точное ее прогнозирование необходимое для повышения коэффициента полезного действия фотоэлектрических энергетических установок.



Рис. 1. Структурная схема архитектуры трехслойной ИНС для прогнозирования солнечной инсоляции

Литература

1. Droogers P, Allen RG. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Irrig Drain Syst* 2002;16(1):33–45.
2. Bechini L, Ducco G, Donatelli M, Stein A. Modelling interpolation and stochastic simulation in space and time of global solar radiation. *Agric Ecol Environ* 2000;81:29–42.
3. E. İzgi, A. Öztopal, B. Yerli, M. K. Kaymak, and A. D. Şahin, “Short-mid-term solar power prediction by using artificial neural networks,” *Solar Energy*, vol. 86, no. 2, pp. 725–733, 2012.
4. Hargreaves GH, Samani ZA. Estimating potential evapotranspiration. *J Irrig Drain Eng* 1982;108(3):225–30.
5. W. Cabrera, D. Benhaddou, and C. Ordonez, “Solar power prediction for smart community microgrid,” in *Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Smart Computing, SMARTCOMP '16*, pp. 1–6, May 2016. View at: [Publisher Site | Google Scholar](#).

УДК 62-531.6

**РАСЧЕТ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДА РОЛИКОВОЙ ЦЕНТРИФУГИ**

Ефимик А.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Сущность процесса центрифугирования заключается в разделении заготовочной массы на различные по плотности фракции под действием центробежных сил. Необходимость автоматизации возникает при рассмотрении требований к технологическому процессу, используемому на Филиале «ЖБИК» ОАО «Оршанский стройтрест №18». Основными требованиями к технологическому процессу являются:

- обеспечения работы на трёх скоростях $\omega = 0.1\omega_{\text{ном}}$, $\omega = 0.6\omega_{\text{ном}}$ и $\omega = \omega_{\text{ном}}$;
- обеспечение отклонения Ω от $\omega_{\text{заданной}}$ в пределах 5%;
- обеспечение постоянства момента электродвигателя при изменении частоты вращения;

По состоянию на 2021 год, привод рассматриваемой центрифуги представляет собой систему асинхронный двигатель с фазным ротором, регулируемый ручным переключением реостатов в цепи ротора.

Использование данной системы имеет ряд очевидных недостатков – низкая точность регулирования скорости из-за ручных переключений множественных ступеней реостата, регулирование скорости за счёт регулирования жесткости характеристик, большие отклонения времени работы на определённых ступенях скорости, вызываемые человеческим фактором. Данные факторы крайне негативно сказываются на итоговом количестве брака на производстве, что приводит к высоким экономическим потерям.

Вследствие этого вытекает необходимость модернизации и автоматизации производственного процесса на основе современных

средств автоматизации – системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (далее – ПЧ-АД КЗР). Данная система при более высокой стоимости за счёт экономии электроэнергии и резкого снижения количества брака из-за правильной реализации технологического процесса позволит увеличить итоговую рентабельность производства. Функциональная схема данной системы представлена на рисунке 1.

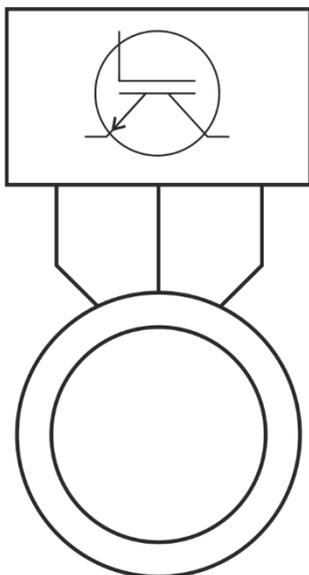


Рис. 1. Система ПЧ-АД КЗР

Расчёт системы автоматического управления для данной системы ПЧ-АД КЗР состоит из следующих составляющих: расчёт мощности электродвигателя, выбор электродвигателя, расчёт его параметров, выбор мощности и типоразмера преобразователя частоты, выбора управляющего устройства, написания программы управления.

Расчёт мощности двигателя производится на основании требуемой мощности механизма, где $P_{Эд} > P_M / \eta$. Параметры

электродвигателя рассчитываются согласно математической модели приведённой в [1].

Мощность и типоразмер преобразователя частоты выбираются исходя из следующего условия: $P_{ПЧ} > P_{ЭД}$. Управляющее устройство выбирается исходя из способности обеспечить работу системы при заданном алгоритме работы, основанном на технологическом процессе.

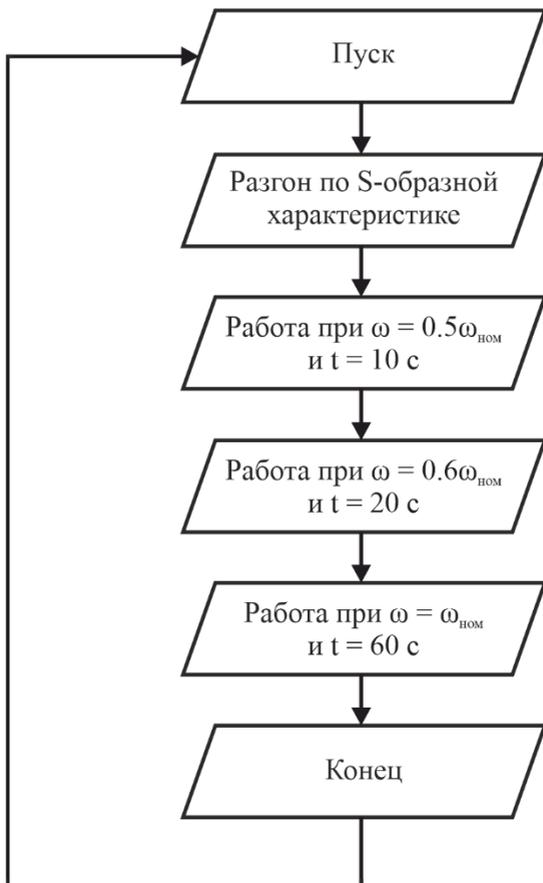


Рис. 2. Алгоритм работы системы автоматического управления

В качестве управляющих устройств могут выступать как программируемые логические контроллеры, так и микроконтроллеры.

Литература

1. Фираго Б. И., Павлячик Л. Б. Теория электропривода: Учебное пособие – Минск: Техноперспектива, 2007. – 585 с.

УДК 681.5.08

АВТОМАТИЗАЦИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КРИСТАЛЛОВ

Герман А.Е.¹, Лицкевич А.Ю.¹, Шункеев К.Ш.²

Гродненский государственный университет имени Я. Купалы¹

Гродно, Республика Беларусь

Актюбинский региональный государственный университет
имени К. Жубанова²

Актобе, Республика Казахстан

Задачи исследования рентгеновской и туннельной люминесценции кристаллов предъявляют определенные требования к экспериментальной установке: измерения проводятся при низких температурах (от 80 К); спектрометр должен обеспечить быструю (со скоростью до 50 нм/с) регистрацию спектров в интервале длин волн от 200 до 800 нм, а также регистрацию зависимости интенсивности интегрального сигнала люминесценции от температуры образца (в диапазоне 80-850 К) [1]. С учетом крайне низкой интенсивности световых потоков, система регистрации спектрометра должна работать в режиме счета одиночных фотонов.

Блок-схема разработанной автоматизированной экспериментальной установки представлена на рис. 1. Установка состоит из вакуумной камеры-криостата, в которой размещается исследуемый образец, и на который воздействует рентгеновское излучение от внешнего источника (на схеме не показан). Криостат имеет два выходных окна, через которые излучение люминесценции образца поступает на измерительные каналы.

Первый из них (спектральный) построен на основе монохроматора МСД-2 и предназначен для исследования спектрального состава излучения. Второй канал (интегральный) предназначен для измерения уровня общего сигнала люминесценции образца и его зависимости от температуры [1].

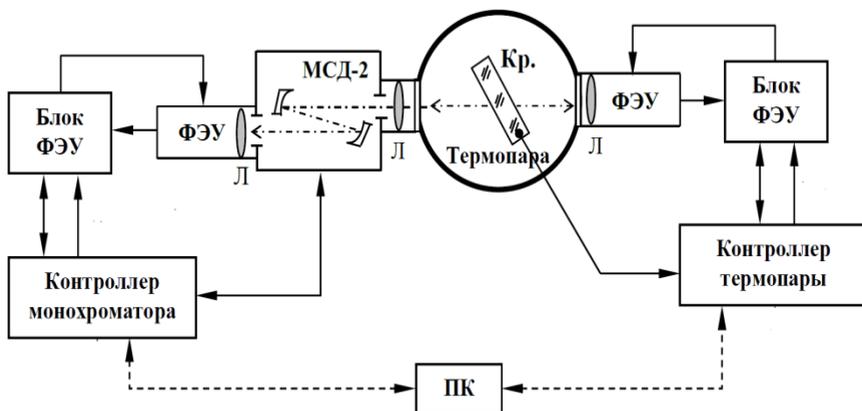


Рис. 1. Блок-схема автоматизированной установки для изучения люминесценции кристаллов

Охлаждение образца осуществляется жидким азотом с последующим плавным повышением температуры при помощи нагревателя, встроенного в криостат (на схеме не показан). Измерение температуры осуществляется при помощи медно-константановой термопары, находящейся в тепловом контакте с исследуемым образцом.

Установка управляется при помощи двух контроллеров на основе 32-х разрядных микроконтроллеров STM32F103, сопряженных с персональным компьютером посредством интерфейса USB. Контроллер спектрального канала осуществляет подсчет импульсов с выхода фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), размещенного на выходной щели монохроматора, а также управление шаговым двигателем монохроматора и контроль состояния его концевых и реперных датчиков.

Контроллер интегрального канала, кроме функции подсчета импульсов от второго ФЭУ, выполняет измерение температуры образца с использованием прецизионного преобразователя сигналов термопары с цифровой линейризацией MAX31856.

В качестве детекторов излучения выбраны ФЭУ Hamamatsu H8259-01, имеющие встроенные схемы источника питания и формирователя импульсов. При воздействии высоких интенсивностей световых потоков на ФЭУ предусмотрена их защита путем автоматического отключения от источника питания и остановки монохроматора.

Для управления прибором разработаны две независимо работающие программы: SpectraSCAN и ThermoSCAN. Наличие двух отдельных контроллеров с собственным программным обеспечением повышает универсальность установки, конфигурация которой может быть легко изменена.

Разработанное программное обеспечение позволяет осуществлять регистрацию данных и их обработку (сглаживание спектров, автоматический поиск максимумов и др.), а также экспортировать результаты измерений в стандартных форматах данных.

С применением описанной установки была продемонстрирована возможность получения спектров рентгеновской и туннельной люминесценции кристаллов NaCl при одновременном воздействии рентгеновского излучения и низкотемпературной упругой деформации [1], а также термостимулированной люминесценции кристаллов KBr [2] и NaCl [3].

Контроллеры, разработанные для применения в установке, являются универсальными и могут использоваться при создании новых и модернизации существующих спектральных приборов на основе автоматизированных монохроматоров различных типов.

Литература

1. А.Е. Герман, А.Ю. Лицкевич, К.Ш. Шункеев, Ж.К. Убаев, Ж. Кулбатыр. Автоматизированная люминесцентная установка для измерения спектров рентгено- и туннельной люминесценции

щелочногалоидных кристаллов // Вестник АРГУ им. К. Жубанова. – 2019. – №2 (56). – С. 5-11.

2. Shunkeev K., German A., Myasnikova L., Maratova A., Lickevich A., Kuanyshbek A., Automated luminescent unit for measuring thermostimulated luminescence of alkali-halide crystals // Vesnik K. Zhubanov Aktobe Regional State University. – Aktobe, 2020. – № 1. – P. 3-7.

3. Способ регистрации спектров термостимулированной люминесценции щелочногалоидных кристаллов: пат. 34798 Респ. Казахстан, 19) KZ (13) B (11) 4978 (51) G01T 1/00 C09K 11/00 / Шункеев К.Ш., Мясникова Л.Н., Убаев Ж.К., Сагимбаева Ш.Ж., Герман А.Е., Лицкевич А.Ю.; опубл. 02.04.2021.

УДК 535.391: 621.376

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ СКОРОСТНОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ КИНОФОТОСЪЕМКИ

Васильев С.В., Губаревич И.К., Иванов А.Ю.

Гродненский государственный университет им. Я. Купалы,
Гродно, Беларусь

При воздействии миллисекундных лазерных импульсов на поверхности металлов большой интерес вызывает изучение динамики быстропротекающих процессов в пароплазменном облаке, образующемся у поверхности облучаемого образца. Экспериментальная установка и процессы, происходящие во время воздействия на объект лазерного импульса длительностью порядка 1 мс и сразу после него, подробно описаны в [1]. Подобные исследования довольно трудоемки, т.к. включают в себя несколько этапов: запись быстропротекающего процесса образования плазменного облака вблизи поверхности образца, оценку влияния на него внешних факторов, изучение рельефа поверхности кратера, образовавшегося на поверхности образца.

Процесс регистрации динамики образования плазмы в ходе воздействия лазерного импульса на образец предусматривает

кинофотосъемку интерферограмм с помощью скоростной фоторегистрирующей камеры СФР-1М. Использование данной камеры позволяет получать изображения интерферограмм, имеющих временное разрешение не хуже 1 мкс (время экспозиции одного кадра) и пространственное разрешение по полю объекта порядка 50 мкм. Следующими этапами являются вычисление по изображению величины смещения интерференционных полос от невозмущенного состояния, расчет изменения показателя преломления с помощью интегрального уравнением Абеля [2] и вычисление требуемых параметров плазмы.

Математические расчеты можно автоматизировать используя возможности пакета MATLAB и его расширений. Полученное в ходе эксперимента изображение интерферограмм считывается из соответствующего файла и помещается в массив данных MATLAB для возможности дальнейшей обработки средствами расширения Image Processing Toolbox (рис. 1,а). Прочитанное из файла изображение имеет формат представления данных uint8. Далее путем преобразования RGB составляющих пикселей оригинала в соответствующие им значения яркости, создается полутоновое изображение интерферограммы. Затем происходит настройка оптимальной яркости и контрастности изображения (рис. 1,б). Для подавления шумов изображение фильтруется и сглаживается. По умолчанию используется сглаживающий фильтра Гаусса с заданным стандартным отклонением распределения (рис. 1,в). После предварительной обработки изображение преобразуется в бинарное методом отсечения по порогу яркости (рис. 1,г). Пиксели результирующего бинарного изображения принимают значения логического 0 (черный цвет), если яркость соответствующих пикселей исходного изображения меньше заданного порога, и значения логической 1 (белый цвет), если яркость соответствующих пикселей исходного изображения больше либо равна заданному порогу. Порог задается в диапазоне от 0 до 1 и по умолчанию автоматически вычисляется с использованием метода Оцу [3]. При необходимости значение порога может быть задано вручную.

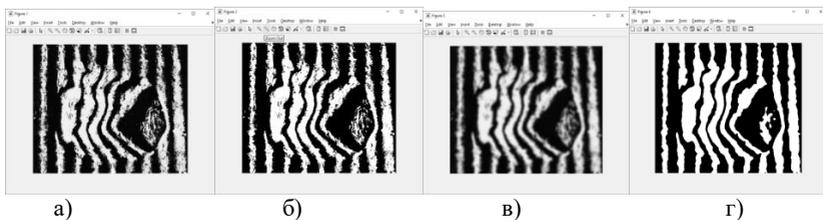


Рис. 1. Графическое изображение картины спроецированных полос кратера на разных этапах обработки

Выбор отдельной полосы на интерферограмме осуществляется путем указания курсором мыши любой точки, находящейся в области полосы (т.н. «затравочного» пикселя). После указания программе интересующей полосы происходит обнаружение и построение кривой, проходящей через центр полосы (равноудаленной в каждой точке от левого и правого краев полосы) и тем самым описывающей ее положение на интерферограмме. Для этого изображение полосы разбивается на ряд строк шириной в один пиксель и вычисляется центр каждой строки. Координаты центров строк записываются в массив, и по ним строится соответствующая кривая. Однако из-за неоднородности и зашумленности исходного изображения построенная таким образом кривая в отдельных точках может неадекватно отражать реальный центр на протяжении всей полосы, уходя в области, полученные из-за искажений краев полосы. Для минимизации полученных случайных отклонений кривая сглаживается средствами расширения MATLAB Curve Fitting Toolbox.

Для получения численных значений смещение полосы от невозмущенного состояния, необходимо получить прямую описывающую положение полосы в данном состоянии. Для этого соединяются точки, полученные путем вычисления среднего значения координат десяти первых и последних центров строк изображения выбранной полосы (рис. 2).

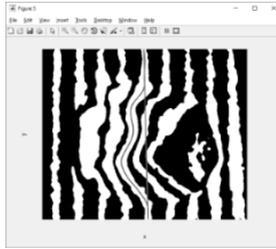


Рис.2. Интерференграмма с выбранной для определения смещения от невозмущенного состояния светлой полосой

Значения смещения в пикселях определяется как длина перпендикуляра, опущенного из точки кривой, описывающей текущее положение полосы к прямой, описывающей положение полосы в невозмущенном состоянии. Сдвиг полосы в пикселях преобразуется в число полос, на которое сместилась интерференционная картина при образовании неоднородности. Для этого сдвиг полосы в пикселях делится на среднюю ширину полосы в пикселях. Средняя ширина полосы определяется как среднее расстояние между двумя соседними светлыми либо темными полосами. Для численного решения уравнения Абеля применяется метод ступенчатой аппроксимации, который часто называют методом Пирса [2].

Таким образом, положительный эффект предложенной методики обработки интерферограмм заключается в значительной экономии ресурсов и времени, выделяемых на обработку данных экспериментов, при этом получается существенно повысить точность конечного результата. Особенно это ощутимо при обработке записи скоростной кинофотосъемки, при которой требуется обработка до тридцати отдельных кадров. Перспективным является использование цифровых средств регистрации с высоким разрешением, компьютерным анализом полученных опытным путём голографических интерферограмм и построением фазового портрета, позволяющим визуализировать и моделировать быстропотекающие процессы.

Литература

1. Васильев, С. В. Влияние электрического поля на приповерхностные процессы при лазерной обработке материалов / С. В. Васильев, А. Ю. Иванов // Квантовая электроника. - 2012. - Т. 42, № 2. – С. 170-174.
2. Jackson, S.L. Abel inversion of a holographic interferogram for determination of the density profile of a sheared-flow Z pinch / S.L. Jackson, U. Shumlak // Review of scientific instruments. – 2006. – Vol. 77, №. 8. – p. 10.
3. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms / N. Otsu // IEEE transactions on systems, man, and cybernetics. – 1979. – Vol. 9, №. 1. – pp. 62-66.

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 535.343

РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДИМЕРАМИ ИЗ ДВУХ ЦИЛИНДРОВ КОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ И ИХ ИНВЕРСНЫМИ СИСТЕМАМИ

Ковтун-Кужель В.А., Хацук Д.В., Самородов А.П.

УО «Гродненский государственный университет им. Я.Купалы»

Гродно, Беларусь

Значительные перспективы в развитии элементной базы оптики, лазерной физики и радиофизики связывают с использованием дисперсных частично-упорядоченных структур, в которых масштаб упорядоченности определяет характерные проявления коллективных электродинамических взаимодействий. В данной работе приведены результаты расчета и анализ функций углового распределения индикатрис рассеяния (ФУРИР) димеров $i(\theta)$.

Обсуждение результатов исследования.

На рисунке 1 представлены ФУРИР для объектов, состоящих из двух параллельных одинаковых цилиндров конечной длины (димеры) [1]. Характеристики рассеяния рассматриваются при $\lambda = 400$ нм, $n = 1,73$. Расстояние между осями частиц в димере L составляло от 100 нм до 200 нм. Геометрические размеры каждого из цилиндров определялись параметрами $d = 100$ нм, $l = 1500$ нм.

Как видно из рисунка 1, интенсивность рассеяния в направлении вперед при изменении расстояния от 100 нм до 200 нм в системе из двух цилиндров уменьшается незначительно и изменяется угловая структура ФУРИР димера: дополнительные экстремумы отсутствуют. Наличие данного экстремума фиксируется при расстоянии между цилиндрами 100 нм в области 50° . Также при увеличении расстояния между частицами наблюдается смещение главного максимума в область меньших углов от 43° до 23° .

На рисунке 2 представлены ФУРИР димеров образованных воздушными цилиндрическим порами, находящихся в среде с $n_0 = 1,73$.

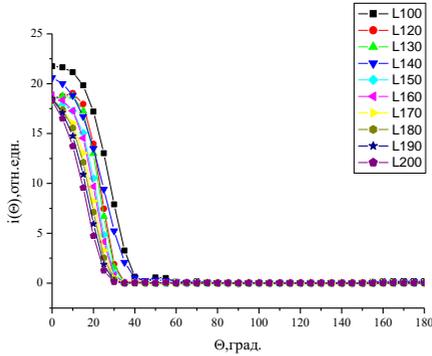


Рис. 1. Функции углового распределения интенсивности рассеяния двух цилиндров конечной длины с $n = 1,73$, $\lambda = 400$ нм, L от 100 нм до 200 нм

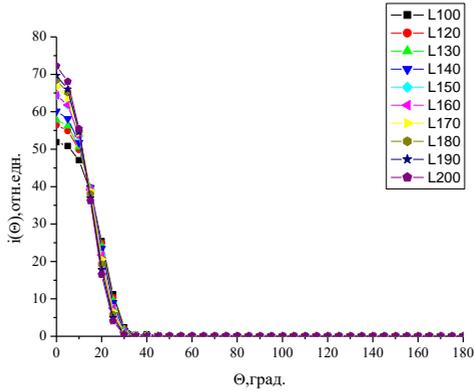


Рис. 2. Функции углового распределения интенсивности рассеяния одной и двух воздушных пор цилиндрической формы с $n_0 = 1,73$, $\lambda = 400$ нм, L от 100 нм до 200 нм

Сравнивая рисунки 1 и 2, отмечают следующие изменения ФУРИР димеров. При переходе от прямого к инверсному случаю интенсивность рассеяния системы цилиндров увеличивается в

несколько раз. Это связано с увеличением дифракционного параметра в инверсном случае. Также значительно менее, чем в прямом случае, выражена зависимость ФУРИР димера от расстояний между цилиндрами, поскольку сужение ФУРИР при увеличении дифракционного параметра приводит к уменьшению влияния эффектов переоблучения, зависящих от L .

Выводы:

1. Анализ ФУРИР для димеров с $n > 1$ (прямые системы) и для аналогичных по размерным параметрам цилиндров с $n < 1$ (инверсные системы) показало значительное увеличение степени вытянутости в направлении вперед ФУРИР инверсных системам по сравнению с прямыми системами, что связано с возрастанием поперечного параметра дифракции $\rho_d = \pi d n_0 / \lambda$ при переходе от прямой системы к инверсной [2].

2. Анализ ФУРИР димеров за счет изменения расстояния L между составляющими их цилиндрами конечной длины показал, что ближнеполевые взаимодействия и коллективные эффекты когерентной природы, возникающие при $L \sim d$ в димерах, приводят к определенной трансформации [1].

Литература

1. Ковтун-Кужель, В.А. Рассеяние электромагнитного излучения димерами из двух конечных диэлектрических цилиндров / В.А. Ковтун-Кужель, А.Н. Понявина // Журнал прикладной спектроскопии. – 2017. – Т.84. - № 3. – С. 373–378.

2. Ковтун-Кужель, В.А. Рассеяние электромагнитных волн в пространственно-упорядоченных структурах диэлектрических цилиндров конечной длины : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.04.05 / В.А. Ковтун-Кужель. – Минск, 2019. – 128 с.

УДК: 535.373 + 539.2 + 541.14

**РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В НАНОАНСАМБЛЯХ
НА ОСНОВЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК AIS/ZnS/GSH И
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛ**

Зенькевич Э.И.¹, Куликова О.М.², Шейнин В.Б.², Селищев О.П.³,
Джаган В.М.⁴, Степанов М.А.¹, Строюк А.Л.⁵, Раевская А.Е.³,
Койфман О.И.², Цан Д.Р.Т.³

¹Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

²Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН,
Иваново, Россия

³Институт физики, Технический университет,
Хемнитц, Германия

⁴Институт физики полупроводников НАН У,
Киев, Украина

⁵Институт Гельмгольца ИЕК-11,
Эрланген-Нюрнберг, Германия

Наноансамбли на основе квантовых точек (КТ) и молекул красителей исследуются и рассматриваются как перспективные наноструктуры для применений в наносенсорике, фотовольтаике и биомедицине [1, 2]. В данной работе получены самособирающиеся наноансамбли нового типа на основе полупроводниковых квантовых точек AIS/ZnS/GSH, стабилизированных глутатионом GSH, и молекул порфиринов (H₂P) (Рис.1).

Обосновано, что формирование наноансамблей происходит за счет электростатических взаимодействий, положительно заряженных порфириновых макроциклов с отрицательно заряженными молекулами глутатиона и проявляется в двух эффектах (Рис. 2): 1) сильном тушении флуоресценции квантовых точек (за счет эффективного переноса энергии) и 2) металлизации молекул порфирина (образование Zп-комплексов) при фиксации на поверхности квантовой точки. Впервые разработана и обоснована квантово-химическая 3D модель формирования рассматриваемых наноансамблей и интерфейсных явлений, протекающих в них.

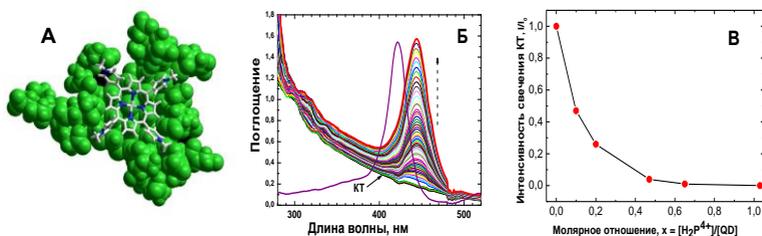


Рис. 1. Основные компоненты квантовых точек AIS/ZnS/GSH и схематическое представление формирования наноансамблей КТ-Порфирин. А – структура квантовой точки. Б – химическая структура молекулы порфирина. В – схема электростатического взаимодействия отрицательно заряженных карбоксильных групп глутатиона и положительно заряженных пиридинильных групп порфирина.

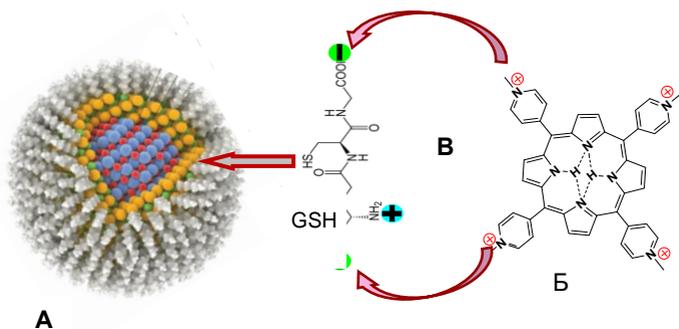


Рис. 2. Квантово-химическая 3D модель формирования наноансамблей КТ-Порфирин (А, расчеты методом ММ⁺), изменения спектров поглощения (Б), и тушение фотолуминесценции КТ AIS/ZnS/GSH (В, $\lambda_{возб} = 380$ нм) при возрастании молярного отношения $x = [H_2P^{4+}]/[КТ]$ в воде при pH 7.5 и T = 298 К.

Спектрально-кинетическим методами (стационарная и пикосекундная лазерная спектроскопия, АСМ) в сочетании с теоретическими расчетами установлена принципиальная роль конкурирующих интерфейсных физико-химических процессов на поверхности КТ, определяющих механизмы, пути и эффективности релаксации экситонного возбуждения в гетерогенных нанобъектах в условиях квантового ограничения.

В наноконструкциях AIS/ZnS/GSH КТ - Порфирин нерезонансные безызлучательные процессы экситонной релаксации квантовых точек обусловлены формированием поверхностных состояний различной природы. Совокупность полученных результатов показывает, что в рамках рассматриваемой модели формирования наноконструкций КТ-Порфирин (1:1) рассчитанная вероятность безызлучательного переноса энергии от AIS/ZnS/GSH→Порфирин КТ, близко расположенный параллельно свободной SH-плоскости квантовой точки, происходит с вероятностью $k_{DA} = 36.2 \times 10^{10} \text{ с}^{-1}$. Установлено, что эффективность нерезонансного тушения фотолюминесценции КТ в наноконструкциях носит квантово-размерный характер и существенно уменьшается при возрастании полярности окружения. Обнаруженные закономерности тушения ФЛ наноконструкций «КТ-краситель» хорошо коррелируют с зависимостями времен мерцания интенсивности ФЛ одиночных квантовых точек при изменении диэлектрической проницаемости среды.

Основные результаты исследований получены в рамках кооперации с немецкими, украинскими и российскими учеными и носят пионерский характер.

Финансовая поддержка работы: ГПНИ 6916471 «Фотоника и электроника для инноваций» на 2021-2025 г.г., НИР 3 (Беларусь); грант РФФИ № 18-53-00035 (Россия-Беларусь), DFG Grant ZA 146/45-1 (Германия), Грант Президента РБ в науке (2020 г.).

Литература

1. Marcello La Rosa, Emily H. Payne, Alberto Credi. Semiconductor Quantum Dots as Components of Photoactive Supramolecular Architectures // Chemistry Open. – 2020. - 9(2). – P.200–213.
2. Zenkevich E., Von Borczyskowski C. Self-Assembled Organic-Inorganic Nanostructures: Optics and Dynamics. – 2016. - Pan Stanford Publishing Pte. Ltd. - 408 p.

УДК: 535.373 + 539.2 + 541.14

**ЗАВИСИМОСТЬ ОТ pH СПЕКТРАЛЬНО-
КИНЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
КВАНТОВЫХ ТОЧЕК AIS/ZnS/GSH В РАСТВОРАХ**

Зенькевич Э.И.¹, Мотевич И.Г.², Качан С.М.¹, Строюк А.Л.³,
Раевская А.Е.⁴, Куликова О.М.⁵, Шейнин В.Б.⁵, Койфман О.И.⁵, Цан
Д.Р.⁴, Стрекаль Н.Д.²

¹Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

²Гродненский государственный университет,
Гродно, Беларусь

³Институт Гельмгольца ИЕК-11,
Эрланген-Нюрнберг, Германия

⁴Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН,
Иваново, Россия

⁵Институт физики, Технический университет,
Хемнитц, Германия

В последние годы водорастворимые квантовые точки (КТ) на основе стехиометрической смеси полупроводников групп I-III-VI, т.е. Ag-In-S₂ (AIS) и AIS/ZnS, а также наноконкомпозиты на их основе с выраженными свойствами биосовместимости и низкой токсичностью представляют потенциальный интерес нанобиомедицине (флуоресцентные метки в биоимиджинге, биомедицинская тераностика, фотодинамическая терапия рака и т.д.) [1-3]. Известно [2, 3], что важным показателем роста и развития злокачественных клеток в опухоли являются внутри- и внеклеточные значения pH, вариация которого может вызывать нежелательную устойчивость к химио- и иммунотерапии.

Данная работа представляет собой развитие наших исследований в этом направлении и посвящена изучению влияния pH среды на спектрально-кинетические параметры КТ AIS/ZnS/GSH, в водных средах при комнатной температуре. Установлено, что в водных растворах оптические свойства квантовых точек на основе смеси полупроводников групп I-III-VI, а именно Ag-In-S, Ag-In-S₂ с оболочкой ZnS (КТ AIS/ZnS) и лигандным слоем глутатиона (GSH)

(см. Рис. 1), проявляют специфическую зависимость от pH и локальной полярности, обусловленной взаимодействием с полиэлектролитами (спектральные сдвиги, гиперхромизм и гипохромизм в спектрах поглощения и фотолуминесценции, изменение среднего времени жизни фотолуминесценции).

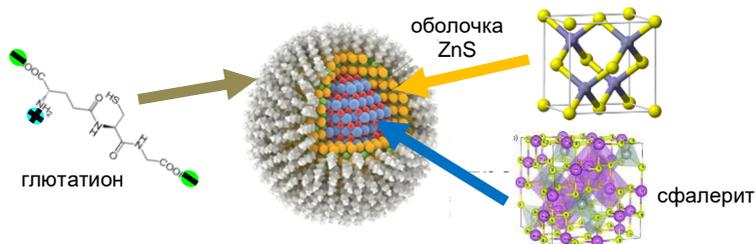


Рис. 1. Схематическое представление КТ AIS/ZnS/GSH и ее основных структурных компонент.

На основании детального анализа спектрально-кинетических параметров фотолуминесценции КТ при вариации pH (см. Рис. 2) обосновано, что формирование свойств КТ AIS/ZnS/GSH при изменении кислотности раствора обусловлено обратимой перезарядкой ионных групп амфолитов, изменяющей структуру двойного слоя Гельмгольца у поверхности КТ, покрытых слоем молекул глутатиона.

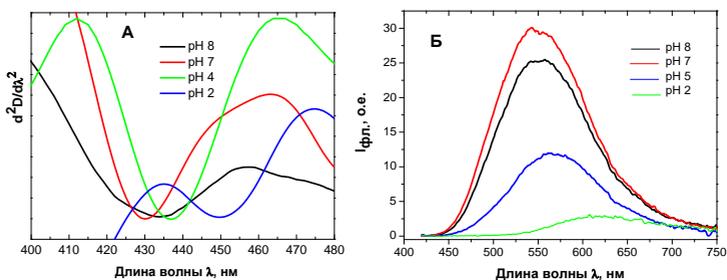


Рис. 2. Вторые производные спектров поглощения (А) и спектры фотолуминесценции ($\lambda_{возб}=400$ нм) КТ AIS/ZnS/GSH в воде при кислых и щелочных значениях pH. Значения pH приведены на вставках.

Показано, что вторая производная спектров поглощения КТ как в кислой среде, так и при взаимодействии с полиэлектролитами соответствует линейному эффекту Штарка, вызванному формированием в КТ наведенного дипольного момента. Как и в случае CdSe КТ, для исследованных в данной работе квантовых точек КТ AIS/ZnS быструю составляющую кинетики затухания можно связать с релаксацией экситонного возбуждения через центры захвата заряда поверхностными ловушками (рекомбинация на поверхностных состояниях, обусловленных дефектами).

Полученные результаты и сделанные на их основе выводы могут быть использованы в разработке на основе КТ AIS/ZnS/GSH селективных маркеров для тестирования значений локального pH и полярности в биомедицине.

Финансовая поддержка работы: ГПНИ 6916471 «Фотоника и электроника для инноваций» на 2021-2025 г.г., НИР 3 (Беларусь); грант БРФФИ № 18P-314 (Беларусь-Россия), грант РФФИ № 18-53-00035 (Россия-Беларусь), DFG Grant ZA 146/45-1 (Германия), Грант Президента РБ в науке (2020 г.).

Литература

1. I.A. Mir, V.S. Radhakrishanan, K. Rawat, T. Prasad, H. B. Bohidar. Tunable AgInS based quantum dots for high contrast cell imaging with enhanced photodynamic and antifungal applications, Scientific reports. 8 (2018) 9322-9334.
2. I.A. Mir, V.S. Radhakrishanan, K. Rawat, T. Prasad, H. B. Bohidar. Scientific reports, 8, (2018) 9322-9334.
3. I.G. Motevich, E.I. Zenkevich, O.L. Stroyuk, O.E. Raievska, O.M. Kulikova, V.B. Sheinin, O.I. Koifman, D.R.T. Zahn, N.D. Strekal. Effect of pH and polyelectrolytes on the spectral-kinetic properties of AIS/ZnS semiconductor quantum dots in aqueous solutions. J. of Applied Spectroscopy 87, No 6 (2021) 1057-1066.

УДК 621.892:621.436

ПРИМЕНЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАБОЧИХ СВОЙСТВ СМАЗОЧНОГО МАСЛА

Маркова Л.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Контроль физико-химических свойств смазочного масла в процессе эксплуатации трибосопряжений позволяет получать информацию о процессах, происходящих в трибосистеме на ранних стадиях изменения режима эксплуатации. Так, вязкость масла является одним из наиболее значимых показателей способности обеспечивать эффективную толщину слоя смазки между поверхностями трения, которая предотвращает ускоренное изнашивание трибосопряжения. В настоящее время ведутся разработки новых наукоёмких методов оценки вязкости смазочного масла, которые отличаются оперативностью и малыми габаритами.

Цель работы – оценить возможность применения анизотропии флуоресценции для оперативного контроля физико-химических свойств смазочных материалов трибосистем.

Определение кинетики затухания анизотропии даёт прямую информацию о диффузном вращательном движении флуоресцирующих молекул и, соответственно, о вязкости жидкой среды [1]. На основе зависимости анизотропии флуоресценции от вязкости среды разработаны методы измерения вязкости биологических растворов и полимерных материалов, в которые вводят флуоресцирующие “молекулярные роторы” (“хромофоры”) [2]. В смазочном же масле присутствуют флуоресцирующие молекулы базовой основы и присадок (молекулы ароматических и полициклических ароматических соединений), что не требует введения специальных флуоресцирующих маркеров.

Вязкость η жидкой среды и объём V вращающегося флуоресцирующего комплекса связаны с временем вращательной релаксации молекул соотношением:

$$\tau_{ep} = \frac{\eta V}{RT},$$

где T – термодинамическая температура; R – молярная газовая постоянная.

Для проверки применимости затухания анизотропии флуоресценции для оценки свойств смазочных масел выполнены экспериментальные исследования, задача которых состояла в установлении связи времени вращательной релаксации $\tau_{вр}$ с физико-химическими свойствами масла. При этом использовалась разработанная методика исследования кинетики затухания анизотропии флуоресценции на высокоскоростном флуорометре FL900 STD в режиме счета одиночных фотонов, которая заключалась в следующем. Возбуждалась флуоресценция образца масла коротким δ -импульсом вертикально поляризованного оптического излучения на длине волны 404 нм и регистрировалось изменение во времени интенсивности параллельно $I_{\parallel}(t)$ и перпендикулярно поляризованных $I_{\perp}(t)$ компонентов излучения. Смазочное масло представляет собой смесь сложных химических соединений и флуоресценция масла обусловлена присутствием ряда флуоресцирующих комплексов, поэтому функция затухания интенсивности флуоресценции компонентов $I_{\parallel}(t)$ и $I_{\perp}(t)$ в условных единицах вычислялась как сумма экспоненциальных затуханий отдельных комплексов по формуле:

$$I_{\square,\perp}(t) = A + \sum_i B_i \exp\left(-\frac{t}{\tau_{фл,i}}\right),$$

где $\tau_{фл,i}$ – время флуоресценции поляризованного компонента i -того комплекса; B_i – множитель, характеризующий долевым вклад i -того комплекса; A – уровень фона.

Время флуоресценции поляризованных компонентов оценивалось по формуле [1]:

$$\tau_{\text{фл},\square,\perp} = \frac{\sum_i B_i \tau_{\text{фл},i}^2}{\sum_i B_i \tau_{\text{фл},i}}$$

Время вращательной релаксации молекул $\tau_{\text{вр}}$ определялось как среднее время затухания отдельных поляризованных компонентов.

Согласно предложенной методике исследована флуоресценция проб новых и работавших в гидравлических системах минеральных масел AW 220 и Rando HD46. Вычисленные времена флуоресценции параллельно $\tau_{\text{фл},\parallel}$ и перпендикулярно $\tau_{\text{фл},\perp}$ поляризованного излучения, время затухания анизотропии $\tau_{\text{вр}}$ флуоресценции, произведения ηV , а также кинематические вязкости тестируемых масел, измеренные капиллярным методом согласно ГОСТ 33-2000, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры флуоресценции и вязкости проб масел

Параметр	Масло AW 220		Масло Rando HD46	
	новое	работавшее	новое	работавшее
$\tau_{\text{фл},\parallel}$, нс	9,15	10,7	7,8	8,8
$\tau_{\text{фл},\perp}$, нс	11,85	13,8	10,5	12
$\tau_{\text{вр}}$, нс	10,5	12,21	9,17	10,42
$\eta V \cdot 10^{29}$, Па·с·м ³	5,0	4,3	3,7	4,2
Кинематическая вязкость при 40°C, сСт	191,6	215,3	45,11	46,09

Из полученных результатов следует, что время вращательной релаксации коррелирует с изменением вязкости масел. Однако оно зависит также от молекулярных объёмов флуорофоров масла, что необходимо принимать во внимание. Так, в качестве диагностического параметра физико-химических свойств масел следует использовать произведение ηV динамической вязкости масла и объёма флуоресцирующего комплекса. Очевидно, в этом случае может использоваться степень анизотропии флуоресценции

масла, определённая в некоторый фиксированный момент времени, что не требует записи и обработки большого объёма данных.

Литература

1. Lakowicz, J.R. Principles of Fluorescence Spectroscopy/J.R.Lakowicz – New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 1999.
2. Sensing of Flow and Shear Stress Using Fluorescent Molecular Rotors/M.A.Haidekker [et al.]//Sensor Letters.–2005–Vol.3.–P.42–48.

УДК 669.234.788

СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПАДА ТВЕРДОГО РАСТВОРА ВОДОРОДА В ПАЛЛАДИИ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ИЗ РАЙОНА КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ СИСТЕМЫ ПАЛЛАДИЙ-ВОДОРОД

Жиров Г.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Гидридные превращения, по своей природе, представляют особый класс диффузионно-кооперативных фазовых превращений в твердом теле [1].

Впервые кинетика и морфология прямых гидридных превращений была изучена в работах [2-3], в которых было установлено, что при относительно низких температурах ($T \ll T_{кр} = 292^{\circ}\text{C}$) прямые $\alpha \rightarrow \beta$ гидридные превращения осуществляются по механизму зарождения и роста. При этом их кинетика описывается классическими С-образными кинетическими изотермическими диаграммами. Причиной С-образной формы изотермических кинетических диаграмм, являются противоположные температурные зависимости числа зародышей, способных к росту, и скорости диффузионного транспорта водорода к этим зародышам.

Результаты по морфологии показывают, что превращение развивается по механизму зарождения и роста зародышей. Причем

сам рост новой фазы имеет диффузионно-кооперативный характер. Т.е. на определенных этапах роста из массивного растущего гидрида после замедления его роста “выбрасывается” игольчатый отросток, который затем быстро растет. Далее возникают новые гидриды, которые также продолжают расти. По истечении времени все растущие гидридные выделения начинают сливаться, и в результате формируется сложная морфологическая картина, постепенно изменяющаяся и все время усложняющаяся, по мере того как гидридная фаза захватывает все больший объем образца.

Важно, как показали результаты работ [2-4] что, также как и прямые гидридные превращения, обратные превращения при $T \ll T_{кр} = 292^{\circ}\text{C}$ развиваются по механизму зарождения и роста.

Однако их кинетика характеризуется принципиально отличными изотермическими кинетическими диаграммами. Характерная черта обратных гидридных превращений заключается в том, что оба фактора: скорость зарождения центров новой фазы и объемная скорость их роста (что непосредственно связано со скоростью диффузионного транспорта водорода к растущим зародышам), в отличие от прямых превращений, действуют в одинаковом направлении (увеличиваются) с увеличением перегрева или уменьшением давления $P_{\text{H}_2} < P_{\text{H}_{2кр}}$. Отметим, что эта ситуация совершенно аналогична наблюдаемым различиям кинетики прямых и обратных превращений в сталях.

Авторы [4] описали морфологические особенности развития обратного гидридного превращения. Они установили, что обратное превращение реализуется по механизму зарождения и роста.

Важно отметить, что инициацию прямых и обратных гидридных превращений производили при постоянной температуре, то есть в изотермических условиях. В случае прямых гидридных $\alpha \rightarrow \beta$ превращений – путем повышения давления газообразного водорода, а в случае обратных гидридных $\beta \rightarrow \alpha$ превращений – полной откачкой газообразного водорода из рабочей камеры. Эти исследования производили при температурах значительно ниже $T_{кр}$ (района купола).

Следовательно, представляло интерес исследовать морфологию гидридных превращений при одновременной откачке водорода и

охлаждении из района купола системы палладий-водород. Поэтому в настоящей работе была поставлена задача изучить особенности фазового распада в слэве палладий-водород при его охлаждении из района критической точки ($T_{кр} = 292^\circ\text{C}$).

В работе были получены следующие результаты.

При быстрых и сильных переохлаждениях сплавов $\alpha_0\text{-PdH}_x$ из района критической точки системы Pd-H гидридные $\alpha_0 \rightarrow (\alpha + \beta)$ фазовые превращения развиваются одновременно по всей поверхности сплавов с образованием структуры типа модулированной структуры.

В условиях быстрого переохлаждения с одновременной дегазацией сплавов $\alpha_0\text{-PdH}_x$ из района критической точки системы Pd-H механизм зарождения и роста в его классическом виде не реализуется как это имеет место при температуре значительно ниже критической.

Наблюдаемые морфологические изменения объясняются возникновением больших водородофазовых (ВФ-) и водородных концентрационных (ВК-) напряжений, на которые накладываются термические напряжения, влияющие на перераспределение водорода в образце.

Литература

1. Гольцов В. А. Водородная обработка материалов – новая область физического материаловедения // Перспективные материалы: учебное пособие под ред. Д. Л. Мерсона. – Тольятти: ТГУ. 2017. С. 5–118.
2. Гольцов В. А. Исследование кинетики изотермических гидридных превращений в термодинамически открытой системе палладий-водород / В. А. Гольцов, Ю. А. Артеменко // Физика металлов и металловедение. – 1991. – № 10. – С. 160–167.
3. Гольцов В. А. Кинетические и морфологические особенности гидридных превращений в системе палладий-водород / В. А. Гольцов, Ю. А. Артеменко // Физика металлов и металловедение. – 1991. – № 2. – С. 181–188.

4. Goltsova M. V. Kinetics of reverse $\beta \rightarrow \alpha$ hydride transformation in thermodynamically open palladium–hydrogen system / M. V. Goltsova, Yu. A. Artemenko, V. I. Zaitsev // J. Alloys and Compounds. – 1999. – Vols 293–295. – P. 379–384.

УДК 539.24

**ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ НА ПОВЕРХНОСТИ
ПЛАСТИН МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ,
ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ГЕЛИЕМ И ОБРАБОТАННЫХ В
ПЛАЗМЕ ВОДОРОДА**

Францкевич Н.В., Францкевич А.В., Мартинович В.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Возможность формирования глубинных протяженных дефектов в монокристаллическом кремнии при наличии в его решетке водорода или гелия с концентрацией 5-10 атомных процентов применяется для создания структур кремний на изоляторе по технологии Smart-Cut [1], методу, предложенному в [2,3], а так же для очистки объема пластины от примесей. Достижение данной концентрации химических элементов на заданной глубине в пластине достигается имплантацией соответствующих ионов дозами порядка $4-6 \times 10^{16}$ ат./см². Поэтому, с точки зрения удешевления данных технологий, интерес представляет возможность управляемой трансформации дефектного слоя путем предварительной имплантации водорода или гелия дозами менее 1×10^{16} ат./см². Дальнейшее развитие слоя происходит в результате геттерирования на нем водорода, вводимого в пластины из плазмы, и последующих отжигов при определенных температурах и соответствующей длительности. Главная цель данных исследований – определение экспериментальных условий, при которых после ионной имплантации и плазменной обработки на поверхности пластин кремния образуется минимальное количество дефектов.

Стандартные пластины Cz кремния n-типа $4.5 \Omega\text{-cm}$ имплантировались ионами гелия при комнатной температуре с энергией 300 кэВ и дозой $1 \cdot 10^{13}$, $5 \cdot 10^{14}$, $1 \cdot 10^{15}$ или $5 \cdot 10^{15}$ ат./см².

Рассчитанный проективный пробег R_p имплантированных ионов при комнатной температуре эквивалентен 2 мкм. После внедрения ионов гелия образцы отжигались в вакууме при температуре 800°C в течение 1 часа. После этого, водород вводился в кремний из DC плазмы при 350 или 450°C . Обработка образцов для каждой из температур проводилась одновременно для всех образцов, имплантированных разными дозами. Энергия ионов во время плазменной обработки составляла 2 кэВ, длительность обработки 30 минут при плотности тока 3 мкА/см^2 . Изучение поверхности проводилось при помощи оптического и сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) LEO 4550. Спектры комбинационного рассеяния (КР) снимались при комнатной температуре на микроспектрометре, с использованием Ar^+ лазера с длиной волны 488 нм и выходной мощностью 20 мВт. Лазерное излучение фокусировалось на образце с использованием микроскопа (увеличение $\times 100$). Рассеянный сигнал анализировался с использованием дифракционной решетки (1800 мм^{-1}) и охлаждаемой ПЗС матрицы.

На рисунке 1 представлен образ поверхности полученный методом СЭМ (рис. 1а), и результаты КР (рис.1 б), полученные от пластин кремния, имплантированных гелием дозой ($0.01, 0.1, 1$ и $5 \cdot 10^{15} \text{ ат/см}^2$), отожженных при 800°C в течении 60 минут и обработанных в плазме водорода при 350°C .

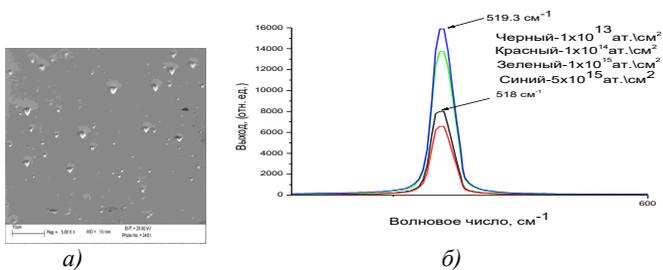


Рис. 1(а,б). Образ СЭМ поверхности образца кремния, содержащего поверхностные дефекты (а), и данные КР (б) для образцов кремния n-типа, $4.5 \Omega\text{-см}$, имплантированных гелием дозой ($0.01, 0.1, 1$ и $5 \cdot 10^{15} \text{ ат/см}^2$), отожженных при 800°C в течении 60 минут, и обработанных в плазме водорода при 350°C .

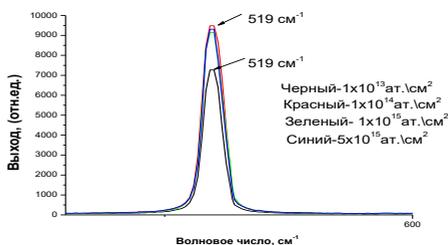
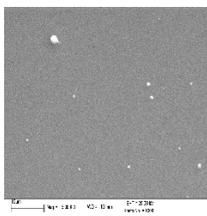


Рис. 2(а,б). Образ СЭМ поверхности образца кремния, содержащего поверхностные дефекты (а), и данные КР (б) для образцов кремния p-типа, $4.5\Omega\cdot\text{cm}$, имплантированных гелием дозой $(0.01, 0.1, 1 \text{ и } 5) \cdot 10^{15} \text{ ат./см}^2$, отожженных при 800°C в течении 60 минут, и обработанных в плазме водорода при 450°C .

На рисунке 2 представлен образ поверхности полученный методом СЭМ (рис. 2а), и результаты КР (рис.2 б), полученные от пластин кремния, имплантированных гелием дозой $(0.01, 0.1, 1 \text{ и } 5) \cdot 10^{15} \text{ ат./см}^2$, отожженных при 800°C в течении 60 минут и обработанных в плазме водорода при 450°C .

Как видно из представленных на рисунках 1а и 2а данных СЭМ, после обработки пластин кремния в плазме водорода на их поверхности образуются дефекты с плотностью распределения, зависящей от температуры плазменной обработки. Сопоставим эти данные с результатами КР для основной линии кремния (521 см^{-1}), представленными на рисунках 1б и 2б. Интенсивность пика зависит от дозы имплантированного гелия и максимальна для образцов, имплантированных флюенсом $5 \cdot 10^{15} \text{ ат./см}^2$. Местоположение максимума пика имеет значение 518 см^{-1} для образцов, имплантированных флюенсом $(0.1 \text{ и } 1) \cdot 10^{14} \text{ ат./см}^2$ и обработанных при 350°C . Для образцов обработанных при 450°C , для любых доз имплантации, а так же обработанных при 350°C , и имплантированных гелием дозами $(1 \text{ и } 5) \cdot 10^{15} \text{ ат./см}^2$, это значение составляет 519 см^{-1} . Согласно исследованиям [4], изменение интенсивности сигнала КР, в частности его уменьшение, свидетельствует о появлении дополнительных дефектов по сравнению с исходным кремнием. Сдвиг линии сопоставляется

тому, какие напряжения эти дефекты вносят: растяжения или сжатия. Наблюдаемые напряжения растяжения характерны в случае аморфизации поверхности пластин кремния, обусловленной как результатом ионной имплантации, воздействием плазмы водорода, а так же присутствием в решетке кремния водорода.

Итак, кратко суммируем полученные результаты СЭМ и КР:

1. На поверхности пластин кремния, предварительно имплантированных гелием, отожженных и обработанных в плазме водорода при выбранных условиях обработки, формируются поверхностные дефекты.

2. С увеличением температуры плазменной обработки количество поверхностных дефектов уменьшается.

3. Максимальное количество поверхностных дефектов наблюдается при минимальных дозах имплантированного гелия. С увеличением дозы имплантации количество поверхностных дефектов уменьшается.

Полученный результат, а именно, уменьшение количества поверхностных дефектов с увеличением дозы имплантированного гелия и увеличения температуры во время плазменной обработки, косвенно свидетельствует о том, что для формирования эффективного глубинного геттерного слоя достаточно дозы имплантированного гелия 1×10^{14} ат./см².

Литература

1. Terreault, B. Hydrogen blistering of silicon: Progress in fundamental understanding / B. Terreault // *Physica Status Solidi. A.* – 2007. – Vol. 204, № 7. – P. 2129–2184.
2. Frantskevich, N. Buried Insulating Layer Formation in Cz Si Wafers after Helium Implantation, Nitrogen Plasma Treatment and Annealing / N. V. Frantskevich, A. V. Frantskevich, A. K. Fedotov, A. V. Mazanik // *Solid State Phenomena.* – 2009. – Vol. 156 – 158. – P.91 – 94.
3. Frantskevich, A. Formation of nanotubes in Cz Si wafers using He+ implantation and subsequent O+- or N+-plasma treatment /A.V.

Frantskevich и др. // Vacuum. – 2009. – Vol. 83, Supplement 1. – P. S103–S106.

4. De Wolf, I. Micro-Raman spectroscopy to study local mechanical stress in silicon integrated circuits / Ingrid De Wolf // Semiconductor Science and Technology. – 1996. – Vol. 11, № 2. – P. 139–154.

УДК 535

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ НАГРЕТОГО ТЕЛА И МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

Смурага Л.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

На рис.1 изображена схема установки, на которой обрабатывался метод определения степень черноты нагретого тела и максимальной длины волны излучения. В качестве нагретого тела использовалась лампа накаливания 1. С помощью блока питания 4 и коммутационного блока 5 подавалось напряжение U на лампу 1. Напряжение регистрировалось вольтметром В7-27А/1 2, а сила тока I – с помощью В7-27А/1, адаптированного под амперметр 3.

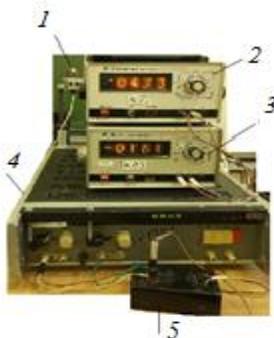


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

С помощью этой установки снималась вольтамперная характеристика (ВАХ) лампы накаливания. По ней определялось дифференциальное сопротивление

$$R_{\dot{A}} = \frac{dU}{dI}$$

для нелинейного элемента - нити накала лампы – источника излучения. Температура нити накала находилась по формуле

$$T = 273 + \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R}{R_0} - 1 \right).$$

Сопротивление нихромовой нити R_0 при 0°C и её термический коэффициент α известны; при этом сопротивление нити накала следует принимать как дифференциальное: $R = R_{\dot{A}}$.

Энергетическая светимость абсолютно черного тела согласно закону Стефана – Больцмана

$$R_e = \sigma T^4,$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана, T - температура нагретого тела.

Энергетическая светимость серого тела

$$R_e^c = \varepsilon \sigma T^4,$$

где ε – степень черноты нагретого тела.

Подводимая к спирали электрическая мощность $P = IU$ в основном, идет на излучение нагретым телом, поэтому, с некоторым приближением можно считать, что

$$P = sR_e^c = s\varepsilon\sigma T^4,$$

где s – площадь спирали лампы накаливания. Отсюда

$$\varepsilon = \frac{P}{s\sigma T^4}.$$

Чтобы определить среднее значение степени черноты нити накала лампы, в исследуемом интервале температур строят линейную зависимость $P = f(T^4)$ и определяют тангенс угла наклона графика к оси температур $tg\varphi$. Окончательный вид рабочей формулы для среднего значения степени черноты:

$$\varepsilon = \frac{tg\varphi}{s\sigma}.$$

Используя закон Вина, по температуре источника излучения находят длину волны, на которую приходится максимум излучения нагретого тела:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T},$$

где b - постоянная Вина.

Литература

1. Трофимова, Т.И. Физика в таблицах и формулах: учеб. пособие // Т.И. Трофимова. – М.: Дрофа, 2004. – 432 с.

КОНЦЕПЦИЯ «УМНОГО ГОРОДА»

Симонова-Лобанок М.П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

По данным ООН к 2050 году 75 % населения планеты «Земля» будут жить в городах. С ростом числа городского населения будет расти и количество мегаполисов, и количество проблем в них. С одной стороны мегаполисам нужно дать возможность расти, но при этом снижать вредное воздействие на окружающую среду, создавать комфортные условия для проживания в них. В конце XX века появился термин «Умный город (Smart City). Главной проблемой для мегаполисов в то время была экология, поэтому первой концепцией умного города была идея «города-сада» - автономного многофункционального жилого массива. Концепцию Smart City начали внедрять мегаполисы по всему миру – Амстердам, Барселона, Нью-Йорк, Стокгольм, Сингапур, Москва, Токио и десятки других городов. Концепция «умного города» в наши дни является одной из самых популярных в сфере инновационных технологий. Но трактовка этого понятия у разных стран и организаций отличаться. К примеру, компания IBM, которая считается одним из основных разработчиков решений для «умного города» определяет его через три ключевых качества - оснащенный, объединенный и интеллектуальный. В Европарламенте считают, что «умный город» - это такой город в котором общественные проблемы решаются за счет инфокоммуникационных ресурсов. В Швеции, России, Беларуси описывают Smart City как «инновационный город», в котором комплексно внедряются решения во благо жителей и среды их обитания. К тому же разработкой концепции «Умный город» в разных странах занимаются разные организации и ведомства. Так, в России заниматься разработкой концепции «умного города»

поручено Министерству строительства. В Республике Беларусь, Министерству связи и информации была поручено разработать аналогичную концепцию. В 2019 г приказом Министра связи и информации РБ утверждена Типовая концепция развития «умных городов» в РБ. Во главу угла в Типовой концепции поставлен человек. Именно для его комфорта и удобства необходимо внедрять новые технологии. Толчком для дальнейшего развития концепции «умных городов» даст внедрение технологий 5G- пятого поколения мобильной связи. В результате этого, города должны стать удобными, безопасными и информативными для людей

Несмотря на все различия, как в определении, так и в подходах решения данной проблемы, тем не менее, можно выделить четыре опоры, на которых держится концепция «умный город» – это интернет вещей, эффективное городское хозяйство, комфортное проживание людей, вовлечение горожан в решение насущных проблем города. Основные направления формирования умного города:

1. Активность граждан в решении городских проблем.
2. Цифровой двойник города.
3. Умное жилищно-коммунальное хозяйство.
4. Умная городская среда.
5. Транспорт Smart City.
6. Безопасность жизни в городе.
7. Экология.

Несколько слов о цифровом двойнике города. Цифровой двойник города – прототип города реального, на базе которого можно анализировать жизненные циклы объекта, его реакцию на возможные изменения и внешние воздействия. Это точное отображение реального города в цифровой реальности, информация к которому поступает с различного рода датчиков, систем мониторинга и счетчиков ресурсов. Цифровой двойник поможет синхронизировать и связать воедино все внутренние структуры города: водоснабжение, электрификацию, газоснабжение, загруженность дорог, услуги здравоохранения и образования, экологическое состояние города. Благодаря цифровой копии можно ставить виртуальные опыты, прогнозировать поведение города или

отдельных его систем. Полученный опыт можно перевести в реальность, если он удачен, либо отказаться от него, если он негативен. Все это при минимальных затратах, экономии времени и без ущерба для реального города.

К беспрецедентному росту населения и площади городов на земле привела индустриализация. Чем больше росло население города, и его площадь, тем слабее становились связи между его жителями. Городские власти стали исполнять роль посредника между горожанами. Со временем, власть, которой была наделена городская администрация, лишь росла, равно, как и рос перечень её компетенций. Такое положение дел в городах длилось не один десяток лет. Возникновение интернета, особенно мобильного, предоставило новую инфраструктуру, заполнившую вакуум между жителями города. Никто не мог подумать, что интернет посягнет на основную роль местных властей как посредника между жителями. Какими бы большими не были города, благодаря интернету, у жителей появилась возможность создавать независимые координационные платформы. У местных властей не стало монополии на посредничество между людьми. Мобильные технологии меняют распределение власти в современном городе. Кто сильнее всего влияет на жизнь города? Раньше это был мэр и его чиновничий аппарат. Сейчас же инициаторами изменений все чаще становятся технологические организации. Новые технологические возможности привели к возникновению частных городских систем. Самые успешные и заметные, на сегодняшний день, находятся в транспортной сфере – такси, городской наземный транспорт, парковки. Несколько мобильных приложений, связывающих на прямую клиентов и поставщиков услуг, изменили функции городских властей в этом направлении. Таким образом, с появлением интернета, городские власти начали утрачивать свои монопольные функции на некоторые виды услуг. В такой ситуации, с чего надо начинать строить «умный город»? Снизу - инициатива горожан или сверху- инициатива чиновников. Однозначного ответа на данный вопрос не существует т.к в каждой стране в руках городских властей находится разная доля городской собственности. Например, в РБ, в руках городских властей

сосредоточена, законодательная, исполнительная и финансовая власть. Следовательно, в Беларуси начинать реализовывать данную концепцию надо сверху. Об этом, кстати, прямо записано в Типовой концепции развития умных городов в РБ. Но, по мере внедрения в жизнь концепции «Умный город» инициатива по ее реализации должна переходить от чиновников к жителям городов.

В настоящее время, основные составляющие умного города развиваются независимо друг от друга. ЖКХ, транспорт, экология и т.д. имеют свои проекты развития. Получаемая ими по своим системам и каналам информация, принадлежит только им. Конечная техническая составляющая умного города – объединение всех систем в одно целое. Только тогда концепция «умный город» сможет выполнять свои функции в полном объеме. Сегодня человечество захлебывается в потоках информации. А средств комплексной обработки огромного массива данных нет. На пути реализации концепции «умный город» встают две глобальные технические проблемы – создание единого центра управления городом и наличие в нем систем обработки информации, которые в состоянии обработать весь массив полученных данных. Проекты городов будущего воплощаются в жизнь. Примером может служить город Сонгдо в Южной Корее, который строится с 2003 г., и его стоимость оценивается в 35 млрд. долларов США. Инфраструктура Сонгдо основана на сетевых технологиях, объединяющих все эксплуатационные системы в единое целое. С помощью этих систем, жители смогут управлять средой своего обитания. Одним нажатием кнопки в удаленном режиме они смогут управлять всеми процессами у себя дома. Каждый житель города имеет смарт-карту, которая является его личным ключом ко всему городу: поездка в метро, оплата парковочного места, прокат общественного транспорта и т.д. При этом карта не идентифицирует пользователя соответствующих услуг. Для Сонгдо была разработана уникальная система утилизации отходов: в домах установлены пневматические мусоропроводы, которые не только «всасывают» бытовой мусор, но и сортируют его. В Сонгдо уже живут более 40 тысяч человек и еще примерно столько же ездят сюда каждый день на работу.

Завершенных проектов умных городов практически нет. Создание Smart City, трудоемкий и наукоемкий процесс, требующий больших денежных вложений. Обработка больших потоков информации требует больших энергетических затрат, а для хранения данных нужны мощные сервера. Все это не является непреодолимым препятствием внедрения IT- технологий в повседневную жизнь.

С одной стороны, надо понимать, что в системе умных городов, человек, как дитя природы, станет совершенно незащищенным перед ней. У человека перестанет нормально работать иммунная система, вырабатываться инстинкт самосохранения. Поэтому очень важно, чтобы человечество нашло разумный баланс между законами природы и научно-техническим прогрессом.

УДК 538.97

РАСЧЁТ НАПРЯЖЕНИЙ В АЛМАЗЕ, ИМПЛАНТИРОВАННОМ ИОНАМИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Хорунжий И.А., Мартинович В.А.,
Русецкий М.С., Казючиц В.Н., Казючиц Н.М.
(*Белорусский национальный технический университет,
Белорусский государственный университет*).

Одним из основных технологических инструментов при создании приборных структур на основе алмаза является ионная имплантация [1]. Неизбежный недостаток этой технологии – образование в имплантированном кристалле большого числа вакансий и смещенных атомов. Известно, что радиационные повреждения кристаллической решетки приводят к её разбуханию [2]. Таким образом, на границе между облученным и неповрежденным слоями кристалла возникают механические напряжения. При внедрении ионов с низкими энергиями (десятки, сотни кэВ) имплантированный слой локализован близко (менее 1 мкм) к поверхности и напряжения в значительной степени уменьшаются за счет этого. При имплантации высокоэнергетических ионов (десятки, сотни МэВ) облученный

слой составляет десятки микрометров, что позволяет накапливать в имплантированном слое алмаза гигантские напряжения. Напряжения в этом случае распространяются на большую глубину и распределены неравномерно [2].

Цель работы – численное моделирование распределения напряжений в имплантированном ионами Хе с энергией 167 МэВ алмазе.

В работе [2] с использованием метода комбинационного рассеяния света (КРС) исследовано распределение напряжений в алмазе, имплантированном ионами Хе с энергией 167 МэВ. Величина напряжений определялась по сдвигу Рамановской линии 1332 см⁻². Значения среднего пробега ионов Хе и значения разброса пробега, рассчитанные с помощью программы TRIM, составили 10.67 мкм и 0.44 мкм, соответственно. Распределение напряжений зависело от дозы имплантации. Для низких доз имплантации за пробегом ионов напряжения, приводящие к расширению решетки, уменьшались с глубиной. Для высоких доз имплантации распределение напряжений за пробегом имело более сложный характер: за областью расширения решетки следовала область сжатия, которая монотонно релаксировала с глубиной.

Для моделирования использовалась имплантация ионов с флюенсом $3.55 \cdot 10^{14}$ см⁻². Облученная область пластины алмаза реального размера разбивалась на две части, одна из которых (до глубины залегания примеси) содержит вакансии, другая (глубина залегания примеси) – вакансии и ионы примеси. Вводились численные значения концентраций вакансий и примеси, полученные из TRIM. В использованной компьютерной программе есть возможность моделирования термонапряжений. В связи с этим подобраны соответствующие коэффициенты объемного температурного расширения, соответствующие определенным концентрациям вакансий и примеси, для разных слоев пластины, которые позволили получить значения давлений, эквивалентные напряжениям, возникающим вследствие имплантации.

На рисунке 1 представлена модель алмазной пластины после имплантации. Видно, что имплантация приводит к изгибу всей пластины, как наблюдалось в экспериментах [2].

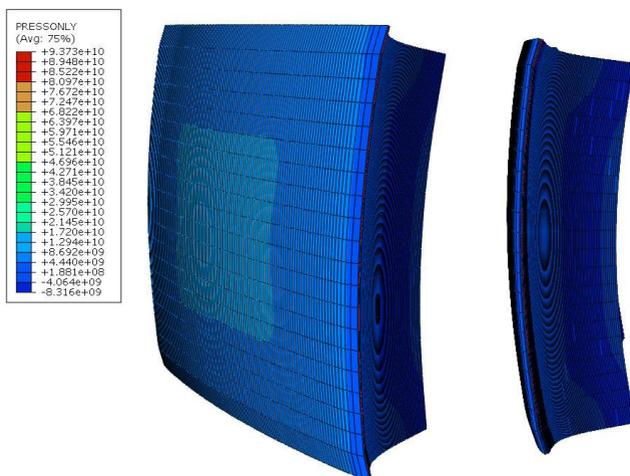


Рис.1. Модель алмазной пластины, имплантированной ионами Хе с энергией 167 МэВ флюенсом $3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$

В приповерхностном облученном слое рассчитанное значение давления совпадает с экспериментальным и составляет $2,9 \times 10^9$ Па. На глубине залегания примеси получены завышенные значения, что может быть связано с тем, что в этой области надо учитывать механизмы, приводящие к значительному уменьшению концентрации вакансий.

На рисунке 2 показано распределение давления вдоль торца алмазной пластины от проективного пробега ионов Хе до противоположной неимплантированной поверхности. Распределения приведены для боковой поверхности пластины (кривая 0 мкм) и для поперечного сечения пластины на расстоянии 25 мкм от боковой поверхности (кривая 25 мкм). Расстояние 25 мкм соответствует максимальной глубине возбуждения КРС при поперечном сканировании в экспериментах [2].

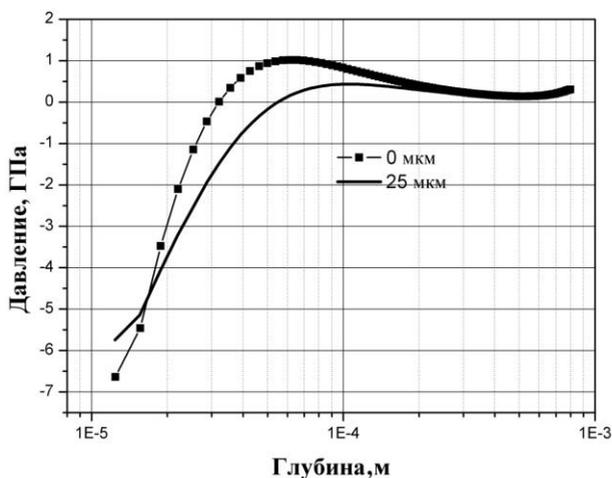


Рис.2. Распределение давления вдоль торца алмаза по середине боковой поверхности (■) и на глубине 25 мкм от поверхности (--). Отрицательные значения соответствуют расширению решетки, положительные – сжатию.

Как видно из рисунка 2, вид поперечного распределения возникающих давлений зависит от расстояния до периметра пластины. Так, на боковой поверхности расширение решетки, соответствующее отрицательным значениям давления, на глубине 30 мкм меняется на сжатие, что соответствует положительным значениям давления. Сжатие усиливается до 70 мкм и не исчезает вплоть до противоположной грани. Кривая, снятая на расстоянии 25 мкм от боковой поверхности, показывает, что смена расширения решетки на сжатие происходит на глубине 70 мкм.

Анализ рассчитанных и экспериментальных результатов показал, что наблюдается хорошее качественное и количественное соответствие между данными [2], полученными на основе анализа спектров комбинационного рассеяния алмаза, облученного ионами Хе с энергией 167 МэВ флюенсом $3.55 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, и результатами численного моделирования. Обнаружено, что расширение решетки в облученном слое приводит к изгибу всей алмазной пластины, где

необлученная часть алмаза находится под действием сжимающих напряжений, распределение которых носит сложный характер.

Литература

1. Вавилов В. С. Возможности и ограничения ионной имплантации в алмаз и их сопоставление с другими методами введения электрически активных примесей // Успехи физических наук. 1994. Т. 164. № 4. С. 429 – 433.

2. 3. Raman scattering in diamond irradiated with high-energy xenon ions / N.M.Kazuchits, O.V.Korolik, M.S.Rusetsky, V.N.Kazuchits, N.S.Kirilkinb, V.A.Skuratov // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2020. Т. 472. С. 19 – 23.

УДК 539.16.08+004.42

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВРЕМЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ СЧЕТЧИКА ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO

Качан С.М.¹, Мингалеев С.Ф.²

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

²VPI Development Center, Минск, Беларусь

Счетчик Гейгера-Мюллера (ГМ) является одним из самых распространенных типов детекторов ионизирующего излучения благодаря простоте конструкционного исполнения и невысокой стоимости. Однако к числу недостатков такого типа детекторов следует в первую очередь отнести большое разрешающее время τ , т.е. минимальный промежуток времени, которым должны быть разделены пролёты частиц через счетчик для того, чтобы они были зарегистрированы отдельно.

Этот интервал времени для счетчика ГМ составляет от нескольких микросекунд до нескольких миллисекунд, и формируется из двух составляющих: (I) мертвое время самого детектора, известное как собственное мертвое время, и (II)

коллективное мертвое время, возникающее в результате работы схемы обработки импульсов. Важность точного определения разрешающего времени обусловлена существенными искажениями при подсчетах числа зарегистрированных импульсов от высокоактивных источников и необходимостью соответствующей коррекции их числа.

В данной работе мы предлагаем способ исследования разрешающего времени, а также его отдельных составляющих на базе разработанной нами учебной лабораторной установки, в которой в качестве детектора ионизирующего излучения используется счетчик Гейгера-Мюллера. Прямой доступ к управлению режимами работы счетчика, реализованный с помощью платформы Arduino, позволяет определять временные характеристики газоразрядного детектора не только в результате обработки экспериментальных данных по скорости счета, но и путем непосредственного наблюдения временной развертки импульса на экране осциллографа.

Внешний вид лабораторной установки представлен на рис.1. Прибор содержит в качестве детектора цилиндрический счетчик Гейгера-Мюллера J305, способный регистрировать гамма-излучение и жесткое бета-излучение.

Для безопасности использования требуемое высокое напряжение на трубке счетчика получается от литиевого аккумулятора с использованием маломощного DC-DC преобразователя напряжения. Выходное напряжение преобразователя регулируется потенциометром в пределах от 230 до 600 вольт. Возникающий в момент регистрации импульс тока поступает через усилитель одновременно на вход осциллографа для отображения его временной развертки, и на вход микроконтроллера для автоматизированной обработки сигнала.

Для стандартных газоразрядных счетчиков с непродлевающимся мертвым временем соотношение между средней скоростью n поступления событий и средней скоростью m их регистрации определяется формулой (2.3) из [1]:

$$n = \frac{m}{1 - m\tau}$$

Это соотношение может быть использовано для экспериментальной оценки значения τ по результатам измерения скорости регистрации событий m_i для нескольких источников (пронумерованных индексом i) по отдельности и скорости регистрации событий m_Σ для всех источников вместе.

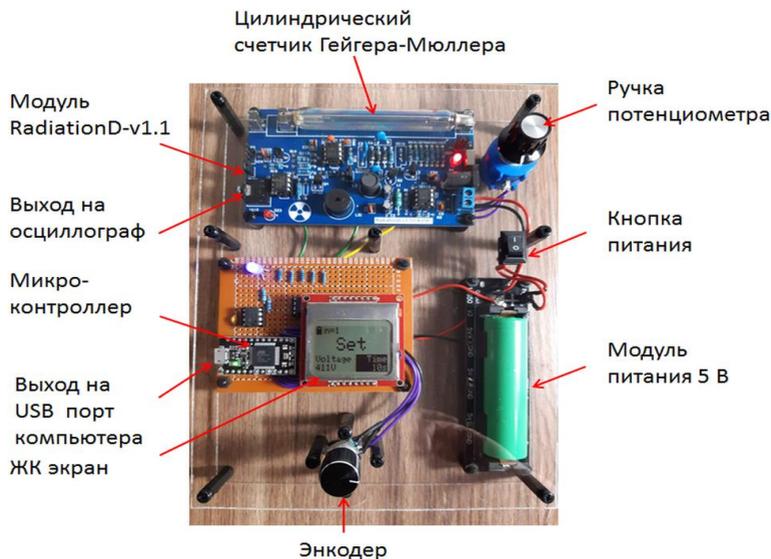


Рис. 1. Внешний вид лабораторной установки

Как показано в уравнении (2.7) в [1], с учетом того, что $\sum_{i=1}^k n_i = n_\Sigma$, разрешающее время системы может быть рассчитано в приближении $m_\Sigma \cdot \tau \ll 1$ по формуле:

$$\tau \approx \frac{\sum_{i=1}^k m_i - m_\Sigma}{m_\Sigma^2 - \sum_{i=1}^k m_i^2}$$

Эта формула является сейчас общепринятой для экспериментальной оценки значения τ - она используется как во

многих лабораторных практикумах, так и в практической работе. Однако, как мы покажем ниже, при её использовании часто нарушается условие $m_{\Sigma} \cdot \tau \ll 1$, которое использовалось при её выводе. На практике, это приводит к переоценке значения τ , иногда на десятки процентов.

При этом, для ускорения проведения работы на практике обычно используются только два источника – и в этом случае уравнение $n_1 + n_2 = n_{\Sigma}$ является простым квадратным уравнением, которое можно решить точно, без использования приближения $m_{\Sigma} \cdot \tau \ll 1$. Такое решение даёт нам более точное значение для разрешающего времени:

$$\tau = \frac{1}{m_{\Sigma}} \left(1 - \sqrt{\frac{(m_{\Sigma} - m_1)(m_{\Sigma} - m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \right)$$

Для проверки этого решения, был выполнен эксперимент с двумя бета-источниками разной мощности. Результаты серии из четырёх таких экспериментов суммированы в таблице 1. Здесь колонки M_1 , M_2 , и M_{Σ} – это полные числа отчётов за время $t = 10$ минут от первого источника, от второго источника, и от обоих источников сразу, соответственно. Колонки m_1 , m_2 , и m_{Σ} – это скорости регистрации частиц от первого источника, от второго источника, и от обоих источников сразу, соответственно, после вычета скорости m_0 регистрации частиц без источников (для учета вклада естественного фона). Значение m_0 определялось в течении 30 минут и составило $0,431 \text{ с}^{-1}$. Две последние колонки дают разрешающее время системы, рассчитанное по приближенной и точной формулам, соответственно.

Таблица 1

Эксперимент	M_1	M_2	M_{Σ}	$m_1, \text{с}^{-1}$	$m_2, \text{с}^{-1}$	$m_{\Sigma}, \text{с}^{-1}$	τ , мкс прибл.	τ , мкс точное
1	318878	62270	367608	531,032	103,352	612,249	269,373	215,929
2	318884	61844	366996	531,042	102,642	611,229	277,017	220,894
3	319418	62408	367915	531,932	103,582	612,761	278,170	221,508
4	319856	62312	368508	532,662	103,422	613,749	271,508	217,194
1+2+3+4	1277036	248834	1471027	531,667	103,250	612,497	274,009	218,882

Как видим, разрешающее время системы, рассчитанное по приближенной формуле, превышает время, рассчитанное по точной формуле на ~25% или ~55 мкс, соответственно. Такое значительное различие между этими временами определяется тем, что в данном эксперименте $m_2 \cdot \tau \approx 0,13$ хоть и существенно меньше единицы, но всё-же не является пренебрежимо малой величиной.

Интересно сравнить оба найденные времени с длительностью отдельных импульсов на осциллограммах импульсов тока, проходящих через трубку Гейгера-Мюллера при детектировании бета-частиц. На рис. 2 приведён характерный пример такой осциллограммы, снятой при тех же условиях, что и эксперименты из таблицы 1. Согласно этим данным, разрешающее время системы ~219 мкс, рассчитанное по точной формуле, очень хорошо согласуется с длительностью каждого отдельного импульса. Время же, рассчитанное по приближенной формуле, очевидным образом завышено.



Рис. 2. Осциллограмма импульсов тока, проходящих через трубку Гейгера-Мюллера при детектировании двух бета-частиц, следующих друг за другом через минимально разрешимое время

Улучшить согласие между разрешающим временем системы, рассчитанным по обеим формулам можно, проведя аналогичный

эксперимент, но для источников меньшей интенсивности (просто отодвинув оба источника на большее расстояние от счетчика). Результаты серии из четырёх таких новых экспериментов суммированы в таблице 2 (как и ранее, каждый эксперимент проводился за время $t = 10$ минут).

Таблица 2

Эксперимент	M_1	M_2	M_{Σ}	$m_1, \text{с}^{-1}$	$m_2, \text{с}^{-1}$	$m_{\Sigma}, \text{с}^{-1}$	τ , мкс прибл.	τ , мкс точное
1	43277	10340	52367	71.6973	16.8023	86.8473	779.522	707.521
2	42906	10267	52979	71.0790	16.6807	87.8673	-45.017	-45.286
3	42772	10196	53195	70.8557	16.5623	88.2273	-325.12	-339.72
4	42596	10665	51902	70.5623	17.3440	86.0723	861.604	775.144
1+2+3+4	171551	41468	210443	71.0486	16.8473	87.2536	281.531	271.517

Как видим, в этом случае результаты каждого отдельного 10-минутного эксперимента являются совершенно ненадёжными (вплоть до получения отрицательных значений разрешающего времени) из-за недостаточной накопленной статистики отсчетов. Только суммарный 40-минутный эксперимент начинает давать адекватные (хотя еще и недостаточно точные) значения для разрешающего времени системы. При этом отличия между приближенным и точным значением теперь не превышают 4%, что согласуется с очень малым значением $m_{\Sigma} \cdot \tau \approx 0,02$ для данного эксперимента.

Можно сделать вывод, что приближённая формула для разрешающего времени системы даёт хорошую точность только при использовании достаточно слабых источников, для которых выполняется условие $m_{\Sigma} \cdot \tau \ll 1$. Однако, при использовании таких слабых источников время проведения эксперимента должно составлять несколько часов для получения достаточно надёжной статистики, что препятствует проведению данного эксперимента в рамках лабораторного занятия.

Таким образом, мы предлагаем эффективный и наглядный способ изучения характеристик временного разрешения и его составляющих для счетчика Гейгера-Мюллера с использованием разработанной лабораторной установки на базе платформы Ардуино. Данный подход позволяет экспериментально оценить разрешающее время счетчика с хорошей точностью, располагая

источниками невысокой активности за время порядка нескольких десятков минут, и может быть эффективно использован в лабораторном практикуме по изучению детекторов ионизирующего излучения.

Литература

1. Практикум по ядерной физике. Под редакцией В. О.Сергеева. СПбГУ, 2006.

УДК 517.968.21+517.958.71

АНАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕСКОНЕЧНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ ДРОБЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КОНСТРУКТИВНОЙ ТЕОРИИ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ТЕОРИИ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ

Роговцов Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В работе кратко описаны основные аналитические свойства бесконечных непрерывных дробей, которые играют ключевую роль в конструктивной теории (КТ) характеристических уравнений теории переноса излучения [1,2]. Эти дроби являются мероморфными функциями на множестве $C \setminus ((-i\infty, -i] \cup [i, +i\infty))$, где C - открытая комплексная плоскость. КТ и метод редукции общих соотношений инвариантности [3,4] позволяют эффективно решать сложные многомерные краевые задачи для уравнения переноса излучения. Особую роль в КТ играют аналитические свойства таких дробей [1,2]:

$$\gamma_0(v^2; m; \omega_0) = \left[1; \frac{q_0(m; \omega_0)v^2}{1}, \frac{q_1(m; \omega_0)v^2}{1}, \dots \right] \quad (1)$$

$$= 1 + \frac{q_0(m; \omega_0)v^2}{1 + \frac{q_1(m; \omega_0)v^2}{1 + \dots}};$$

$$\gamma_2(v^2; \theta \Delta) = \left[1; \frac{q_2(0 \Delta)v^2}{1}, \frac{q_3(0 \Delta)v^2}{1}, \dots \right]. \quad (2)$$

Здесь $m \in N_0 = \{0, 1, 2, \dots\}$, если $\omega_0 \in [0, 1]$, и $m \in N = N_0 \setminus \{0\}$, если $\omega_0 = 1$; v – параметр; для любых $(s, m) \in N_0 \times N_0$ и любых $\omega_0 \in [0, 1]$

величины $q_s(m; \omega_0) = (s+1)(s+1+2m) \left(\chi_s^\times(m; \omega_0) \chi_{s+1}^\times(m; \omega_0) \right)^{-1}$, где

$$\chi_s^\times(m; \omega_0) = (2(s+m)+1)(1 - \omega_0 f_{s+m}), \quad f_s = 2^{-1} \int_{-1}^1 P_s(\mu) p(\mu) d\mu \quad (P_s(\mu) -$$

полином Лежандра s -го порядка; фазовая функция $p(\mu) \in L_2(-1, 1)$, является неотрицательной на $[-1, 1]$ и нормирована условием

$$\int_{-1}^1 p(\mu) d\mu = 2).$$

Теорема 1. Бесконечные непрерывные дроби (1), (2) являются аналитическими функциями относительно параметра V на множестве $C \setminus (-i\infty, i\infty)$ и могут иметь нули и полюсы только первого порядка и только на интервале $(-i, i)$.

Для приложений представляет интерес установление условий, при выполнении которых на заданном отрезке $[-i\Delta, i\Delta]$ мнимой оси будут отсутствовать нули функции $\gamma_0(v^2; m; \omega_0)$.

Теорема 2. Пусть $\{\Delta_l\}_{l \in N}$ – неубывающая последовательность, все члены которой принадлежат интервалу $(0, 1)$ и $m_0(\Delta_l, \omega_0)$ – наименьшее из чисел из множества N_0 , для которого имеет место

неравенство $\Delta_l < 1 - \omega_0 \left[\sum_{s=m_0(\Delta_l, \omega_0)}^{+\infty} f_s^2 \right]^{1/2}$. Тогда для любых

$m \geq m_0(\Delta_l, \omega_0)$ бесконечная непрерывная дробь $\gamma_0(v^2; m; \omega_0)$, определенная формулой (1), может иметь нули только на множестве $(-i, i) \setminus [-i\Delta_l, i\Delta_l]$.

Теорема 3. Для любых конечных $m \in \mathbb{N}_0$ и любых $v \in B = C \setminus ((-i\infty, -i] \cup [i, +i\infty))$ бесконечная непрерывная дробь $\gamma_0(v^2; m; \omega)$ является аналитической функцией которая не имеет нулей на множестве B .

Бесконечные непрерывные дроби (1),(2) не могут иметь нулей в точках, лежащих на мнимой оси и находящихся на сколь угодно близком расстоянии от точки $v = 0$. В частности, верна

Теорема 4. Пусть величины f^{**} и f^{***} являются точными верхними гранями множеств $\{f_r\}_{r \in \{2, 3, \dots\}}$ и $\{f_k\}_{k \in \{3, 4, \dots\}}$ соответственно. Тогда бесконечная непрерывная дробь $\gamma_2(v^2; \Delta)$ не имеет нулей на отрезке $[-i\Delta, i\Delta]$, где $\Delta = \frac{2}{3} \sqrt{(1 - f^{**})(1 - f^{***})}$.

Замечание. Имеет место неравенство $\sup\{f_r\}_{r \in \mathbb{N}} < 1$.

Результат, аналогичный утверждению теоремы 4 имеет место и для бесконечной непрерывной дроби $\gamma_0(v^2; m; \omega_0)$.

Литература

1. Rogovtsov N.N. Constructive Theory of Scalar Characteristics Equations of Theory of Radiation Transport:I. Basic Assertions of the Theory and Conditions for the Applicability of the Truncation Method. Differential Equations, 2015, Vol.51, No2, pp.268-281.
2. Rogovtsov N.N. Constructive Theory of Scalar Characteristics Equations of Theory of Radiation Transport:II. Algorithms for

Finding Solutions and Their Analytic Representations. Differential Equations, 2015, Vol.51, No5, pp.661-673.

3. Rogovtsov N.N. General Invariance Relations Reduction Method and Its Applications to Solutions of Radiative Transfer Problems for Turbid Media of Various Configurations, in Light Scattering Reviews, Kohanovsky A.A., Ed, Chichester, 2010, vol.5, pp.249-327.
4. Rogovtsov N.N., Borovik F. Applications of General Invariance Relations Reduction Method to Solution of Radiation Transfer Problems. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2016, Vol. 183, pp. 128-153.

УДК 51-74

ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Лебедева Г.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Задача размещения АТП принадлежит к типу экстремальных, т.е. ее решение осуществляется методом выбора из всех возможных вариантов при принятых критериях.

Первой попыткой решения рассматриваемой задачи было применение алгоритма открытой модели транспортной задачи. Целевая функция представлялась в виде

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min ,$$

где C_{ij} – сумма затрат на единицу продукции; X_{ij} – объем поставок продукции из пункта i в пункт j .

Институтом экономики строительства г. Москвы был предложен специальный метод выбора решения такой задачи. По предложенному методу были проведены расчеты по ряду регионов. Определялись такие варианты размещения предприятий, чтобы затраты на перевозку были минимальными. Решение получалось не оптимальное, а приближенное.

В дальнейшем сибирским отделением академии наук России была разработана методика поэтапного моделирования задач размещения производства. По этой методике выбираются факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на размещение предприятия, а затем на их основе осуществляется решение. Для решения таких задач Г.А. Аганбегян предложил дельта-метод оптимального программирования. В данном методе при решении задачи на минимум сначала выбираются варианты с самой низкой себестоимостью, а затем уже из них выбирается тот вариант, который будет удовлетворять выделенным требованиям. Этот метод на каждом шаге позволяет еще учитывать различную дополнительную информацию. С его помощью была решена задача по реконструкции шахт Кузбаса.

Е.П. Нестеров предложил метод решения задачи, учитывающий верхнюю и нижнюю границы объемов производства.

Ю.Ю. Финкельштейн использовал итерационный метод, учитывающий ограничения на капвложения. Многократно применяя алгоритм транспортной задачи, получаем решение с заданной точностью. Главным недостатком этого метода является большая трудоемкость вычислений.

Г.Д. Рахманин разработал табличный метод решения задачи динамического программирования.

В.А. Маш предложил метод фиктивной диагонали и метод последовательного пересчета издержек для решения задач размещения. В качестве целевой функции у него принят минимум суммы транспортных и производственных издержек.

Решение задачи осуществляется при условии, что возможности поставщиков и потребности потребителей совпадают. Для этого каждый промежуточный этап представляется парой – поставщик-потребитель. Следовательно, получается многоэтапная транспортная задача. Именно метод последовательного перерасчета издержек позволяет свести исходную задачу к транспортной.

Разработанная НИИАТом методика предназначена для определения рациональной схемы размещения грузовых и пассажирских АТП в городах.

В качестве критерия оптимальности принимается минимум затрат на техническое обслуживание и ремонт, строительство и реконструкцию АТП, на нулевые пробеги при полном удовлетворении потребности микрорайонов города в подвижном составе.

Решение осуществляется с помощью алгоритма транспортной задачи. Для этого предварительно составляется специальная таблица. В ней по вертикали указываются пункты возможного размещения АТП и их максимальная мощность; по горизонтали – потребители автотранспорта и их потребности. Имеется также столбец фиктивных потребителей. В правом верхнем углу каждой клетки ставится общая сумма затрат на единицу подвижного состава.

По полученному в процессе решения набору АТП и их мощностям определяется целевая функция F .

В отличие от методики, которую предложил В.А. Маш, в рассматриваемой таблице строки, соответствующие полному прикреплению к фиктивному потребителю, исключаются из дальнейшего рассмотрения.

Процесс преобразования матриц продолжается до тех пор, пока общая сумма расходов новой матрицы не будет равна ее предыдущей сумме. Пункты возможного размещения АТП определяются по наличию свободных площадей города. Маршруты составляются так, чтобы минимизировался не нулевой, а холостой пробег автомобилей. Потребность в перевозках определяется путем составления транспортного баланса. Подвижной состав, как правило, задается. При этом тягачи с полуприцепами приравниваются к автомобилям соответствующей грузоподъемности.

Для пассажирских перевозок потребность в подвижном составе N рекомендуется определять по формуле

$$N = \frac{Q \cdot l_{\text{cp}} \cdot b_1 \cdot b_2 \cdot b_3}{DT_{\text{cp}} g_{\text{cp}} \delta v_3},$$

где l_{cp} – средняя дальность поездки, км; T_{cp} – время работы автобуса за сутки, ч; b_1, b_2, b_3 – коэффициенты неравномерности

пассажиропотока по часам суток, направлениям и месяцам года; Q – ожидаемый объем перевозок, чел.; v_3 – эксплуатационная скорость; D – число календарных дней в году..

В настоящее время для решения задачи размещения применяется и комбинаторный метод.

Литература

1. Афанасьев, Л.Л., Автомобильные перевозки / Л.Л. Афанасьев, С.М. Цукерберг. М., Транспорт, 1973.
2. Вентцель, Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель М., Сов. радио, 1972.
3. Ковалев, М.М. Дискретная оптимизация / М.М. Ковалев. Минск, Изд-во БГУ им. В.И. Ленина, 1977.
4. Спирин, И.В. Исследование вопросов выбора и распределения подвижного состава на городских автобусных маршрутах / И.В. Спирин. М., НИИАТ, 1979.

УДК 519.1

ЗАДАЧА КОММИВОЯЖЁРА НА МАТРОИДЕ

Исаченко А.Н.

Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь

Продолжены исследования гамильтоновых матроидов и задачи коммивояжера на матроиде.

Пусть $M = (S, \Sigma)$ - матроид ранга $\rho(S) = k$, $k < |S|$, заданный семейством циклов Σ . То есть S – конечное множество элементов, а Σ семейство подмножеств из 2^S , удовлетворяющее условиям:

- 1) если $C_1, C_2 \in \Sigma$, $C_1 \neq C_2$, то $C_1 \not\subseteq C_2$;
- 2) если $C_1, C_2 \in \Sigma$ и $e \in C_1 \cap C_2$, то существует $C_3 \subseteq (C_1 \cup C_2) \setminus e$ такое, что $C_3 \in \Sigma$.

Цикл C матроида M назовём гамильтоновым, если $|C| = k + 1$. Матроид, содержащий гамильтонов цикл, так же будем называть

гамильтоновым. Понятие гамильтонова цикла и гамильтонова матроида введено в работах [1,2].

Пусть $M = (S, \Sigma)$ – матроид. Степенью $d(s)$ элемента $s \in S$ назовём количество циклов матроида M , содержащих s .

Следующая теорема даёт необходимое условие для наличия гамильтонова цикла в матроиде.

Теорема [4]. Пусть $M = (S, \Sigma)$ – матроид на множестве S с n элементами и рангом $\rho(S) = k$, $0 < k < n$. Если $M = (S, \Sigma)$ гамильтонов, то $d(s) \geq n - k$ для любого $s \in S$.

Пусть $M = (S, \Sigma)$ матроид с рангом $\rho(S) = k$, $0 < k < |S|$. Припишем каждому элементу $s \in S$ вес $w(s) \geq 0$. Рассмотрим задачу нахождения гамильтонова цикла с минимальным суммарным весом образующих его элементов, которую по аналогии с задачей поиска гамильтонова цикла на графе будем называть задачей коммивояжёра на матроиде.

Заметим, что алгоритм решения задачи и его сложность зависит от термина, в котором определяется матроид. Функция, заданная на 2^S и принимающая соответствующие термину значения, называется оракулом [3.4]. Оракул «цикл» является булевой функцией, принимающей на $A \in 2^S$ значение 1, если $A \in \Sigma$, и 0 в противном случае. Вариант метода ветвей и границ для задачи нахождения гамильтонова цикла с минимальным суммарным весом с использованием оракула «замыкание» был предложен и рассмотрен в работе [5].

Будем считать, что матроид задан функцией H -периметра, то есть функцией $H: 2^S \rightarrow \{0, \dots, |S|\}$, где

$$H(A) = \{ \max |C| \mid C \subseteq A, C \in \Sigma \}.$$

Для решения задачи применим модификацию «жадного» алгоритма.

Шаг 1. Определяем $H(S)$.

а) Если $H(S) = k + 1$, то (S, Σ) - гамильтонов матроид. Переходим к шагу 2.

б) Если $H(S) < k + 1$, то матроид (S, Σ) не имеет гамильтонова цикла и алгоритм завершает работу с ответом «решения нет».

Шаг 2. Упорядочиваем элементы множества S по не возрастанию их весов. Пусть $w(s_1) \geq w(s_2) \geq \dots \geq w(s_n)$, где $n = |S|$.

Шаг 3. Полагаем $i=0$, $C_0 = S$.

Шаг 4.

$$C_{i+1} = \begin{cases} C_i \setminus s_{i+1}, & \text{если } H(C_i \setminus s_{i+1}) = k + 1, \\ C_i, & \text{если } H(C_i \setminus s_{i+1}) < k + 1. \end{cases}$$

Шаг 5. Если $|C_{i+1}| = k + 1$, то алгоритм завершает работу. C_{i+1} найденное решение. В противном случае возвращаемся к шагу 4.

«Жадный» алгоритм не гарантирует получения точного решения. Алгоритм точного решения задачи заключается в поиске в ширину, начиная с исходного множества S , с удалением из текущего множества A каждого элемента s . Для множества $A \setminus s$ проверяется условие $H(A \setminus s) \leq k + 1$. При выполнении $H(A \setminus s) = k + 1$ множество $A \setminus s$ включается в дерево поиска. При $H(A \setminus s) < k + 1$ не включается. В результате получим гамильтоновы циклы матроида $M = (S, \Sigma)$, среди которых определяем цикл минимального веса.

Литература

1. Исаченко, А.Н., Исаченко, Я.А. Периметр матроида и задача коммивояжера на матроиде / Исаченко А.Н., Я.А. Исаченко // XI Белорусская математическая конференция: тез. докл. Междунар. науч. конф. Минск, 5 – 9 ноября 2012 г. – Часть 4. – Мн.: Институт математики НАН Беларуси, 2012. - С. 87-88.
2. Исаченко, А.Н., Исаченко, Я.А. Гамильтоновы циклы матроида / А.Н. Исаченко, Я.А. Исаченко // Проблемы теоретической кибернетики: материалы XVII Международной конференции (Казань, 16-20 июня 2014 г.). - Казань: Отечество, 2014. - С. 116 - 118.
3. Исаченко, А.Н. Полиномиальная сводимость матроидных оракулов / А.Н. Исаченко // Известия АН БССР, сер. физ.-мат. наук, №6, 1984 – С. 33-35.

4. Исаченко, А.Н., Ревякин, А.М. О сводимости матричных оракулов / А.Н. Исаченко, А.М. Ревякин // Вестник МГАДА. – 2011. - №3 (9). – С. 117 – 121.

5. Исаченко, А.Н., Исаченко, Я.А. Поиск минимального взвешенного гамильтонова цикла в матроиде / А.Н. Исаченко, Я.А. Исаченко // Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии = International Congress on Computer Science: Information Systems and Technologies: материалы международного конгресса, Республика Беларусь, Минск, 24 – 27 окт. 2016 г. – Минск: БГУ, 2016. – С. 1024 -1027.

УДК 519.876

ВЛИЯНИЕ ВИДОВ ВОЗМУЩАЮЩЕЙ СИЛЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Воронович Г.К.¹, Мартыненко И.М.¹, Коробко Е.В.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Институт тепло- и массообмена НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Виброзащита актуальна для многих процессов, происходящих в механических колебательных системах (КС), подвергаемых вынужденным внешним возмущениям. Для усиления виброзащитного эффекта в качестве демпфирующих применяют неньютоновские жидкости. Это магнитореологические (МРС) и электрореологические (ЭРС) суспензии. Под воздействием внешних полей у них существенно меняется вязкая и упругая составляющая жидкости, что позволяет, за счет увеличения эффективной вязкости, снизить результирующую амплитуду колебаний на частоте собственных колебаний системы, которая определяется силой упругости КС. Проведенные ранее расчеты по математическому моделированию КС с вынуждающей гармонической силой воздействия показали, что при этом могут возникать в результирующем смещении дополнительные гармоники. Анализ Фурье-спектра смещения КС показал, что возможно появление колебаний с гармонической составляющей, кратной частоте

собственных колебаний системы (ω_0), и гармоник с частотой, равной дробной части от указанной величины. За счет резонанса на этих частотах возможно появление высоких амплитуд колебаний, что может снизить эффект виброзащитных мероприятий. Как один из вариантов устранения появления таких эффектов в процессе использования ЭРС и МРС, предлагается введение в КС дополнительной силы, генерирующей возмущающее воздействие на КС на указанных фиксируемых частотах, которые будут воздействовать в противофазе по сравнению с внешней возмущающей гармонической вынуждающей силой. Так например, если сила внешнего воздействия представлена как $A\sin(\omega t)$, то постоянно присутствующая сила возмущения модулируется как

$$-B \sum_{n=1}^{\infty} \left(\sin \frac{\omega_0}{n} t + \sin m \omega_0 t \right). \text{ Это позволяет проконтролировать}$$

наличие гармоник с указанными частотами в рассчитываемом смещении и тем самым снизить эффект возмущающего воздействия на наиболее чувствительных для КС частотах. Это особенно актуально для прецизионного оборудования, где сохранение линейных характеристик КС является показателем ее эффективности. Анализ Фурье-спектра смещения и скорости смещения при таком подходе позволяет улучшить динамические характеристики КС.

УДК 530.12

О РЕЛЯТИВИСТСКОМ ЦЕНТРЕ МАСС ДВУХ ТЕЛ В НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ

Рябушко А.П., Неманова И.Т.¹, Жур Т.А.¹, Юринок В.И.

Белорусский национальный технический университет

¹Белорусский государственный аграрный технический университет
Минск, Беларусь

В работе [1] доказано, что в постньютоновском приближении общей теории относительности центр масс двух сферически

симметричных тел A_1 и A_2 с массами m_1 и m_2 , движущихся в космосе по окружностям в газопылевой разреженной среде постоянной плотности $\rho = const$, смещается по циклоиде, хотя в ньютоновском приближении он покоится.

В настоящем сообщении предлагается обобщение решенной в [1] задачи: тела A_1 и A_2 движутся в космосе не по окружностям, а по подобным компланарным эллипсам и плотность среды $\rho \neq const$ определяется формулой:

$$\rho = \rho_0 \left(1 - \frac{r}{R} \right), \quad 0 \leq r \leq R; \quad \rho = 0, \quad r \geq R, \quad (1)$$

где ρ_0 – плотность в центре шара.

В ньютоновском приближении при распределении плотности среды (1) впервые выведены уравнения движения тел:

$$\frac{d^2 \vec{r}_1}{dt^2} = \frac{\gamma m_2}{r^3} \vec{r} - 2\pi\gamma\rho_0 \left(\frac{2}{3} - \frac{r_1}{2R} \right) \vec{r}_1 + \vec{f}_1, \quad (2)$$

$$\frac{d^2 \vec{r}_2}{dt^2} = -\frac{\gamma m_1}{r^3} \vec{r} - 2\pi\gamma\rho_0 \left(\frac{2}{3} - \frac{r_2}{2R} \right) \vec{r}_2 + \vec{f}_2, \quad (3)$$

где \vec{r}_1 и \vec{r}_2 – радиусы-векторы центров сферически симметричных тел A_1 и A_2 ; $\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$, $r = |\vec{r}_2 - \vec{r}_1| = \left| \vec{A_1 A_2} \right|$; γ – ньютоновская постоянная тяготения; t – время; \vec{f}_1, \vec{f}_2 – релятивистские добавки. Центр масс двух тел $C(c_1, c_2)$ определяется формулой $\vec{r}_c = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2}{m_1 + m_2}$, из которой

следует, что

$$\frac{d^2 \vec{r}_c}{dt^2} = \left(m_1 \frac{d^2 \vec{r}_1}{dt^2} + m_2 \frac{d^2 \vec{r}_2}{dt^2} \right) / (m_1 + m_2). \quad (4)$$

Интегрирование уравнения (4) с точностью до вековых членов в ньютоновском приближении приводит к параметрическим уравнениям траектории движения центра масс:

$$\begin{cases} c_1 = a \left(1 - \cos \varphi + e \varphi^2 + 4e^2 \varphi \sin \varphi \right), \\ c_2 = a \left(\varphi - \sin \varphi + \frac{3}{2} e^2 \varphi \right), \\ a = \frac{\pi \rho_0 m_1 m_2 (m_2 - m_1)}{R(m_1 + m_2)^4} p^5, \end{cases} \quad (5)$$

где e и p – эксцентриситет и параметр относительной орбиты тел, $r = p / (1 + e \cos \varphi)$. Формулы (5) положены в основу программы, реализованной в пакете Mathcad 15 PRO для проведения численного эксперимента по определению траекторий движения центра масс двух тел.

ORIGIN := 1

$$\begin{aligned} ma &:= 2 \cdot 10^{33} & mb &:= 2 \cdot 10^{30} & r0 &:= 7.78 \cdot 10^{13} & \gamma &:= 6.67 \cdot 10^{-8} & \rho &:= 10^{-21} & \epsilon &:= 3 \cdot 10^{10} \\ \omega0 &:= \sqrt{\frac{\gamma \cdot (ma + mb)}{(r0)^3}} & a0 &:= 7.78 \cdot 10^{10} & b0 &:= r0 - a0 & R &:= 10^{19} & N1 &:= (mb)^2 \cdot \left[\frac{5}{2} \cdot \left[\frac{R^2 + (b0)^2}{(b0)^2} \cdot \ln \left(\frac{R - b0}{R + b0} \right) + \frac{2 \cdot R}{b0} \right] + \frac{4 \cdot R^3}{(R + b0)^3} \right] \\ N &:= ma \cdot mb \cdot (b0 - a0) \cdot \left[\frac{2}{r0} - \frac{8 \cdot R^3}{3 \cdot (a0)^2 \cdot (b0)^2} \right] + (ma)^2 \cdot \left[\frac{5}{2} \cdot \left[\frac{R^2 + (a0)^2}{(a0)^2} \cdot \ln \left(\frac{R - a0}{R + a0} \right) + \frac{2 \cdot R}{a0} \right] + \frac{4 \cdot R^3}{(R + b0)^3} \right] - N1 \\ \varphi &:= 0, \frac{30\pi}{180} .. 6 \cdot \pi & K &:= \frac{\pi \cdot \gamma^2 \cdot \rho \cdot N}{c^2 \cdot (ma + mb) \cdot (\omega0)^2} & \pi &= 3.141592653589793 & \cos\left(\frac{90\pi}{180}\right) &= 0 & \frac{-mb \cdot r0}{ma + mb} &= -7.7722 \times 10^{10} \\ a1(\varphi) &:= \frac{-mb \cdot r0}{ma + mb} \cdot \cos(\varphi) + K \cdot (1 - \cos(\varphi)) & b1(\varphi) &:= \frac{ma \cdot r0}{ma + mb} \cdot \cos(\varphi) + K \cdot (1 - \cos(\varphi)) & N &= -2.2651 \times 10^{85} \\ a2(\varphi) &:= \frac{-mb \cdot r0}{ma + mb} \cdot \sin(\varphi) + K \cdot (\varphi - \sin(\varphi)) & b2(\varphi) &:= \frac{ma \cdot r0}{ma + mb} \cdot \sin(\varphi) + K \cdot (\varphi - \sin(\varphi)) & K &= -6.1963 \times 10^{11} \\ A11(\varphi) &:= \sqrt{a1(\varphi)^2 + a2(\varphi)^2} & A12(\varphi) &:= \sqrt{b1(\varphi)^2 + b2(\varphi)^2} \end{aligned}$$

При различных значениях параметров, входящих в уравнения (1)–(5), получены соответствующие графики движения центра масс двух тел в неоднородной среде.

Литература

1. Рябушко А.П., Неманова И.Т., Жур Т.А. // Весті НАН Беларусі. Сер. фіз.- мат. навук, 2019, № 1, С. 77-82.

УДК 37.012.1

«ПРОХОД СКВОЗЬ ОШИБКИ» КАК МЕТОДИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО И МОТИВАЦИЯ В ИЗУЧЕНИИ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ СТУДЕНТАМИ УНИВЕРСИТЕТА

Михайлова Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Изучение разделов математики вносит существенный вклад в создание личностной естественнонаучной картины мира студентов, формируя их мировоззрение. В построении этой картины мира дидактическими средствами преподавания высшей математики особая роль принадлежит категориям «смысл» и «понимание». При «формализованном», «машинном» подходе к задачам часто на второй план уходят смысл и суть математических понятий, а с ними и понимание того, *что* в итоге мы получаем или *как* трактовать полученный результат. «Понимание» в методологии математического образования – это единство процесса и результата, в котором раскрываются основные математические идеи и выявляются сущности математических понятий, устанавливаются взаимосвязи с уже усвоенными знаниями для включения нового математического содержания в «смысловую сферу» развивающейся личности. Качественное усвоение нового – это понимаемое усвоение. Математика, являясь эталоном рациональности, обладает интеллектуальным свойством колоссальной «объяснительной силы» концепций, моделей и теорий, порой далеко отстоящих друг друга. Но для этого она должна стать «понимаемой» математикой для изучающего ее студента.

Удивительно, но одним из источников понимания и выявления требуемого смысла является математическая ошибка, допускаемая

случайно, непреднамеренно, в следствие так называемого человеческого фактора. Для психологов и методистов тема «прохода через ошибки» в обучении не нова. Но чаще акцент переносится на ошибки, которые совершают сами обучаемыми, назовем их внутренними. Мы же хотим рассмотреть аспект так называемых внешних ошибок, то есть ошибок, содержащихся в условиях задач. Ошибки в некотором смысле стигматизируют рутинную математическую учебную задачу, и в отдельных случаях могут стать мотиватором для студента, желающего разобраться, в чем же собственно дело. Продемонстрируем суть проблемы на примере двух типов ошибок, наиболее часто встречающихся в практике преподавания в университете.

I тип ошибок. К ним отнесем различные виды ошибок в условиях задач, например, условие, записанное некорректно математически, или неполнота данных, требуемых в условии для решения. Вот пример такой задачи: *Вычислить двойной интеграл (сам интеграл мы не указываем, не в этом была суть ошибки) по области D , ограниченной линиями $y = 5 / x$, $y = 4 - x$.*

Если изобразить графики указанных линий на плоскости, то видно, что они не пересекаются и не замыкают область. Задача, таким образом, приобретает проблемный характер: исправить условие (уравнения линий) так, чтобы область замкнулась. Например, студентами были предложены линии $y = 4 / x$, $y = 5 - x$. Такая корректировка условия задачи позволила найти ее решение. Но, к сожалению, ответ в задачнике не совпал с ответом, полученным студентами. Тем самым, проблемная ситуация вышла на более сложный уровень: она приобрела форму студенческого «квеста» такой корректировки условия, чтобы получился требуемый в задачнике ответ. Ошибка вдруг стала источником математического вдохновения!

Приведем еще несколько (малую часть) подобных примеров «заошибленных» задач, обнаруженных и благополучно исправленных студентами, с указанием на ошибки и их исправление.

1. *С помощью двойного интеграла вычислить объем тела, ограниченного поверхностью $z = x^2 + y^2 + 4$.*

На беглый взгляд студента в условии всё корректно. Однако при «понимаемом» решении очевидна суть ошибки: недостаточность условия, тело не замкнуто. Исправление ошибки – добавление уравнений поверхностей для требуемого замыкания. Причем, оказалось, чтобы получить указанный в задачнике ответ ($4,5\pi$), это должны быть поверхности, заданные уравнениями $x^2 + y^2 = 9, z = 0$.

2. *Найти момент инерции относительно оси Ox кругового цилиндра, высота которого h и радиус основания a .* При анализе этого условия возник резонный вопрос от студентов: как расположен этот цилиндр относительно координатных осей и какова его переменная плотность? Именно эти параметры необходимы для нахождения момента инерции. Снова условие корректируется, как минимум: просто добавляются недостающие параметры задачи, как максимум (и это высший уровень!): корректировка должна быть такой, чтобы достичь ответа, указанного в задачнике.

II тип ошибок. Суть ошибки этого типа – несогласованность данных в условии задачи: то есть данных в условии достаточно, но применение для решения задачи двух различных правильных способов или формул, неожиданно приводит к разным ответам. Продемонстрируем сказанное на такой задаче: *Даны векторы $a(2; -3; 4)$, $b(1; 2; 1)$, угол между которыми равен $\pi/3$. Найти площадь треугольника, построенного на этих векторах как на сторонах.* Для вычисления площади два студента воспользовались двумя различными формулами: одна – из определения векторного произведения двух векторов как площади параллелограмма, другая – из приложения векторного произведения, использующая определитель второго порядка. Вычисления провели без ошибок, но получили разные ответы. Каждый был уверен в правильности своего решения, но при этом и согласен с вычислением другого, не понимая, почему же значения площади одного и того же треугольника получились разные? Как оказалось, векторы с заданными координатами не образуют угла $\pi/3$, указанного в условии задачи. Правда, догадаться именно о такой несогласованности данных в условии оказалось не просто.

Понимание при изучении математических объектов: понятий, теорем, доказательств является значимым и необходимым условием в обучении высшей математике в университете. Понимаемой математика может стать только в результате личностных усилий и интенсивной самоподготовки при наличии качественного учебно-методического материала. «Проход через ошибку» – неустранимый, необходимый и неизбежный путь в стремлении к «понимаемой» математике.

Литература

1. Михайлова, Н.В. Философия математического познания и проблемы компьютерного образования / Н.В. Михайлова // Alma mater (Вестник высшей школы). – 2012. – № 6. – С. 24–29.

УДК 51(07.07)

ОБ ОПЫТЕ ПРИЁМА ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ЗАЧЁТА ПО МАТЕМАТИКЕ НА МСФ

Раевская Л.А., Юринок В.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В связи с переходом на машиностроительном факультете (МСФ) БНТУ на четырёхлетнее обучение первой ступени высшего образования в значительной степени изменились учебные планы специальностей, в том числе и по математике. Это коснулось и дневной и заочной форм обучения. Так в учебных планах большинства специальностей МСФ количество семестров обучения по математике уменьшилось с четырёх до трёх. Значительно уменьшилось число часов лекций и практических занятий в семестрах. Кроме этого, изменилась форма отчётности студентов за семестр: часть экзаменов была заменена зачётами и дифференцированными зачётами. Такие изменения, в первую очередь, потребовали корректировки учебных программ по математике: перераспределения разделов курса по семестрам, сокращения часов

занятий по некоторым темам, и даже отказ от некоторых разделов курса. Без сомнения, такое резкое сокращение математической подготовки будущих инженеров не может способствовать достижению главной цели высшего образования - подготовки высококвалифицированных современных инженеров, способных оперативно решать самые насущные проблемы развития экономики страны. Кроме этого, сокращение математической подготовки студентов не приведёт к лучшему усвоению других общеобразовательных и общетехнических дисциплин, таких как физика, теоретическая механика, сопротивление материалов, теория машин и механизмов, детали машин и т.д. Возникает также необходимость изменения форм проведения экзаменов и дифференцированных зачётов. Так авторами в зимнюю экзаменационную сессию 2020/21 учебного года были проведены дифференцированные зачёты для студентов первого курса дневного отделения МСФ с использованием билетов, подготовленных в виде экспресс-тестов для проведения экзаменов студентов заочной формы обучения МСФ. Оказалось, что даже при такой форме проведения зачётов, около 30% студентов не смогли сдать зачёт с первого раза. Хотя около 15% студентов продемонстрировали хорошие знания. Приведенные результаты показывают необходимость совершенствования методики преподавания, разработки новых методических и дидактических материалов, введения факультативов для курса математики. Что должно привести к более успешному усвоению материала.

УДК 51 (07.07)

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ ВСЕОБУЧЕ СОВЕТСКОГО ПЕРИОДА

Метельский А.В., Чепелев Н.И.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Предание гласит, что царь Птолемей I попросил Евклида объяснить ему законы геометрии попроще и побыстрее. На что Евклид ответил: «О, всемогущий царь, в математике нет царских дорог...». А царских дорог нет потому, что Математика это – Царица Наук, благосклонность которой дорогого стоит. Из приглашенных по указу Петра I в состав Российской Академии

Наук 22 профессоров и адъюнктов 8 человек были математики. Все университеты царской России имели физико-математические факультеты. Математика составляла основу инженерной подготовки, причем уровень ее изучения был столь глубок, что отдельные инженеры, например, акад. Крылов А.Н., внесли весомый вклад в развитие математики.

В математике нет и рабоче-крестьянских дорог. Это понимали большевики, пришедшие к власти в советской России. Роль математики в подготовке инженерных кадров была не только воспринята новой властью, но и получила необходимое организационно-методическое обоснование и обеспечение в виде «Программы курса «Высшая математика» для инженерно-технических специальностей высших учебных заведений» и концепции непрерывной математической подготовки в течение всего периода обучения во втузе. После визита генерального секретаря М.С. Горбачева в США на заседании Политбюро ЦК КПСС (13 ноября 1986) было принято постановление "Об усилении НИР в области математики". Этим постановлением намечался комплекс мер, направленных на улучшение материально-технического обеспечения исследований в области математики, включая условия труда и быта математиков.

Такова была последовательная политика советского государства, основанная на понимании того факта, что эпохальные достижения СССР в ядерно-космической сфере стали возможны именно благодаря математическому всеобучу. Помимо методически обоснованной системы математического образования в учебных заведениях, на математическое просвещение были нацелены и лекторская работа (общество «Знание»), и научно-популярные издания (библиотека «Математическое просвещение», журнал «Квант»), и регулярные передачи на телевидении («Очевидное-невероятное»). Вспоминаем об этом не по причине ностальгии, а с вопросом: «Что мешает вернуться к методически адекватному изучению математики, и что мешает возродить математическое просвещение на современной основе вместо заполонивших СМИ шоу, передач и фильмов, влекущих моральную дезориентацию и оглушение молодого поколения»? Многим «юзерам» смартфонов,

планшетов и т. д. невдомек, что передача и обработка информации – это чистая математика: алгоритмы сжатия и шифрования, распознавания и визуализации информации.

К сожалению, отсутствие конкурентной среды в клане преподавателей и завышенные полномочия чиновников от образования породили представление, что математика, как теоретическая дисциплина, специалистам технического профиля уже вообще не нужна. Главное – получить новейший (мощнейший) компьютер и такое же программное обеспечение, и тогда любая задача, которую они не могут не только решить, но даже сформулировать(!), будет решена.

Конечно, применение EXCEL, MATHCAD, MATLAB и других пакетов компьютерной математики позволяет экономить время при выполнении громоздких вычислений. Но корректное применение этих сред невозможно без базовых знаний алгебры, интегрального и дифференциального исчисления, дифференциальных уравнений и т. д. Ибо нужно иметь представление, как работают эти алгоритмы, и как следует интерпретировать результаты их работы. Известна масса примеров математической некомпетентности при применении стандартных процедур, выраженных в поговорке: «Летят два гуся, закоррелирую и защищуся!». Пресловутое правило «3-х сигм» все чаще подменяется правилом «3-х П»: «пол, палец, потолок». Устойчиво заблуждение, что в будущей работе инженеру математика не пригодится, что все можно «загуглить», что инженеру нужно «число». Но чтобы это «число» было полезным, оно должно быть получено из адекватной математической модели. Поэтому братья Вольфрам, создатели замечательного пакета MATHEMATICA призывают: «Не учите вычислять. Учите математике!»

Преподавание математики будущим инженерам базируется на определенных временем методологических принципах. Традиционно при изложении курса высшей математики демонстрируется происхождение основных математических понятий из практики. Это повышает «живучесть» знаний и дает им прикладную направленность. Важный мотивационный фактор учебного процесса – доступность изучаемого материала, потому что

непонятное – неинтересно и влечет отрицательное отношение как к математике, так и ко всему, связанному с ней. Поэтому основные утверждения в курсе математики доказываются (должны!) и иллюстрируются не только примерами, но и контрпримерами. Это предполагает, что и все авторские решения в будущей профессиональной деятельности должны быть обоснованы. Доказательность – душа математики, в ней кроются ее красота и сила. Это – ключ к пониманию логической сути материала, фактор развития аналитического и алгоритмического мышления. В математике много примеров, показывающих, что «подсказка» здравого смысла и истина не всегда совпадают. Поэтому в курсе математики должны рассматриваться примеры нестандартных инженерно-технических решений, полученных исследованием математических моделей. Вне перечисленных методологических принципов обучение математике подобно обучению написанию и механическому запоминанию иероглифов без разъяснения их этимологии и смыслового значения.

Математику иногда называют искусством давать разным явлениям одинаковые имена, т. е. выделять их общую сущность. Благодаря такому умению, математик способен находить и использовать аналогии для моделирования и оптимизации изучаемых процессов. Математика дает полету творческой фантазии не только простор, но и крылья. Специалисты, имеющие базовое математическое образование, успешно работают во всех областях, связанных с творческим началом, включая нематематические. Поэтому изучение математики необходимо для воспитания творческого мышления, т. е. для подготовки креативного специалиста. И, конечно же, нельзя научить приложениям математики, не обучив самой математике!

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ В СИСТЕМЕ EXCEL В КУРСЕ «ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА»

Кузьмицкая Э.Е., Кураленко М.В., Королёва О.В., Раевская Л.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В работе рассматривается организация лабораторных работ с использованием электронных таблиц Excel. Приводятся примеры применения таблиц в лабораторных работах, где изучаются симплекс-метод; метод потенциалов решения транспортной задачи; сетевые модели планирования и управления.

При организации лабораторных работ важно, чтобы студенты научились применять полученные теоретические знания по методам математического программирования, сетевым и графовым моделям к решению практических технико-экономических задач. Для достижения этой цели целесообразно использовать электронные таблицы Excel, которые позволяют организовать процесс обучения с большей наглядностью и эффективностью.

Таблицы используются в лабораторных работах, где применяется симплекс-метод, который является основным в линейном программировании. Они позволяют получить точные результаты при преобразовании симплекс-таблиц без выполнения ручных расчётов. На рис.1 приведён пример преобразования симплекс-таблицы с разрешающим элементом a_{22} (ячейка $D3$). Позиционируется ячейка $J2$ [1]. В строке формул записана формула для пересчёта элемента b_1 (ячейка $B2$) по правилу прямоугольника с абсолютной адресацией ячеек $D2$, $D3$ [1]. При перетягивании формулы по строке $C2:F2$ пересчитываются элементы a_{1j} , $j = \overline{1,4}$. Аналогично пересчитываются другие строки таблицы, за исключением разрешающей строки $B3:F3$. Для пересчёта позиционируем ячейку $J3$, в строку формул вносим формулу $B3/SD\$3$ и перетягиваем её по строке $J3:N3$. В результате выполнено одно симплекс-преобразование и получено частичное решение задачи линейного программирования.

БП	значение	x1	x2	x3	x4	СС
x3	9	3	1	1	0	9
x4	8	1	2	0	1	4
f	0	-3	-4	0	0	

БП	значение	x1	x2	x3	x4	СС
x3	5	2,5	0	1	-0,5	2
x2	4	0,5	1	0	0,5	8
f	16	-1	0	0	2	

Рис.1. Преобразование симплексной таблицы.

Подобные действия имеют учебную ценность для приобретения навыков симплексных преобразований. На самом деле, симплекс-метод уже встроен в стандартную надстройку Excel Поиск решения. С её помощью целесообразно осуществлять проверку результата решения задачи по приведённому алгоритму, а также использовать для решения сложных оптимизационных задач.

Можно дать геометрическую интерпретацию указанного выше частичного решения, используя графические возможности Excel, а именно точечные диаграммы.

Электронные таблицы Excel удобно использовать в лабораторной работе, где изучается метод потенциалов решения транспортной задачи. Построение начального опорного плана и итерационный процесс поиска оптимального плана легко производится в результате связывания соответствующих ячеек расчётных таблиц формульными соотношениями. Потенциалы поставщиков и потребителей, а также оценки свободных клеток на каждой итерации рассчитываются непосредственно в таблицах, что даёт наглядное представление процессу решения.

Графические возможности Excel с использованием линейчатых диаграмм (рис.2 – 4) позволяют упростить построение, расчёт и анализ сетевых моделей планирования и управления.

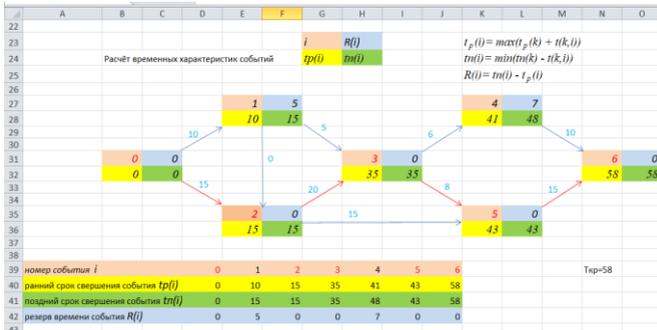


Рис.2 Расчёт временных характеристик событий.

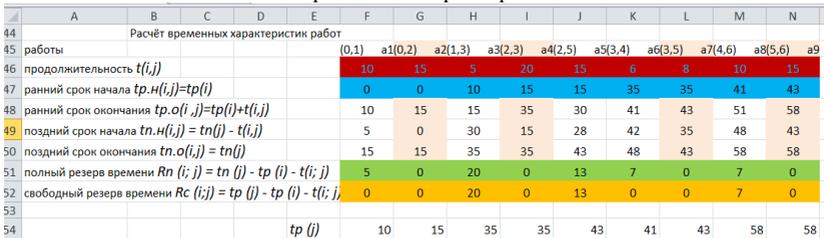


Рис.3 Расчёт временных характеристик работ.

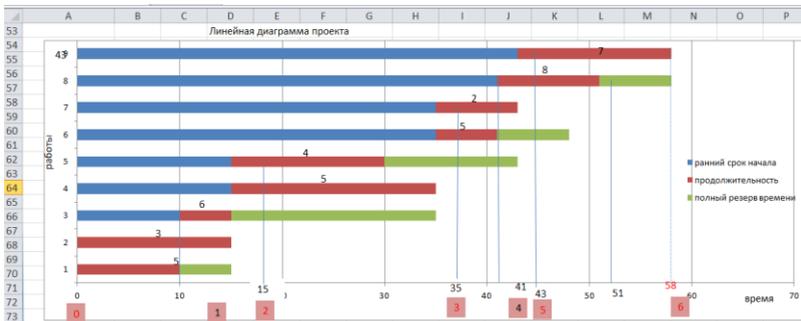


Рис.4 Линейная диаграмма проекта.

Таким образом, приведены примеры использования Excel в лабораторных работах, где изучаются симплекс-метод; метод потенциалов решения транспортной задачи; сетевые модели планирования и управления.

Excel также может быть использован и в других лабораторных работах курса: метод искусственного базиса; двойственный

симплекс-алгоритм, алгоритм Дейкстры поиска кратчайшего пути, алгоритм Форда-Фалкерсона нахождения максимального потока.

Литература

1. Козлов, С.М. Руководство к решению задач математического программирования в среде MS Excel / С.М. Козлов, В.П. Грибкова. — Минск: ВУЗ-ЮНИТИ, 2003. — 61 с.

УДК 51-74

О МЕТОДИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ МАГИСТРАНТОВ, ИЗУЧАЮЩИХ ПРИКЛАДНЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Лебедева Г.И., Зубко О.Л.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В связи с изменением учебного плана подготовки магистрантов специальности 36-80-02 машиностроительного факультета БНТУ были включены в изучение две новые дисциплины: “Математическое моделирование технических объектов и процессов с использованием компьютерных технологий” (26 часов лекций и 10 часов практических занятий) и “Методы оптимизации, технические приложения” (36 часов лекций).

По согласованию с выпускающей кафедрой нами были разработаны учебные программы по указанным дисциплинам и написаны соответствующие электронные учебно-методические пособия.

В пособие “Математическое моделирование технических объектов и процессов с использованием компьютерных технологий” были включены математические методы, которые могут быть применены при решении различных технологических задач машиностроительного профиля.

Таковыми разделами математического моделирования являются: корреляционно-регрессионный анализ и теория игр. В главе

корреляционно—регрессионного анализа рассмотрены парный анализ (линейный и нелинейный) и многофакторный. Наряду с построением моделей дан полный анализ полученных моделей.

В разделе многофакторный корреляционно-регрессионный анализ дана методика выбора факторов, существенно влияющий на исследуемую величину, показано построение многофакторных моделей и их анализ.

В главе теория игр рассмотрены парные игры, приведен алгоритм расчета Брауна-Робинсона, показано решение задач теории игр симплекс-методом.

В пособии “Методы оптимизации, технические приложения” включены такие разделы как

- Линейное программирование.
- Теория двойственности в линейном программировании.
- Нелинейное программирование.
- Транспортная задача.
- Методы дискретной оптимизации.
- Градиентные методы.

Все пособия имеют полное изложение материала. Дано достаточное количество решенных примеров. Приведены задания для самостоятельной работы.

Издание рассматриваемых пособий является неценимой помощью для магистрантов в изучении указанных дисциплин.

УДК 621.350.11

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТОВ MATHCAD И MATHEMATICA В УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ РАБОТЕ СО СТУДЕНТАМИ АТФ И ЭФ

Матвеева Л.Д., Рудый А.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Использование систем MathCad и Mathematica играет важную роль при решении традиционных математических задач прикладного значения. Современный инженер помимо

фундаментальной подготовки должен владеть современными информационными технологиями и способностью достаточно быстро выбирать эффективные методы решения поставленных задач в условиях быстро развивающихся новых технологий. Поэтому целью образовательного процесса в настоящее время должна являться необходимость широкого внедрения и использования современных компьютерных пакетов. Как показала практика, применение такого подхода в учебном процессе позволяет студентам больше сосредоточиться на изучаемом материале без затрат времени на рутинные вычисления. Следует отметить, что такой подход имеет безусловный приоритет в современных условиях, когда студентам приходится обучаться дистанционно. Учебные пособия по математике, составленные авторами в электронном виде всегда доступны студентам в библиотеке БНТУ. Здесь мы рассматриваем примеры решения некоторых задач с использованием пакета Mathematica.

Устройство состоит из 2-х последовательно соединенных элементов, законы наработки на отказ которых

1	2
$W(0.3;0.01)$	$N(2500;400)$

Определить показатели надежности каждого элемента и всего устройства.

Время жизни первого элемента распределено по закону Вейбулла

$$f(t) = \alpha \cdot \lambda^\alpha \cdot t^{\alpha-1} \cdot e^{-(\lambda t)^\alpha},$$

(см.[1]), время жизни второго элемента распределено по нормальному закону $N(a, \sigma)$.

Вычисления для каждого элемента проводилось в пакете Математика.

Ниже приводим графики интенсивности отказов.

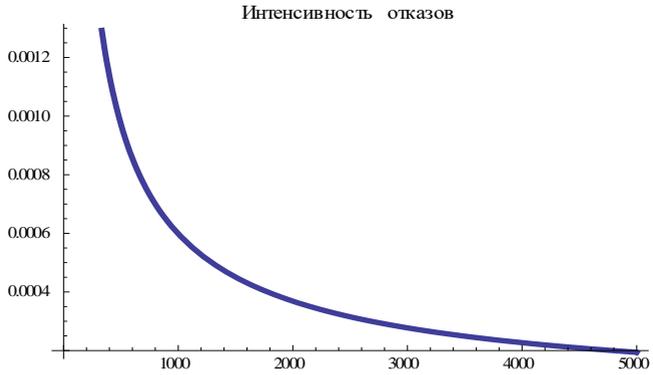


Рис.1.Интенсивность отказов для первого элемента.

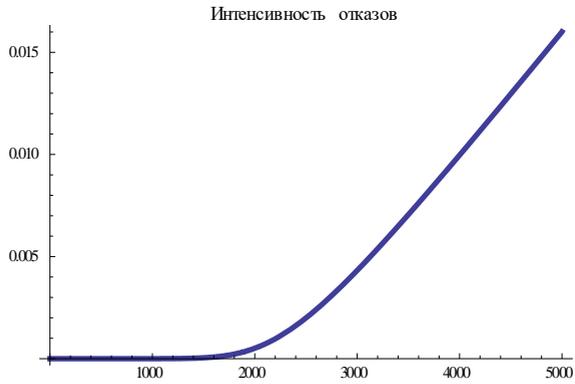


Рис.2.Интенсивность отказов для второго элемента.

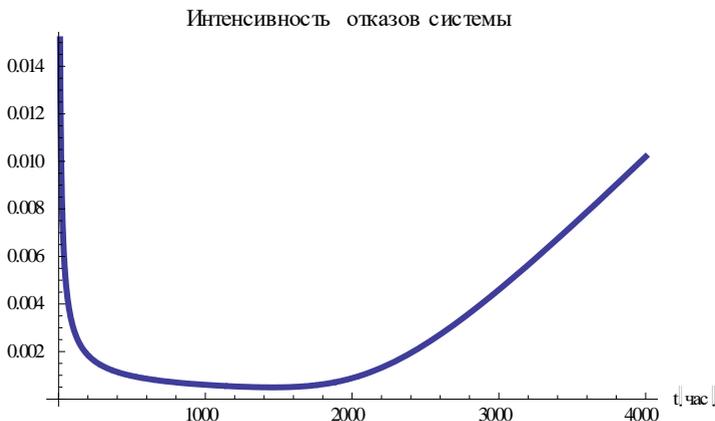


Рис.3. Интенсивность отказов всей системы.

Литература

1. Элементы математической теории надежности / А. Н. Рудый. - Минск: БНТУ, 2014 - 131 с.

УДК 629.11.001.24:531.3

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА

Чепелева Т. И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Улучшение экономических показателей предприятия является всегда насущной задачей. К важнейшим экономическим показателям работы предприятия обычно относят прибыль – доход от предприятия, рентабельность, себестоимость, материалоемкость, производительность труда и другие. Эти показатели имеют прямую зависимость от объема выпускаемой продукции, который зависит от используемых производственных ресурсов, которые зависят от

переменного и постоянного капитала, от краткосрочных и долгосрочных периодов производства, от задействования используемых мощностей, от крупномасштабных и мелкомасштабных предприятий. При увеличении объема производства постоянные расходы на единицу продукции будут снижаться и приведет к снижению издержек производства.

Проведен расчет экономии, полученной от снижения себестоимости продукции на весь объем выпуска, рассмотрена динамика выполнения плана с учетом произведенной продукции, общей суммы затрат за предыдущий год, по плану за отчетный год и фактически за отчетный год.

Рассчитана себестоимость продукции за предыдущий год, по плану за отчетный и фактически за отчетный год.

Рассчитаны индексы себестоимости продукции за счет динамики, за счет выполнения плана и планового задания. Рассчитана фактическая экономия, полученная от снижения себестоимости продукции на весь объем выпуска, а также сверхплановая экономия, полученная от снижения себестоимости продукции на весь объем выпуска и плановая экономия от снижения себестоимости продукции на весь объем выпуска.

Также проведен расчет материалоёмкости продукции по двум периодам (базисный, отчетный), получена экономия материальных ресурсов, обусловленная снижением материалоёмкости и рассчитано абсолютное изменение материальных затрат за счет изменения – увеличения товарной продукции. Расчетные данные товарной продукции и материальных затрат на производство продукции представлены в сопоставимых ценах.

Материалоёмкость продукции равна отношению суммы материальных затрат к стоимости произведенной продукции. Материальные ресурсы равны произведению материалоёмкости на стоимость произведенной продукции. Расчеты показали, что экономия материальных ресурсов обусловлена снижением материалоёмкости, а абсолютное изменение материальных затрат достигнуто за счёт увеличения товарной продукции.

Проведено структурирование производственного ресурса и решение проблем оптимальной организации, как параллельных

конкурирующих процессов производства, так и комплексных. Рассмотрено их сосредоточенное распределение, и выполнение. Разработан математический аппарат для определения минимального общего рабочего времени выполнения всевозможных действующих производственных процессов рабочего ресурса. Ресурс рассматривается с ограниченным числом интеллектуальных исполнителей с оценками трудоемкости по отношению к числу рабочих блоков и процессов. Полученные математические формулы способствуют в решении проблемы организации и распределении множества взаимодействующих конкурирующих процессов производства. Метод структурирования процессов производства состоит в обеспечении декомпозиции рабочего ресурса на блоки и организации одновременного, параллельного использования этих блоков множеством процессов. С помощью изменения параметров производственных функций и их аналитического представления проведено исследование гибкости работы процессов производства. Для параллельного использования рабочих блоков характерным явлением является та ситуация, когда один и тот же блок или часть его необходимо выполнять многократно, циклически. Подмножеством множества рабочих ресурсов или просто ресурсом назовем многократно выполняемый рабочий блок или часть его, а множество соответствующих производственных процессов – конкурирующими. Пусть $R_i, i = \overline{2, k}$ – некоторый ресурс, а P_i – множество конкурирующих процессов. Задача состоит в следующем: требуется организовать производство таким образом, чтобы общее время выполнения рабочих процессов $P_i, i = \overline{1, n}$, использующих ресурс R_i , было минимальным. Для решения данной поставленной задачи применяется стратегия последовательного обслуживания n рабочих процессов с использованием различных механизмов и их распределение. Под рабочим ресурсом в машиностроительном производстве будем понимать некоторый источник, основу для производства. На пример: источник энергии – энергоресурс; основа для работы – сырье – сырьевые ресурсы; аналогично финансовые ресурсы,

рабочие ресурсы и т.д. Интеллектуальный исполнитель в машиностроительном производстве – это некоторая интеллектуальная машина. Основная его функция – распределение производственных процессов в определенной логической последовательности и обработка рабочего ресурса с целью получения некоторого конечного результата. Он создает, нормирует и обрабатывает производственные процессы. Интеллектуальный исполнитель производства – это организатор и исполнитель в одном лице (но в обратную сторону не всегда верно). Роль интеллектуального исполнителя могут исполнять, прежде всего, рабочий коллектив, автоматы, определенная робототехника, полуавтоматы и т.п. Проведены доказательства соответствующих критериев эффективности и оптимальности структурирования процесса производства согласно количеству рабочих блоков, интеллектуальных исполнителей ресурса производства с учетом необходимых параметров.

Для решения подобных задач требуется, прежде всего, построение математических моделей, адекватно отражающих различные аспекты взаимодействия множества процессов, с учетом их физической специфики. Анализ показывает, что на пути решения этой комплексной проблемы большинство математических задач носит дискретный, комбинаторный характер. В связи с этим при построении и исследовании математических моделей и задач оптимальной организации параллельных процессов производства применяются теории множеств, расписаний, графов, комбинаторной оптимизации. Рассмотрены вопросы моделирования и алгоритмизации основных понятий, связанных с методом структурирования и организацией параллельного выполнения множества взаимодействующих конкурирующих производственных процессов.

СЛОЖНОСТИ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ

¹Чепелева Т. И., ²Чепелев С. Н.

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный медицинский университет

Минск, Беларусь

Во время лекционных и практических занятий у студентов на столах лежат сотовые телефоны. Некоторые из них любят их взять в руки и отвлечься от основного занятия. В связи с этим каждый преподаватель обращает внимание на подобных студентов и принимает соответствующие меры в данной ситуации. Здесь могут быть различные подходы: культурно попросить студента просто покинуть аудиторию, либо отправить его за дополнительным кусочком мела, или намочить тряпку для учебной доски. А почему бы не использовать данную технику в учебном процессе? Более эффективный подход – применить данную технику на занятиях. Сотовый телефон – почти у каждого студента имеется самый современный, он держит в своей руке по сути дела особого образца ноутбук со множеством функций, в который дополнительно можно установить различные программы. Студент потратил деньги на эту технику, так зачем ее куда-то прятать? Начнем с того, что в сотовом телефоне могут быть размещены различные современные калькуляторы. Если запретить использование сотовых телефонов на занятиях, то необходимо тогда отдельно студенту покупать калькулятор, а как можно без него обойтись хотя бы на занятиях по математической статистике? Да почти на каждом занятии калькулятор необходим. А в сотовых телефонах могут быть установлены калькуляторы различных видов, с многочисленными функциями, дающие возможность мгновенно вычислить любую из них. С помощью сотовых телефонов можно управлять устройствами (например, проектором). Смартфоны позволяют выполнять задания на определение географических координат, для измерения расстояний, высот, площадей, можно осуществить поиск объектов по определенно-заданным координатам при соответственно установленных устройствах для решения подобных

задач (GPS или ГЛОНАС). Использование средств GPS-навигации изучается студентами в курсе «Геоинформационные системы». Мобильные устройства оснащены дополнительно, в отличие от компьютеров, такими мощными средствами как (Bluetooth, Wi-Fi, GPRS, ИК-порт), с помощью которых по сети передается информация мгновенно от преподавателя всем студентам на мобильные устройства, у которых активизированы подобные средства связи. Перед практическим занятием преподаватель имеет возможность на мобильные устройства студентов отправить необходимый теоретический материал конспект необходимой лекции, презентации со своего сотового.

На каждую группу студентов созданы общая электронная почта, общий viber группы, или общий telegram группы. Преподаватель на сотовые телефоны студентам отправляет фотографии условий примеров, фотографии страницы со сборника номеров домашних заданий. Нынешний студент владеет информационными технологиями и в состоянии провести грамотно математические расчеты. Однако иногда попадают в вуз студенты с довольно низкой школьной подготовкой. Тестовые экзамены с указанием нескольких верных и неверных ответов не заставляют особо напрягать абитуриента, вычеркнув наугад неверные ответы и указав по своему усмотрению верный ответ, абитуриент покидает экзамен. И вот он уже будущий студент с нулевыми знаниями школьной программы. Вот с такими студентами и возникают сложности в их обучении. Таким студентам приходится посещать переэкзаменовки. Для слабых студентов были организованы дополнительные занятия. Однако они на эти мероприятия не отреагировали, приходили студенты, которые великолепно владеют школьной математикой. В настоящее время в процессе чтения лекций необходимый школьный материал отчитывается кусками. Так перед чтением курса, например, «Дифференциальные уравнения» прочитываются такие школьные темы, как «Свойства пропорции», «Свойства логарифмов». Но тем не менее определенный контингент студентов остаётся с низкими оценками. Возможно при факультетах нужно организовывать подготовительные курсы и доучивать их по школьной математике.

Следует усилить в учебном процессе рейтинговую систему обучения при оценке знаний. Применить различные модификации опросов студентов: вместо трех контрольных работ в семестре провести 10-15.

Усилить устный опрос студентов по домашним заданиям, по типовому расчету, выясняя понимание теоретического материала при решении примеров и задач.

Взять на учет неуспевающих студентов и на лекционных занятиях с помощью дополнительных им вопросов. Использовать быстрые тестовые диктанты по таблицам, по теоретическому материалу, по формулировкам теорем и различным определениям.

Прежде, чем проводить практическое занятие, обязательно поднять неуспевающих студентов и по 5 человек к доске опросить их по домашнему заданию и по текущей теме занятия с выставлением оценок.

Обязательно провести не менее трех промежуточных коллоквиумов по пройденным разделам дисциплины.

Учебный процесс зависит от преподавателя, от его эрудиции, от его педагогических навыков, от знания смежных дисциплин. Развитие мышление студента и далее трансформирование в профессиональное сознание – основная задача каждого преподавателя.

Студентами всегда приветствуются игровые приёмы во время занятий. Решение теоретических и практических вопросов в сравнении с какими-то жизненными моментами, или даже явлениями природы, это всё зависит от смекалки и эрудиции преподавателя. Не при каких обстоятельствах нельзя говорить, что студент обречён на неудовлетворительную оценку и он не в состоянии догнать упущенный им за школьные годы материал. В противном случае студент окажется в неловком положении по отношению к остальным, и он прекратит посещение занятий вообще.

Что касается практических занятий, то можно контролировать качество образовательного процесса посредством специальных систем тестирования. Для этого имеется специальная программа со случайным выбором вопросов. Но студенты на занятиях по

математике не имеют такой возможности тестирования с отсутствием в аудитории сетевой системы компьютеров. На практических занятиях по математике чаще всего применяется «карточная» система контроля знаний, или записываются на доске примеры с введенными в них параметрами. Знания, полученные студентом, должны концептуально оформиться и трансформироваться в профессиональное сознание, которое должно формироваться в результате индивидуальной напряженной мыслительной работы.

УДК 378.146

ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ СТУДЕНТАМ ЗАОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Щукин М.В.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Студенты заочного отделения технического университета изучают математику в 1, 2, 3 и 4 семестрах. Для самостоятельного обучения студенты могут использовать книгу [1] и другую литературу, список которой приводится на сайте университета. Учащиеся некоторых специальностей заканчивают изучать высшую математику в 3 семестре. 21 век начался как век информационных технологий. Поэтому мы предлагаем использовать компьютерную технику для проведения теста по высшей математике. Этот тест должен помочь добиться основных целей: улучшение качества подготовки студентов-заочников по высшей математике, активизацию их работы по освоению математики в течение семестра.

Для примера разберем темы первого семестра: Линейная алгебра, аналитическая геометрия, теория пределов, дифференцирование функций одной переменной.

Примеры тестовых заданий приведены ниже:

Тест 1.

1. Найдите определитель: $\begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{vmatrix}$. Варианты ответов: а) 2; б) -2; в) 4; г) -4.

2. Система уравнений $\begin{cases} x_1 - 2x_2 = 5 \\ 2x_1 + 3x_2 = 7 \end{cases}$ равносильна системе: а) $\begin{cases} x_1 - 2x_2 = 5 \\ 3x_2 = 7 \end{cases}$; б) $\begin{cases} x_1 - 2x_2 = 5 \\ 7x_2 = -3 \end{cases}$; в) $\begin{cases} x_1 - 2x_2 = 5 \\ 3x_2 = -3 \end{cases}$; г) $\begin{cases} x_1 - 2x_2 = 5 \\ 7x_2 = 7 \end{cases}$?

3. Чему равна линейная комбинация векторов $2\vec{a} - 3\vec{b}$, если $\vec{a} = (2, 1, -3)$, $\vec{b} = (-1, 2, 2)$?

а) (4, 2, -6); б) (-3, 6, 6); в) (7, -4, -12); г) (0, 0, 0).

4. Какая из указанных прямых параллельна прямой $y = 2x + 3$?

а) $y = 3x + 3$; б) $y = 2x - 3$; в) $y = -2x + 3$; г) $y = \frac{-1}{2}x + 3$.

5. Чему равен предел: $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x}$?

а) 0; б) 1; в) 2; г) ∞ .

6. Чему равна производная функции $y = 2x + 3$?

а) $2x + 3$; б) $2x$; в) 2; г) 1

7. Чему равна производная функции $y = e^{\sin x}$?

а) $e^{\sin x}$; б) $e^{\sin x} \cos x$; в) $e^{\sin x} \sin x$; г) 0.

Приведем для примера еще один тест за 1 семестр:

Тест 2.

1. Найдите ранг матрицы $\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 4 \end{bmatrix}$. Варианты ответов: а) 2; б) 1; в) 0; г) 4.

2. Решите систему уравнений методом Гаусса: $\begin{cases} x + 2y = 5 \\ 2x + 4y = 10 \end{cases}$.

а) $x = 1, y = 2$; б) $x = -2y + 5, y \in R$; в) $x = 2, y = 1$; г) $x = 2y + 5, y \in R$.

3. Найдите скалярное произведение $\vec{a} \cdot \vec{b}$ указанных векторов: $\vec{a} = (2, 1, 3), \vec{b} = (-1, 0, 2)$.

а) 4; б) 0; в) 7; г) -1.

4. Какая из указанных прямых перпендикулярна прямой $y = 2x + 3$?

$y = 3x + 3$; б) $y = \frac{1}{2}x - 3$; в) $y = -2x$; г) $y = -\frac{1}{2}x + 3$.

5. Чему равен предел: $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x + 5}{2x - 7}$?

а) 0; б) 3; в) $\frac{3}{2}$; г) ∞ .

6. Чему равна производная функции $y = x^3$?

а) $2x$; б) $3x^3$; в) $3x^2$; г) $3x$

7. Чему равна производная функции $y = \sin(x^2)$?

а) $\sin(x^2)$; б) $\cos(x^2)$; в) $\cos(x^2)2x$; г) 0.

Таким образом, тесты такого уровня позволят показать студентам заочного отделения необходимость овладения основами курса математики в течение семестра до экзаменационно-установочной сессии.

Литература

1. Письменный Д.Т. Конспект лекций по высшей математике. 4-е изд.-М.-Айрис-пресс, 2006. - 608 с.