

МОЛОДОЙ

ISSN 2072-0297

УЧЁНЫЙ

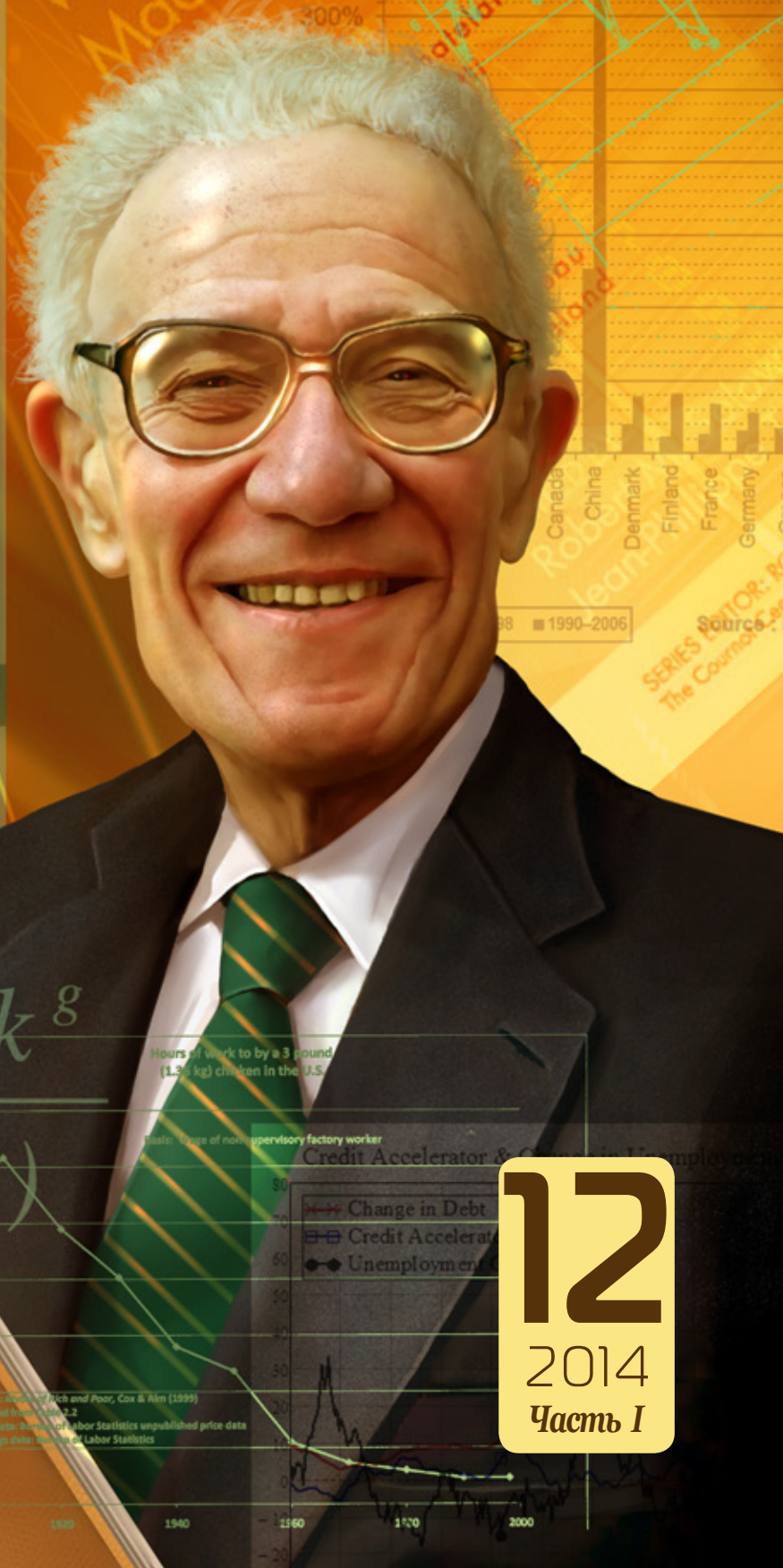
ежемесячный научный журнал

GROWTH THEORY

An Exposition

Quantity of Guns Produced

$$s^g = \frac{(n + \delta)k^g}{f(k^g)}$$



12
2014
Часть I

ISSN 2072-0297

Молодой учёный

Ежемесячный научный журнал

№ 12 (71) / 2014

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор: Ахметова Галия Дуфаровна, *доктор филологических наук*

Члены редакционной коллегии:

Ахметова Мария Николаевна, *доктор педагогических наук*

Иванова Юлия Валентиновна, *доктор философских наук*

Лактионов Константин Станиславович, *доктор биологических наук*

Сараева Надежда Михайловна, *доктор психологических наук*

Авдеюк Оксана Алексеевна, *кандидат технических наук*

Алиева Тарана Ибрагим кызы, *кандидат химических наук*

Ахметова Валерия Валерьевна, *кандидат медицинских наук*

Брезгин Вячеслав Сергеевич, *кандидат экономических наук*

Данилов Олег Евгеньевич, *кандидат педагогических наук*

Дёмин Александр Викторович, *кандидат биологических наук*

Дядюн Кристина Владимировна, *кандидат юридических наук*

Желнова Кристина Владимировна, *кандидат экономических наук*

Жуйкова Тамара Павловна, *кандидат педагогических наук*

Игнатова Мария Александровна, *кандидат искусствоведения*

Коварда Владимир Васильевич, *кандидат физико-математических наук*

Комогорцев Максим Геннадьевич, *кандидат технических наук*

Котляров Алексей Васильевич, *кандидат геолого-минералогических наук*

Кузьмина Виолетта Михайловна, *кандидат исторических наук, кандидат психологических наук*

Кучерявенко Светлана Алексеевна, *кандидат экономических наук*

Лескова Екатерина Викторовна, *кандидат физико-математических наук*

Макеева Ирина Александровна, *кандидат педагогических наук*

Мусаева Ума Алиевна, *кандидат технических наук*

Насимов Мурат Орленбаевич, *кандидат политических наук*

Прончев Геннадий Борисович, *кандидат физико-математических наук*

Семахин Андрей Михайлович, *кандидат технических наук*

Сенюшкин Николай Сергеевич, *кандидат технических наук*

Ткаченко Ирина Георгиевна, *кандидат филологических наук*

Яхина Асия Сергеевна, *кандидат технических наук*

На обложке изображен Роберт Мертон Солоу (р. 1924) — американский экономист, профессор Массачусетского технологического института. Лауреат Нобелевской премии 1987 г.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231. E-mail: info@moluch.ru; <http://www.moluch.ru/>.

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии «Конверс», г. Казань, ул. Сары Садыковой, д. 61

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г.

Журнал входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе elibrary.ru.

Журнал включен в международный каталог периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory».

Ответственные редакторы:

Кайнова Галина Анатольевна

Осянина Екатерина Игоревна

Международный редакционный совет:

Айрян Заруи Геворковна, *кандидат филологических наук, доцент (Армения)*

Арошидзе Паата Леонидович, *доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)*

Атаев Загир Вагитович, *кандидат географических наук, профессор (Россия)*

Борисов Вячеслав Викторович, *доктор педагогических наук, профессор (Украина)*

Велковска Гена Цветкова, *доктор экономических наук, доцент (Болгария)*

Гайич Тамара, *доктор экономических наук (Сербия)*

Данатаров Агахан, *кандидат технических наук (Туркменистан)*

Данилов Александр Максимович, *доктор технических наук, профессор (Россия)*

Досманбетова Зейнегуль Рамазановна, *доктор философии (PhD) по филологическим наукам (Казахстан)*

Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, *доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)*

Игисинов Нурбек Сагинбекович, *доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)*

Кадыров Кутлуг-Бек Бекмуратович, *кандидат педагогических наук, заместитель директора (Узбекистан)*

Козырева Ольга Анатольевна, *кандидат педагогических наук, доцент (Россия)*

Лю Цзюань, *доктор филологических наук, профессор (Китай)*

Малес Людмила Владимировна, *доктор социологических наук, доцент (Украина)*

Нагервадзе Марина Алиевна, *доктор биологических наук, профессор (Грузия)*

Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, *кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)*

Прокопьев Николай Яковлевич, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*

Прокофьева Марина Анатольевна, *кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)*

Ребезов Максим Борисович, *доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)*

Сорока Юлия Георгиевна, *доктор социологических наук, доцент (Украина)*

Узаков Гулом Норбоевич, *кандидат технических наук, доцент (Узбекистан)*

Хоналиев Назарали Хоналиевич, *доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)*

Хоссейни Амир, *доктор филологических наук (Иран)*

Шарипов Аскар Калиевич, *доктор экономических наук, доцент (Казахстан)*

Художник: Евгений Шишков

Верстка: Павел Бурьянов

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- Гасратова Н. А., Бойцов Д. С., Габриелян Л. А., Тюганова Т. М.**
Математическая модель иммунного ответа организма млекопитающих на поражение кожи ожогом1
- Гасратова Н. А., Бойцов Д. С., Крылова В. А., Гаврилова А. В.**
Модель Базыкина-Свирижева хищник-жертва ... 8
- Колпак Е. П., Горыня Е. В., Крылова В. А., Полежаев Д. Ю.**
Математическая модель конкуренции двух популяций на линейном ареале.....12
- Шустов В. В.**
О представлении функции многочленом, имеющим заданные значения производных на концах отрезка22

ФИЗИКА

- Емельянов А. А., Кобзев А. В., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Кирыков Г. А., Чернов М. В., Габзалилов Э. Ф.**
Моделирование линейного асинхронного двигателя с укладкой обмотки индуктора ($Z_1 = 18$) через спинку ярма28
- Саъдуллаев А. Б.**
Особенности комплексообразования между примесными атомами марганца и кислорода в кремнии 50

ИНФОРМАТИКА

- Романов М. В.**
Разработка автоматизированной системы мониторинга интернет-ресурсов53

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Альхамова Г. К., Мазаев А. Н., Ребезов Я. М., Шель И. А., Зинина О. В.**
Продукты функционального назначения62
- Альхамова Г. К., Мазаев А. Н., Шель И. А., Прохасько Л. С., Попова М. А., Уварова В. М.**
Функциональные ингредиенты в молочных продуктах65
- Антонова Е. А., Данилов А. М.**
Жидкостекольные композиты специального назначения 67
- Гарькин И. Н., Данилов А. М.**
Определение параметров привода с упругими связями69
- Гошин Е. В.**
Модель реконструкции 3D-сцен с учетом эпиполярных ограничений 71
- Гумерова Д. Д.**
История одного радиоприемника74
- Дуць А. О., Ребезов Я. М., Губер Н. Б., Зинина О. В.**
Требования к процессу транспортирования мясной продукции и сырья для их производства.....76
- Иванов И. Е.**
Detection and removal of spikes present in synchronized phasor measurements78
- Лавриченко О. В.**
Функция сходства многомерных объектов и отношение Парето в оперативном управлении распределением инновационных ресурсов промышленного предприятия87

Мазаев А. Н., Шель И. А., Попова М. А., Уварова В. М., Прохасько Л. С. О фальсификации молока и молочных продуктов 90	Сурков В. О. Облик перспективной навигационной системы для подвижного наземного объекта..... 107
Нагибина В. В., Анохина Е. С., Губер Н. Б., Максимюк Н. Н. Сравнительный анализ рынка моющих средств.....93	Уварова В. М., Мазаев А. Н., Шель И. А., Попова М. А., Шкаева Н. А. Микробиологический контроль молочной продукции..... 110
Прянишников В. В., Гиро Т. М., Семикопенко Н. И. Производство мясных полуфабрикатов по инновационным технологиям95	Удербает С. С., Карибаев Е., Курманаева Ж. М. Исследование адгезии рисовой лузги с золоцементными вяжущими смесями..... 113
Прянишников В. В. Технологический обучающий семинар по инновационным мясным технологиям.....98	Фадеев Д. Ю., Иванов В. В. К вопросу влияния расхода охлаждающего воздуха на тепловое состояние деталей, тепловой баланс и экономичность двигателя воздушного охлаждения..... 115
Ребезов Я. М., Дуць А. О., Губер Н. Б., Зинина О. В. Основные требования к маркировке мясной продукции..... 100	Фадеева Г. Д., Гарькин И. Н., Забиров А. И. Экспертиза промышленной безопасности промышленных дымовых металлических труб 117
Сенюшкин Н. С., Султанов Р. Ф., Белобровина М. В., Салимова И. И. Формирование элементов методики проектирования ПВРД 104	Фадеева Г. Д., Гарькин И. Н. Решение проблем эксплуатации зданий промышленных предприятий 120
	Чемезов Д. А. Гармонический анализ статически неопределимой рамы..... 122

МАТЕМАТИКА

Математическая модель иммунного ответа организма млекопитающих на поражение кожи ожогом

Гасратова Наталья Александровна, кандидат физико-математических наук, ассистент;

Бойцов Дмитрий Сергеевич, студент;

Габриелян Лариса Арменовна, студент;

Тюганова Татьяна Михайловна, студент

Санкт-Петербургский государственный университет

Формулируется математическая модель иммунного ответа организма млекопитающего на поражении кожи ожогом. Модель представляет собой краевую задачу для системы четырех нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Предлагается алгоритм численного решения нелинейной краевой задачи. Проведено исследование влияния различных параметров на поведение решений.

Ключевые слова: ожоги, краевые задачи, математическое моделирование.

Введение. Широкое использование на производстве и в быту электроэнергии, газа, различного рода горюче-смазочных материалов и химически активных веществ — приводит к увеличению ожогового травматизма [2, 6, 21, 38, 41]. В вооруженных конфликтах используются различного рода средства, вызывающие термическое и химическое поражение органов млекопитающих [43, 53]. По данным Всемирной организации здравоохранения, ожоги занимают третье место среди всех травм [50]. Лечение ожогов осуществляется различными лекарственными средствами (такими, как мази и гели) [32, 40], пересадкой донорской ткани на пораженные ожогами участки или покрытием пораженных участков выращенными из различных клеток «перфорированными» тканями [15, 17, 31, 33, 42, 52, 54, 57]. Что касается математического моделирования иммунного ответа организма на поражение ожогом и моделирования методов лечения, то публикации на эту тему в литературных источниках практически отсутствуют [5, 14]. Значительная часть работ относится к моделированию термического удара [58, 59, 61, 62].

Кожа защищает организм от механических, физических, и химических воздействий, препятствует проникновению в кровь вирусов, бактерий и грибов. Кожный покров не дает организму нарушать свою структуру, свою форму, свою внутреннюю среду. Термические, химические и другие ожоги поражают участки кожи и вызывают целый ряд патологических изменений в организме. Возникают иммунологические сдвиги в организме, развивается интоксикация, связанная с накоплением продуктов распада белков, токсических веществ, поступающих из обожженных тканей и обладающих антигенными свойствами. Создаются условия для возникновения самых разнообразных инфекционных осложнений. Пораженная поверхность, как правило, загрязнена различными микроорганизмами, проникающими через пораженные участки во внутреннюю среду организма. При поражении организма в результате внешнего воздействия иммунная система начинает бороться с чужеродными элементами, проникающими в организм [21, 38].

При построении математической модели иммунного ответа используются методы математической популяционной биологии [19, 26–30, 49] и математической физики [55, 56].

Модель иммунного ответа. Кожу можно разделить на две части: внешний слой, контактирующий с внешним миром, и внутренний слой. Слои разделены базальной мембраной. На мембране со стороны внешнего слоя расположены стволовые клетки, которые пролиферируют, когда необходимо заменить отмирающие клетки внешнего слоя. Часть этих клеток отрывается от базальной мембраны, созревает, и прекращает пролиферацию. Образовавшиеся из стволовых зрелые клетки верхнего слоя выталкиваются на поверхность кожи. По мере движения они выполняют свои функции по выработке белков и, достигнув поверхности кожи, прекращают выполнять свои функции.

¹ Работа частично поддержана грантом РФФИ 14–06–00326.

При слабом ожоге поражается часть верхнего слоя, иммунная система организма воздействует на пораженный участок со стороны базальной мембраны, уничтожая некротическую ткань. Область, пораженная поверхностным ожогом, представляет собой тонкий слой некротической ткани. Иммунная система организма воздействует на его внутреннюю поверхность. Если линейные размеры пораженного участка кожи значительно больше по сравнению с толщиной некротической ткани, то в первом приближении можно считать, что реакция иммунной системы на некротическую ткань одинаковая в каждой точке внутренней поверхности ожогового слоя со стороны базальной мембраны. Потому в математической модели в первом приближении рассматривается одномерная (по толщине) модель иммунного ответа.

Верхний слой кожи, в котором находятся лимфоциты, пролиферирующие, эпителиальные и некротические клетки представляется в виде отрезка длиной l . Точка $x = 0$ «соответствует» базальной мембране, а точка $x = l$ — внешней поверхности кожи. Пусть $u_1(t, x)$ — линейная плотность пролиферирующих клеток, $u_2(t, x)$ — линейная плотность эпителиальных клеток, $L(t, x)$ — линейная плотность лимфоцитов, уничтожающих некротическую ткань, $N(t, x)$ — линейная плотность некротических клеток. В точке $x = 0$ расположены пролиферирующие клетки концентрация u_1^0 , которые за счет диффузии начинают распространяться вдоль отрезка. Созревание этих клеток ($u_1(t, x)$) на отрезке сопровождается их превращением в эпителиальные клетки $u_2(t, x)$. Последние, выполняя свои функции, за счет диффузии перемещаются к точке $x = l$ (внешнему слою кожи). В точке $x = 0$ концентрация лимфоцитов поддерживается постоянной и равной L_0 . При $0 < x \leq l$ источники клеток u_1 и u_2 отсутствуют.

Некротические клетки N расположены в окрестности точки $x = l$. При этом их общее количество, поскольку они «замещают» здоровые клетки, не должно превышать u_1^0 . В область залегания только некротических клеток клетки u_1 и u_2 не проникают.

При введенных предположениях математическая модель ответа иммунной системы на наличие некротических клеток представляется системой дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_1}{\partial t} &= D_1 \frac{\partial}{\partial x} \left(\left(1 - \frac{N}{u_1^0} \right) \frac{\partial u_1}{\partial x} \right) - \mu_1 u_1, \\ \frac{\partial u_2}{\partial t} &= D_1 \frac{\partial}{\partial x} \left(\left(1 - \frac{N}{u_1^0} \right) \frac{\partial u_2}{\partial x} \right) + \mu_1 u_1, \\ \frac{\partial L}{\partial t} &= D_3 \frac{\partial}{\partial x} \left(\left(1 - \frac{N}{u_1^0} \right) \frac{\partial L}{\partial x} \right) - \mu_3 LN, \\ \frac{\partial N}{\partial t} &= -\mu_3 LN. \end{aligned} \quad (1)$$

В этих уравнениях μ_1 — константа, характеризующая скорость превращения клеток u_1 в клетки u_2 , μ_3 — константа, характеризующая скорость уничтожения некротических клеток лимфоцитами, D_1 — параметр, характеризующий подвижность клеток u_1 и u_2 , а D_3 — лимфоцитов. Нелинейность проникновения клеток L , u_1 и u_2 в область некротических клеток учтена множителем $\left(1 - \frac{N}{u_1^0} \right)$ в первых трех уравнениях в (1).

К уравнениям (1) добавляются граничные условия при $x = 0$

$$u_1 = u_1^0, \quad u_2 = 0, \quad L = L_0, \quad \frac{\partial N}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

и при $x = l$

$$\frac{\partial u_1}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial u_2}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial u_3}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial N}{\partial x} = 0. \quad (3)$$

Эти граничные условия предполагают, что клетки u_2 отсутствуют на границах отрезка, концентрация клеток u_1 в точке $x = 0$ поддерживается постоянной (базальная мембрана не повреждена), а в точке $x = l$ диффузионные потоки равны нулю.

В качестве начальных условий принимаются следующие

при $t = 0$:

$$u_1 = 0, \quad u_2 = 0, \quad L = 0, \quad N = u_1^0, \quad \text{если } 0 < x \leq l,$$

и $u_1 = u_1^0, u_2 = 0, L = L_0, N = u_1^0$, если $x = 0$.

Здесь предполагается, что верхний слой ткани вплоть до базальной мембраны представляет собой некротическую ткань, а сама базальная мембрана не поражена.

Общее количество некротических клеток в момент времени t подсчитывается по формуле

$$M(t) = \int_0^l N(t, x) dx.$$

В отсутствие некротической ткани функция $u(t, x) = u_1(t, x) + u_2(t, x)$ удовлетворяет линейному уравнению

$$\frac{\partial(u_1 + u_2)}{\partial t} = D_1 \frac{\partial^2(u_1 + u_2)}{\partial x^2},$$

решение которого со временем с учетом граничных условий (2)–(3) стремится к решению стационарного уравнения [55]: $u = u_1(x) + u_2(x) = u_1^0$.

Функция $u_1(t, x)$ в стационарном случае удовлетворяет уравнению

$$D_1 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} - \mu_1 u_1 = 0.$$

Решение этого уравнения, удовлетворяющее граничному условию при $x = l$, представляется в виде неявной зависимости $u_1 = u_1(x)$ [1]:

$$\frac{u_1 + \sqrt{u_1^2 - u_1^2(x=l)}}{u_1^0 + \sqrt{(u_1^0)^2 - u_1^2(x=l)}} = e^{-x\mu_1/D_1}.$$

Значение $u_1(x=l)$ находится как корень уравнения

$$z - (1 + \sqrt{1-z})e^{-l\mu_1/D_1} = 0, \tag{4}$$

в котором $z = \frac{u_1(x=l)}{u_1^0}$, имеющего решение при $0 < z < 1$. Поверхности кожи пролиферирующие клетки не достигают. То есть в модели должно выполняться неравенство $u_1(x=l) \ll u_1^0$. Поэтому корень уравнения (4) должен быть близким к нулю. Это выполняется, если $lD_1 \ll \mu_1$ — диффузия клеток должна быть медленной, по сравнению со скоростью пролиферации (или большая часть пролиферирующие клеток должна находиться в окрестности базальной мембраны).

Численное решение. Построение численного решения системы уравнений (1) осуществлялось с применением сеточных методов. Дискретизация уравнений (1) осуществлялась по пространственной и временной переменным [29, 55]. По пространственной переменной с шагом $h = l/n$ (n — число отрезков разбиения промежутка $[0, l]$) и временной переменной с шагом τ . Дифференциальные уравнения в (1) аппроксимировались конечными разностями. Во внутренних точка промежутка $[0, l]$ ($i = 2, 3, \dots, n$)

$$\frac{u_1^i(t) - u_1^i(t - \tau)}{\tau} = \frac{D_1}{2h^2} (B_i (u_1^{i+1}(t) - u_1^i(t)) - B_{i-1} (u_1^i(t) - u_1^{i-1}(t))) - \mu_1 u_1^i(t),$$

$$\frac{u_2^i(t) - u_2^i(t - \tau)}{\tau} = \frac{D_1}{2h^2} (B_i (u_2^{i+1}(t) - u_2^i(t)) - B_{i-1} (u_2^i(t) - u_2^{i-1}(t))) - \mu_1 u_2^i(t),$$

$$\frac{L^i(t) - L^i(t - \tau)}{\tau} = \frac{D_1}{h^2} (B_i (L^{i+1} - L^i) - B_{i-1} (L^i - L^{i-1})) - \mu_3 L^i N_i, \tag{5}$$

$$\frac{N^i(t) - N^i(t - \tau)}{\tau} = -\mu_3 \frac{1}{2} (L^i(t) N^i(t) + L^i(t - \tau) N^i(t - \tau)),$$

$$B_i = 2 - \frac{N^{i+1}}{u_1^0} - \frac{N^i}{u_1^0},$$

и на границах

$$u_1^1 = u_1^0, u_2^1 = 0, L^1 = L_0, N^2 - N^1 = 0$$

$$u_1^{n+1} - u_1^n = 0, u_2^{n+1} - u_2^n = 0, L^{n+1} - L^n = 0, N^{n+1} - N^n = 0.$$

Система уравнений (5) на каждом временном слое решалась итерационными методами. Требуемая точность (не более 1% в максимальных относительных отклонениях на двух соседних итерациях) достигалась при 3–5 итерациях. Результаты решения системы уравнений для $n = 100$ и $n = 200$ при шаге интегрирования по временной

переменной, выбираемом из условия $\max(D_1, D_3) \frac{\tau}{h^2} \leq 0.1$, отличались не более чем на 1%. Некоторые из результатов решения уравнений (5) представлены на рис. 1–2 ($D_1 = 0.001, D_2 = 0.001, \mu_1 = 0.1, \mu_3 = 0.1, u_1^0 = 1, u_3^0 = 1, l = 1$).

На рис. 1 показано изменение функций $u = u_1(t, x) + u_2(t, x), L(t, x)$ и $N(t, x)$ вдоль координаты в момент времени $t = 200$. На рис. 2 — изменение общего количества некротических клеток $M(t)$ во времени при различных значениях параметра $D_3 = 0.0005, 0.001, 0.005$.

Как следует из полученных результатов в рамках предложенной модели иммунного ответа организма для ускорения уничтожения некротических клеток необходимо повышать подвижность лимфоцитов.

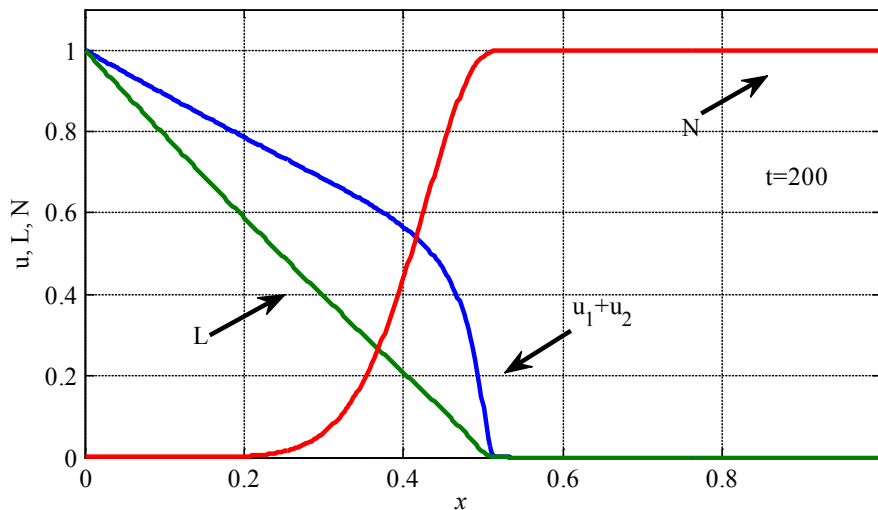


Рис. 1. Изменение функций $u = u_1(t, x) + u_2(t, x), L(t, x)$ и $N(t, x)$ вдоль координаты в момент времени $t = 200$

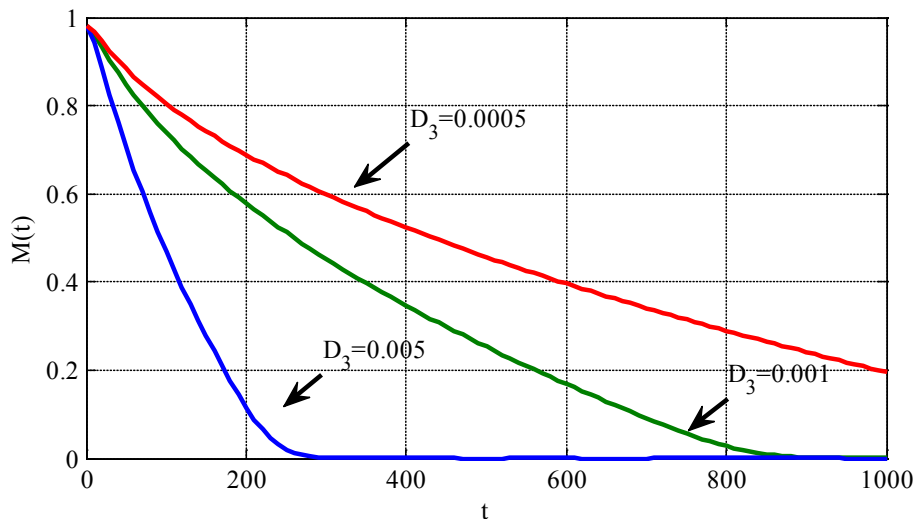


Рис. 2. Изменение функции $M(t)$ во времени при различных значениях параметра $D_3 = 0.0005, 0.001, 0.005$

При ожогах изменяются механические свойства кожи и ее форма [3, 4]. Учет в математических моделях этих эффектов можно осуществлять на основе законов механики с учетом биохимических реакций, происходящих в среде [1, 23, 44–49, 55, 60, 63, 64]. В этом случае можно на основе математического моделирования спланировать лечение с наименьшими искажениями формы кожи после восстановления ее функций [2, 18, 25, 51]. С другой стороны подключение аппарата механики сплошных сред позволит разрабатывать модели поражения как внешних, так и внутренних органов организма различной геометрической формы с нелинейными механическими свойствами тканей [7–9, 13, 24, 34–37, 56]. Для расчета экономических и временных затрат на лечение ожоговой болезни можно использовать методы математической экономики [10–12, 20, 22, 39]. Это позволит спланировать наиболее рациональный вариант лечения в рамках имеющихся материальных и временных ресурсов [16].

Литература:

1. Балыкина, Ю. Е., Колпак Е. П. Математические модели функционирования фолликула щитовидной железы // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2013. — №3. — с. 20–31.
2. Буланкина, И. А. Изменения морфологических характеристик и биомеханических свойств структур кожи при термическом ожоге III, IV степени // Сибирский медицинский журнал (г. Иркутск). — 2011. — Т. 106. — №7. — с. 23–26.
3. Буланкина, И. А. Изменения напряженно-деформированных состояний структур кожи при термическом ожоге без признаков некроза (I, II степени) // Сибирский медицинский журнал (г. Иркутск). — 2011. — Т. 103. — №4. — с. 95–98.
4. Буланкина, И. А., Лебединский В. Ю., Изатулин В. Г. Изменения напряженно-деформированных состояний структур кожи при термическом ожоге с признаками некроза (III, IV степени) // Сибирский медицинский журнал (г. Иркутск). — 2010. — Т. 96. — №5. — с. 57–59.
5. Викторов, А. А., Холоднов В. А., Гладких В. Д., Алехнович А. В. Математическая модель влияния окружающей среды на старение живых систем // Успехи геронтологии. — 2013. — Т. 26. — №1. — с. 52–57.
6. Гамаюнов, Б. Н. Солнечные ожоги — причины, профилактика и способы лечения // Фарматека. — 2013. — №10 (263). — с. 63–65.
7. Гасратова, Н. А. Напряженно-деформированное состояние упругого пространства со сферическим жестким включением // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2009. — №1. — с. 14–18.
8. Гасратова, Н. А., Столбовая М. В., Неверова Е. Г., Бербер А, С Математическая модель «ресурс-потребитель» // Молодой ученый. — 2014. — №10 (69). — с. 5–14.
9. Гасратова, Н. А., Шамина В. А. Решение в напряжениях линейной осесимметричной задачи для сферы и упругого пространства со сферической полостью // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. — 2008. — №2. — с. 122–128.
10. Гордеев, Д. А., Малафеев О. А. Титова Н. Д. Стохастическая модель принятия решения о выводе на рынок инновационного продукта // Вестник гражданских инженеров — 2011 — №2. — с. 161–166.
11. Григорьева, К. В., Малафеев О. А. Динамический процесс кооперативного взаимодействия в многокритериальной (многоагентной) задаче почтальона // Вестник гражданских инженеров — 2011 — №1. — с. 150–156.
12. Григорьева, К. В., Иванов А. С., Малафеев О. А. Статическая коалиционная модель инвестирования инновационных проектов // Экономическое возрождение России — 2011 — №4. — с. 90–98.
13. Даль, Ю. М., Пронина Ю. Г. Деформация шаровой поры в нелинейно-упругом теле // Известия Российской академии наук. Серия физическая. — 2006. — Т. 70. — №9. — с. 1341–1343.
14. Домогатская, А. С., Домогатский С. П., Руге Э. К. Обработка протеолитическими ферментами поверхности ожоговых ран: математическое описание кинетики лизиса // Биофизика. — 2003. — Т. 48. — Вып. 5. — с. 911–917.
15. Дрозд, В. А., Мартыненко Е. Е., Митряшов К. В., Гирия О. Ю., Маломан Н. В. Применение наночастиц в лечении ожогов кожи // Успехи современного естествознания. — 2013. — №8. — с. 44–45.
16. Дроздова, И. В. Моделирование процессов реконструкции жилищно-коммунального хозяйства мегаполиса в условиях конкурентной среды: монография/И. В. Дроздова, О. А. Малафеев, Г. Д. Дроздов — М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский гос. ун-т сервиса и экономики — Санкт-Петербург, 2008.
17. Еремин, И. И., Зорин В. Л., Поляков А. В., Черкасов В. Р., Зорина А. И. Клеточные технологии в терапии ожогов // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. — 2011. — №4. — с. 75–81.

18. Жукова, И. В., Колпак Е. П. Математическая модель солидной опухоли // Естественные и математические науки в современном мире. — 2013. — № 13. — с. 18–25.
19. Жукова, И. В., Колпак Е. П. Математические модели злокачественной опухоли // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2014. — № 3. — с. 5–18.
20. Занина, И. А., Раздорская И. М., Чембарцева И. В. Прогнозирование затрат на антибактериальные препараты для лечения ожогов у детей // Фармация. — 2009. — № 4. — с. 25–26.
21. Кожевников, П. В. Общая дерматология. Л.: Медицина, 1970. — 295 с.
22. Колокольцов, В. Н., Малафеев О. А. Динамические конкурентные системы многоагентного взаимодействия и их асимптотическое поведение (часть I) // Вестник гражданских инженеров — 2010 — № 4 — с. 144–153.
23. Колпак, Е. П. Введение в механику сплошных сред учебное пособие/Е. П. Колпак; С.-Петерб. гос. ун-т. СПб. 2004.
24. Колпак, Е. П. Устойчивость и закритические состояния безмоментных оболочек при больших деформациях // диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук/Санкт-Петербург, 2000.
25. Колпак, Е. П., Балыкина Ю. Е., Котина Е. Д., Жукова И. В. Математическая модель нарушений функционирования щитовидной железы // Молодой Ученый. — 2014. — № 2 (61). — с. 19–24.
26. Колпак, Е. П., Горбунова Е. А., Балыкина Ю. Е., Гасратова Н. А. Математическая модель одиночной популяции на билокальном ареале // Молодой ученый. — 2014. — № 1 (6). — с. 28–33.
27. Колпак, Е. П., Горбунова Е. А., Жукова И. В. Математическая модель популяционной волны // Естественные и математические науки в современном мире. — 2014. — № 16. — с. 25–41.
28. Колпак, Е. П., Горбунова Е. А., Столбовая М. В., Балыкина Ю. Е. Математическая модель логистической популяции на линейном ареале // Молодой ученый. — 2014. — № 3 (62). — с. 6–14.
29. Колпак, Е. П., Жукова И. В., Степанова Д. С., Крицкая А. В. О численных методах решения эволюционных уравнений на примере математической модели «хищник-жертва» // Молодой ученый. — 2014. — № 4. — с. 20–30.
30. Колпак, Е. П., Столбовая М. В. Математическая модель кинетики роста растений // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. — 2013. — № 12 (90). — с. 230–232.
31. Королёва, Т. А. Клеточные технологии в лечении детей с глубокими ожогами кожи (обзор литературы) // Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии. — 2013. — Т. III. — № 3. — с. 35–42.
32. Крылов, П. К., Козулин И. Д. Применение гелей на основе 2-аллилоксиэтанола в процессе местного лечения ожогов // Скорая медицинская помощь. — 2014. — Т. 15. — № 1. — с. 59–63.
33. Ледовской, С. Н., Лазаренко В. А., Бурда Ю. Е. Сравнительный экономический анализ получения первичной культуры фибробластов различной степени зрелости для лечения ожогов // Курский научно-практический вестник Человек и его здоровье. — 2010. — № 1. — С. — 111–116.
34. Мальков, В. М., Малькова Ю. В. Исследование нелинейной задачи Фламана // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. — 2006. — № 5. — с. 68–78.
35. Мальков, В. М., Малькова Ю. В. Нелинейная задача Фламана для несжимаемого материала // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия I: Математика. Механика. Астрономия. — 2004. — № 4. — с. 73–82.
36. Мальков, В. М., Малькова Ю. В., Иванов В. А. Бесконечная плоскость с круговым включением, имеющим отслоение на части границы // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2009. — № 4. — с. 152–165.
37. Мальков, В. М., Малькова Ю. В. Плоская задача нелинейной упругости для гармонического материала // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия I: Математика. Механика. Астрономия. — 2008. — № 3. — с. 114–126.
38. Матвеев, С. Б., Смирнов С. В., Тазина Е. В., Шахламов М. В., Годков М. А., Борисов В. С. Динамика эндогенной интоксикации у пациентов с обширными ожогами // Клиническая лабораторная диагностика. — 2013. — № 2. — с. 10–12.
39. Миндлин, Ю. Б., Колпак Е. П., Балыкина Ю. Е. Проблемы использования кластеров в Российской Федерации // Вестник НГУЭУ. — 2014. — № 1. — с. 22–32.
40. Миненко, Н. А., Панов П. Б. Профилактика химических ожогов кожи, вызванных действием агрессивных жидкостей // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. — 2012. — № 1. — с. 16–21.
41. Михайлов, И. Н. Структура и функция эпидермиса. М.: Медицина, 1979. — 238 с.
42. Никитенко, В. И., Павловичев С. А., Полякова В. С., Копылов В. А., Гнедой С. Н., Миханов В. А., Никитенко И. Е. Использование факторов роста фибробластов для лечения ран и ожогов // Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова. — 2012. — № 12. — с. 72–76.

43. Правдивцев, В.Л. Тайные технологии. Биосферное и геосферное оружие/В.Л. Правдивцев. — М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2012. — 335 с
44. Пронина, Ю.Г. Оценка долговечности упругой трубы под действием продольной силы и давления в условиях равномерной поверхностной коррозии // Деформация и разрушение материалов. — 2009. — №2. — с. 41–45.
45. Пронина, Ю.Г. Механохимическая коррозия полого цилиндра из идеального упругопластического материала под действием постоянного давления // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. — 2006. — №3. — с. 121–130.
46. Пронина, Ю.Г. Периодическая задача о точечных воздействиях в упругой полуплоскости с отверстиями // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2009. — №3. — с. 118–128.
47. Пронина, Ю.Г. Сосредоточенные силы и моменты в упругой полуплоскости с отверстием // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2009. — №2. — с. 104–114.
48. Пронина, Ю.Г. Центры расширения-сжатия в упругой полуплоскости // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. — 2007. — №2. — с. 140–149.
49. Ризниченко, Г.Ю., Рубин А.Б. Биофизическая динамика продукционных процессов. Москва — Ижевск: Институт компьютерных технологий, 2004. — 464 с.
50. Российский статистический ежегодник. 2005: Росстат. М., 2006. — 819 с.
51. Рыбаков, А.А., Ершов А.В., Долгих В.Т. Оптимизация лечения больных с термическими ожогами II–III степени // Общая реаниматология. — 2009. — Т. V. — №5. — с. 45–48.
52. Салахитдинов, К.З., Алексеев А.А. Роль биосинтетических покрытий в лечении поверхностных ожогов II–III степени // Казанский медицинский журнал. — 2013. — Т. 94. — №4. — с. 487–491.
53. Соколов, В.А., Адмакин А.Л., Петрачков С.А., Степаненко А.А., Камаев В.В. Ожоги после террористических актов и чрезвычайных ситуаций мирного времени // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. — 2014. — №2. — с. 24–32.
54. Стручков, А.А., Анфимов П.Е., Кулакова К.В., Бугров С.Н. Применение раневого покрытия «биотекст» для местного лечения ожогов // Вопросы травматологии и ортопедии. — 2012. — №2. — с. 16–17.
55. Тихонов, А.Н., Самарский А.А. Уравнение математической физики. М.: Наука, 1972. 735 с.
56. Черных, К.Ф., Кабриц С.А., Колпак Е.П., Слепнева Л.В. Точные решения краевых задач нелинейной теории упругости // отчет о НИР №96–01–00739 (Российский фонд фундаментальных исследований).
57. Шубина, В.С., Шаталин Ю.В. Регенерация кожи после химического ожога в присутствии препаратов на основе производных таксифолина // Клеточные технологии в биологии и медицине. — 2012. — №3. — с. 160–166.
58. Jiang, S.C., Ma N., Li H.J., Zhang X.X. Effects of thermal properties and geometrical dimensions on skin burn injuries // Burns. — 2002. — V. 28. — P. 713–717.
59. Mercer, G.N., Sidhu Y.S. Modeling thermal burns due to airbag deployment // Burns. — 2005. V. 31. P. 977–980.
60. Murray, D.D. Mathematical biology. N.Y. Springer. 2002. — 551 p.
61. Museux, N., Perez L., AutriqueL., Agay D. Skin burns after laser exposure: Histological analysis and predictive simulation // Burns. — 2012. — V. 38. — P. 658–667.
62. Ng, E.Y.K., Tan H.M., Ooi E.H. Boundary element method with bioheat equation for skin burn injury // Burns. — 2009. — V. 35. — P. 987–997.
63. Pronina, Y. Analytical solution for the general mechanochemical corrosion of an ideal elastic-plastic thick-walled tube under pressure // International Journal of Solids and Structures. — 2013. — Т. 50. — №22–23. — с. 3626–3633.
64. Pronina, Y.G. Estimation of the life of an elastic tube under the action of a longitudinal force and pressure under uniform surface corrosion conditions // Russian metallurgy (Metally). — 2010. — Т. 2010. — №4. — с. 361–364.

Модель Базыкина-Свирижева хищник-жертва

Гасратова Наталья Александровна, кандидат физико-математических наук, ассистент;

Бойцов Дмитрий Сергеевич, студент;

Крылова Виктория Александровна, студент;

Гаврилова Анна Васильевна, студент

Санкт-Петербургский государственный университет

Дается качественный анализ математической модели хищник-жертва Базыкина-Свирижева, представляющую собой задачу Коши для системы двух обыкновенных дифференциальных уравнений. Проводится анализ устойчивости стационарных точек в зависимости от параметров, входящих в уравнения.

Ключевые слова: популяция, дифференциальные уравнения, математическое моделирование.

Математическая модель «хищник-жертва» достаточно часто встречается в научных публикациях [1, 2, 5, 6, 16, 26, 28, 29, 32–37, 40]. В основе большинства моделей лежит модель Лотка и Вольтерра, представляющая собой задачу Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Модель объясняет периодическое изменение численности популяций, происходящее в природе. Колебания численности связаны с внешними воздействиями и внутренними изменениями в биоценозе. От них зависят период и амплитуда колебаний, механизмы регуляции численности популяций. Однако, эта модель не лучшим образом согласуется с данными полевых наблюдений [4, 18, 20, 23, 25, 30]: амплитуда и период колебаний численности популяций не являются неизменными, на отдельных длительных временных промежутках численность популяций становится минимальной, периодически возникают «вспышки» численности.

Математическая модель, описывающая динамику численности двух популяций, взаимодействующих по принципу хищник-жертва, была предложена Лотка и Вольтерра [2, 6]:

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= c_1 u - a_{12} uv, \\ \frac{dv}{dt} &= -c_2 u + a_{21} uv. \end{aligned} \quad (1)$$

В этих уравнениях u и v — численности популяций жертвы и хищника соответственно, c_1 , c_2 , a_{12} , a_{21} — константы. Стационарной точкой системы уравнений (1) является $u_* = \frac{c_2}{a_{21}}$, $v_* = \frac{c_1}{a_{12}}$. В окрестности этой стационарной точки (центр) происходят гармонические колебания численности обеих популяций с частотой $\omega = \sqrt{c_1 c_2}$ [2, 16]. При этом независимо от значений, которые принимают константы, стационарная точка остается центром.

Модель Базыкина-Свирижева [2, 22] представлена системой дифференциальных уравнений (γ и α — константы)

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= u^2(1-u) - uv, \\ \frac{dv}{dt} &= -\gamma v(\alpha - u). \end{aligned} \quad (2)$$

В этой модели учтена внутривидовая конкуренция у жертвы и нелинейность размножения жертвы при малой ее численности.

Система уравнений (2) имеет две нетривиальные стационарные точки:

1. $u = 1$, $v = 0$.
2. $u = \alpha$, $v = \alpha(1 - \alpha)$.

В первой стационарной точке собственными значения матрицы Якоби будут $\lambda_1 = -1$ и $\lambda_2 = -\gamma(\alpha - 1)$. При $\alpha > 1$ эта стационарна точка будет устойчивой и, соответственно, хищник «погибает», периодические колебания не возникают.

Во второй стационарной точке, а она имеет физический смысл, если $\alpha < 1$, собственные значения матрицы Якоби являются корнями квадратного уравнения

$$P(\lambda) = \lambda^2 + \alpha(2\alpha - 1)\lambda + \gamma\alpha^2(1 - \alpha).$$

При $1/2 < \alpha < 1$ полином $P(\lambda)$ в зависимости от значений параметра γ будет иметь либо пару комплексно сопряженных корней с отрицательной вещественной частью, либо отрицательные корни. Соответственно, положение равновесия будет устойчивым.

При $0 < \alpha < 1/2$ полином $P(\lambda)$ будет иметь корни с положительной вещественной частью. В этом случае положение равновесия будет неустойчивым. При $\alpha = 1/2$ стационарная точка является центром.

Третья стационарна точки — тривиальная: $u = 0, v = 0$. Одно из собственных значений в этой точке равно нулю. В окрестности этой точки уравнения (2) в линейном приближении принимают вид

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= u(u - v), \\ \frac{dv}{dt} &= -\gamma\alpha v. \end{aligned}$$

Если на решениях уравнений (1) в окрестности этой стационарной точки будет выполняться неравенство $u < v$, то функции $u = u(t)$ и $v = v(t)$ будут убывающими функциями, стремящимися в точку $(0, 0)$.

Таким образом, при выполнении неравенств $0 < \alpha < 1/2$ все три стационарные точки могут быть неустойчивыми (в зависимости от значения параметра α). При $u > 1$ производная du/dt отрицательна. Потому $u(t)$ не может возрастать до бесконечности и, начиная с какого-то момента времени, станет убывать. Поэтому колебания в рассматриваемой модели могут возникнуть только при выполнении неравенства $0 < \alpha \leq 1/2$.

Некоторые из результатов численных экспериментов представлены на рис. 1 — рис. 3 ($\gamma = 0.7$). На рис. 1 приведены зависимости функций $u(t)$ и $v(t)$ от времени при $\alpha = 0.45$, $u(t = 0) = 0.010$ и $v(t = 0) = 0.001$. На рис. 2 — аналогичные зависимости при $\alpha = 0.25$, а на рис. 3 — при $\alpha = 0.10$, и значениях $u(t = 0)$ и $v(t = 0)$ близких к значениям этих функций во второй стационарной точке ($u = \alpha, v = \alpha(1 - \alpha)$).

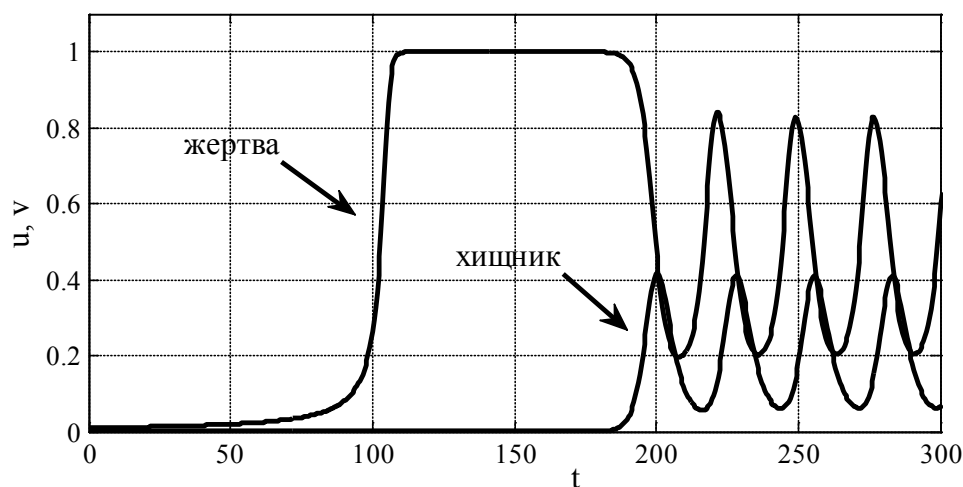
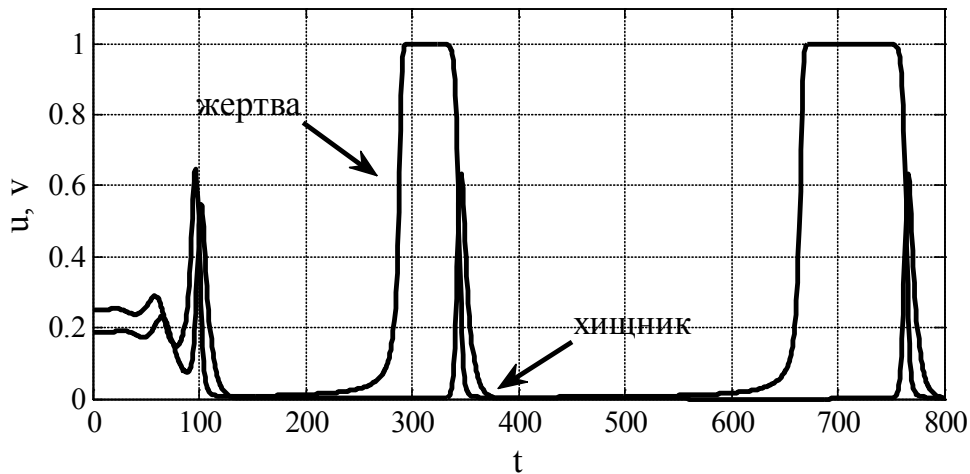
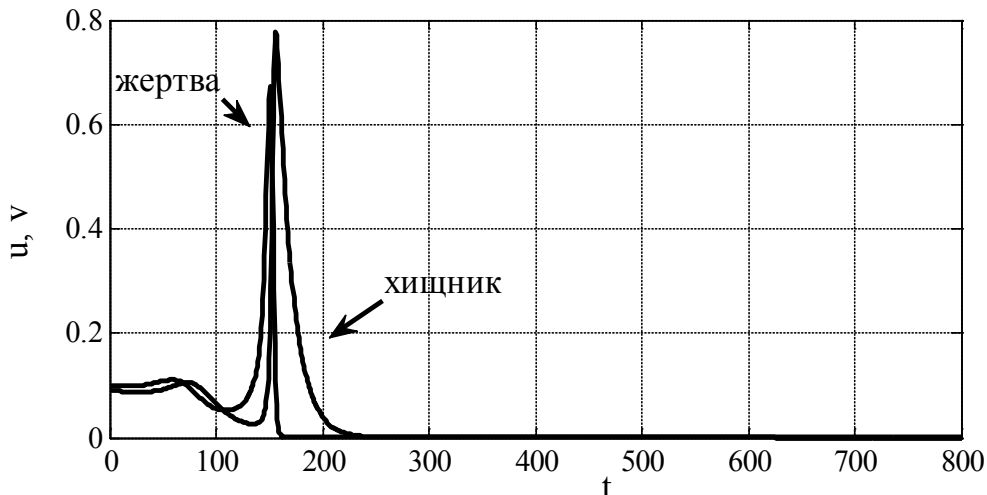


Рис. 1. Изменение функций $u(t)$ и $v(t)$ от времени при $\alpha = 0.45$

Рис. 2. Изменение функций $u(t)$ и $v(t)$ от времени при $\alpha = 0.25$ Рис. 3. Изменение функций $u(t)$ и $v(t)$ от времени при $\alpha = 0.15$

Параметр α во втором уравнении в (2) представляет собой удельную смертность хищника. Потому модель Базыкина — Свирижева в отличие от модели Лотка и Вольтерра «чувствительна» к смертности хищника. То есть, если в системе по каким-то причинам изменяется значение параметра α , то в зависимости от ее текущего состояния, могут, либо возникнуть колебания (рис. 1), либо периодические «вспышки» численности (рис. 2). Возможна гибель хищника при высокой его удельной смертности, или гибель обеих популяций при малой удельной смертности хищника (рис. 3).

Полученные выше результаты относятся к «точечным» моделям. Поскольку реальные популяции живут на территориях, то учет пространственного распределения особей в математических моделях может привести к результатам не содержащихся в точечных моделях [5, 7, 13–17, 24, 29, 30, 37].

Математические методы, используемые при моделировании взаимодействующих популяций, можно использовать и при моделировании процессов, происходящих в физически, химически и биологически активных средах [3, 8, 9, 11, 12, 27, 38, 39]. Для оценки экономических последствий взаимоотношений в системе «хищник-жертва» можно использовать методы математической экономики [10, 19, 21].

Литература:

1. Апонин, Ю. М., Апонина Е. А. Математическая модель сообщества хищник — жертва с нижним порогом численности жертвы // Компьютерные исследования и моделирование. — 2009. — Т. 1. — № 1. — с. 51–56.

2. Базыкин, А.Д. Нелинейная динамика взаимодействующих популяций. Москва-Ижевск: Институт компьютерных технологий, 2003. — 368 с.
3. Балькина, Ю.Е., Колпак Е.П. Математические модели функционирования фолликула щитовидной железы // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2013. — №3. — с. 20–31.
4. Бигон, М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества: в двух томах. М.: Мир, 1989. Т. 1. — 667 с. Т. 2. — 477 с.
5. Будянский, А.В., Цибулин В.Г. Моделирование пространственно-временной миграции близкородственных популяций // Компьютерные исследования и моделирование. — 2011. — Т. 3. — №4. — с. 477–488.
6. Вольтерра, В. Математическая теория борьбы за существование. Москва-Ижевск: Институт компьютерных технологий, 2004. — 288 с.
7. Горбунова, Е.А., Колпак Е.П. Математические модели одиночной популяции // Вест. С.-Петерб. ун-та. Сер. 10. — 2012. — Вып. 4. — с. 18–30.
8. Жукова, И.В., Колпак Е.П. Математическая модель солидной опухоли // Естественные и математические науки в современном мире. — 2013. — №13. — с. 18–25.
9. Жукова, И.В., Колпак Е.П. Математические модели злокачественной опухоли // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2014. — №3. — с. 5–18.
10. Колокольцов, В.Н., Малафеев О.А. Динамические конкурентные системы многоагентного взаимодействия и их асимптотическое поведение (часть I) // Вестник гражданских инженеров. — 2010 — №4 — с. 144–153.
11. Колпак, Е.П. Введение в механику сплошных сред учебное пособие/Е.П. Колпак; С.-Петерб. гос. ун-т. СПб. 2004.
12. Колпак, Е.П., Балькина Ю.Е., Котина Е.Д., Жукова И.В. Математическая модель нарушений функционирования щитовидной железы // Молодой Ученый. — 2014. — №2 (61). — с. 19–24.
13. Колпак, Е.П., Горбунова Е.А., Балькина Ю.Е., Гасратова Н.А. Математическая модель одиночной популяции на биллокальном ареале // Молодой ученый. — 2014. — №1 (6). — с. 28–33.
14. Колпак, Е.П., Горбунова Е.А., Жукова И.В. Математическая модель популяционной волны // Естественные и математические науки в современном мире. — 2014. — №16. — с. 25–41.
15. Колпак, Е.П., Горбунова Е.А., Столбовая М.В., Балькина Ю.Е. Математическая модель логистической популяции на линейном ареале // Молодой ученый. — 2014. — №3 (62). — с. 6–14.
16. Колпак, Е.П., Жукова И.В., Степанова Д.С., Крицкая А.В. О численных методах решения эволюционных уравнений на примере математической модели «хищник-жертва» // Молодой ученый. — 2014. — №4. — с. 20–30.
17. Колпак, Е.П., Столбовая М.В. Математическая модель кинетики роста растений // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. — 2013. — №12 (90). — с. 230–232.
18. Коробченко, М.А. Расширение ареала крота европейского (*talpa europaea*) в долине реки Северный Донец // Зоологический журнал. — 2009. — Т. 88. — №4. — с. 465–472.
19. Малафеев, О.А., Пахар О.В. Динамическая нестационарная задача инвестирования проектов в условиях конкуренции // Проблемы механики и управления: Нелинейные динамические системы. — 2009. — №41. — с. 103–108.
20. Мамонтов, С.Н. Распределение по стволу дерева кородея-типографа (*ips typographus*, coleoptera, scolynidae) и его энтомогафов // Зоологический журнал. — 2009. — Т. 88. — №9. — с. 1139–1145.
21. Миндлин, Ю.Б., Колпак Е.П., Балькина Ю.Е. Проблемы использования кластеров в Российской Федерации // Вестник НГУЭУ. — 2014. — №1. — с. 22–32.
22. Мятлев, В.Д., Панченко Л.А., Ризниченко Г.Ю., Терехин А.Т. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели. М.: Издательский центр «Акадкмия», 2009. — 320 с.
23. Окулова, Н.М., Катаев Г.Д. Взаимосвязи «хищник-красно-серая полевка» в сообществах позвоночных животных Лапландского заповедника // Зоологический журнал. — 2007. — Т. 86. — №8. — с. 989–998.
24. Ризниченко, Г.Ю., Рубин А.Б. Биофизическая динамика продукционных процессов. Москва — Ижевск: Институт компьютерных технологий, 2004. — 464 с.
25. Садыков, О.Ф., Бененсон И.Е. Динамика численности мелких млекопитающих: Концепции, гипотезы, модели. М.: Наука, 1992. — 191 с.
26. Свиричев, Ю.М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. М: Наука, 1987. — 368 с.
27. Тихонов, А.Н., Самарский А.А. Уравнение математической физики. М.: Наука, 1972. — 735 с.

28. Трубецков, Д.И. Феномен математической модели Лотки-Вольтерры и сходных с ней // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. — 2011. — Т. 19. — №2. — с. 69–88.
29. Тютюнов, Ю.В. Пространственная модель развития устойчивости насекомых-вредителей к трансгенной инсектицидной сельскохозяйственной культуре // Биофизика. — 2007. — Т. 52. — №1. — с. 95–113.
30. Тютюнов, Ю.В., Загребнева А.Д., Сурков Ф.А., Азовский А.И. Микромасштабная пятнистость распределения веслоногих рачков как результат трофически обусловленных миграций // Биофизика. — 2009. — Т. 54. — Вып. 3. — с. 508–514.
31. Уморин, П.П. Роль хищников в устойчивом существовании нескольких видов водорослей // Биология внутренних вод. — 2009. — №1. — с. 3–7.
32. Abrams, P. A., Chad E., Brassil C. E., Robert D., Holt R. D. Dynamics and responses to mortality rates of competing predators undergoing predator — prey cycles // Theoretical Population Biology. — 2003. — V. 64. — P. 163–176.
33. Garvie, M. R. Finite-difference schemes for reaction — diffusion equations modeling predator — prey interactions in Matlab // Bulletin of Mathematical Biology. — 2007. — V. 69. — P. 931–956.
34. Ge, w., Gui z. The effect of harvesting on a predator—prey system with stage structure // Ecological Modelling. — 2005. — V. 187. — P. 329–340.
35. Jones, L. E., Ellner S. P Evolutionary Tradeoff and Equilibrium in an Aquatic Predator — Prey System // Bulletin of Mathematical Biology. — 2004. — V. 66. — P. 1547–1573.
36. Lopez-Sanchez, J. F., Alhama F., Gonzalez-Fernandez C. F Introduction and permanence of species in a diffusive Lotka-Volterra system with time-dependent coefficients // Ecological Modelling. — 2005. — V. 183. P. 1–9.
37. Murray, D. D. Mathematical biology. N. Y. Springer. 2002. — 551 p.
38. Pronina, Y. Analytical solution for the general mechanochemical corrosion of an ideal elastic-plastic thick-walled tube under pressure // International Journal of Solids and Structures. — 2013. — Т. 50. — №22–23. — с. 3626–3633.
39. Pronina, Y. G. Estimation of the life of an elastic tube under the action of a longitudinal force and pressure under uniform surface corrosion conditions // Russian metallurgy (Metally). — 2010. — Т. 2010. — №4. — с. 361–364.
40. Wang, W., Takeuchi Y. Adaptation of prey and predators between patches // Journal of Theoretical Biology. — 2009. — V. 258. — P. 603–613.

Математическая модель конкуренции двух популяций на линейном ареале

Колпак Евгений Петрович, доктор физико-математических наук, профессор;

Горыня Екатерина Валерьевна, студент;

Крылова Виктория Александровна, студент;

Полежаев Дмитрий Юрьевич, студент

Санкт-Петербургский государственный университет

Поставлена математическая задача о конкуренции на линейном ареале двух популяций. Математическая модель представляет собой краевую задачу для системы двух нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Исследуется устойчивость стационарных состояний. Для построения численного решения предлагается вариационный метод с представлением решений в виде тригонометрических рядов.

Ключевые слова: популяция, краевые задачи, математическое моделирование.

Введение. Математическому моделированию конкуренции двух взаимодействующих популяций посвящено большое число работ [1, 2, 6, 8, 18, 19, 25, 26, 36, 37, 40, 51, 52, 56, 57, 60–63, 66–67]. В основе математических моделей лежит задача Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Распространение особей в пространстве в таких моделях не учитывается. Реальные популяции живут на ограниченных территориях с различными свойствами среды обитания в разных ее частях [4, 5, 11, 15, 35, 45, 64]. Часть особей по различным причинам (например, в поисках пищи или свободных мест обитания) склонна к перемещению по территории. Как показывает анализ результатов полевых наблюдений [4, 35, 45, 64] перемещение особей происходит случайным образом. В моделях с распределенными параметрами, в которых учитывается пространственное распределение особей популяции, вводится плотность популяции на единицу длины, площади или объема, и считается, что особи распределены в пространстве [3–5, 12, 18, 30–34, 49, 56, 64]. Среда обитания считается сплошной, что позволяет использовать аппарат дифференциальных уравнений в частных производных, широко применяемый при разработке математических моделей сплошных сред с нелинейными свойствами [16, 20, 27–29, 41–44, 53–55, 58, 59, 65].

Существенное влияние на биоценозы оказывает и производственная деятельность человека, приводящая к изменению условий существования флоры и фауны. Для учета негативных последствий, вносимых человеком нарушений в ход эволюционных процессов, в модели популяционной биологии необходимо подключать модели математической экономики [13, 14, 38, 39, 47].

Задача анализ результатов полевых наблюдений является отдельной и достаточно сложной задачей. Здесь не просто выявить основные причины, характеризующие конкуренцию и, соответственно, определить значения параметров необходимых для разработки математических моделей [17, 21–24, 48].

Математическая модель конкуренции. Для описания динамики численности двух конкурирующих популяций Вольтера, Лотка и Гаузе [2, 4, 64] была предложена математическая модель

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{d\tau} &= x_1(c_1 - a_{11}x_1 - a_{12}x_2), \\ \frac{dx_2}{d\tau} &= x_2(c_2 - a_{21}x_1 - a_{22}x_2). \end{aligned} \tag{1}$$

В этих уравнениях x_1 и x_2 — численности двух конкурирующих видов, c_1 , c_2 , a_{12} , a_{21} , a_{11} и a_{22} — постоянные (положительные) коэффициенты, c_1 и c_2 — удельные скорости роста популяций при их малой численности, a_{12} и a_{21} — коэффициенты межвидовой конкуренции, a_{11} и a_{22} — коэффициенты внутривидовой конкуренции [2].

Система уравнений (1) заменой [2]

$$x_1 = \frac{c_1}{a_{11}}u_1 \text{ и } x_2 = \frac{c_2}{a_{22}}u_2 \quad \tau = t/c_1$$

приводятся к виду

$$\begin{aligned} \frac{du_1}{dt} &= u_1(1 - u_1 - \gamma_1 u_2), \\ \frac{du_2}{dt} &= \gamma u_2(1 - u_2 - \gamma_2 u_1), \end{aligned} \tag{2}$$

где $\gamma_1 = \frac{c_2}{c_1} \frac{a_{12}}{a_{22}}$, $\gamma_2 = \frac{c_1}{c_2} \frac{a_{21}}{a_{11}}$, $\gamma = \frac{c_2}{c_1}$.

Система уравнений (2) имеет четыре стационарные точки

1. $u_1 = 0, u_2 = 0$.
2. $u_1 = 1, u_2 = 0$.
3. $u_1 = 0, u_2 = 1$.
4. $u_1 = (1 - \gamma_1)/(1 - \gamma_1\gamma_2)$, $u_2 = (1 - \gamma_2)/(1 - \gamma_1\gamma_2)$, если $\gamma_1 > 1$ и $\gamma_2 > 1$ или $\gamma_1 < 1$ и $\gamma_2 < 1$.

Стационарные точки системы уравнений (2) считаются устойчивыми, если все собственные значения матрицы Якоби

$$J = \begin{pmatrix} 1 - 2u_1 - \gamma_1 u_2 & -\gamma_1 u_1 \\ -\gamma \gamma_2 u_2 & \gamma(1 - 2u_2 - \gamma_2 u_1) \end{pmatrix}$$

правой части уравнения (2) в этих точках имеют отрицательные вещественные части [7].

Первая стационарная точка неустойчива, поскольку оба собственных значения якобиана $\lambda_1 = 1$ и $\lambda_2 = \gamma$ положительны. То есть в рассматриваемой модели из двух малочисленных конкурирующих популяций хотя бы одна выживает.

Во второй стационарной точке собственными значениями матрицы Якоби $\lambda_1 = -1$ и $\lambda_2 = \gamma(1 - \gamma_2)$ будут отрицательными, если выполнится неравенство $\gamma_2 > 1$. В этом случае стационарная точка будет устойчивой, а при выполнении

неравенства $\gamma_2 = \frac{c_1 a_{21}}{a_{11} c_2} < 1$ — неустойчивой. То есть выживаемость первой популяции (условие $\gamma_2 > 1$) в условиях

конкуренции обеспечивается большей скоростью роста ее численности по сравнению со скоростью роста численности второй популяции ($c_2 \ll c_1$) и низкой внутривидовой конкуренцией по сравнению с межвидовой ($a_{11} \ll a_{21}$). Аналогичный результат следует и для третьей стационарной точки, в которой $\lambda_1 = 1 - \gamma_1$ и $\lambda_2 = -\gamma$. Эта точка устойчива,

если $\gamma_1 > 1$ и неустойчива, если $\gamma_1 = \frac{c_2 a_{12}}{c_1 a_{22}} < 1$.

В четвертой стационарной точке характеристическое уравнение

$$\lambda^2 + (u_1 + \gamma u_2)\lambda + (1 - \gamma_1 \gamma_2)\gamma u_1 u_2 = 0$$

имеет корни с отрицательными вещественными частями, если $\gamma_1 \gamma_2 = \frac{a_{12} a_{21}}{a_{11} a_{22}} < 1$, и корни противоположных знаков,

если $\gamma_1 \gamma_2 > 1$. То есть эта стационарная точка будет устойчивой, если внутривидовая конкуренция оказывает большее влияние на численность популяции, чем межвидовая ($a_{21} < a_{22}$, $a_{12} < a_{11}$). При этом в четвертой стационарной точке, если она устойчива, $\gamma_1 < 1$ и $\gamma_2 < 1$.

Таким образом, в системе конкурирующих видов побеждает тот, кто сильнее подавляет конкурента: $\gamma_2 > 1$ или $\gamma_1 > 1$. При выполнении одного из этих неравенств четвертая стационарная точка либо не имеет физического смысла, либо будет неустойчивой. Поэтому один из видов исчезает. Если внутривидовая конкуренция слабее межвидовой ($\gamma_2 < 1$ и $\gamma_1 < 1$), то совместное существование популяций будет устойчивым.

Модель конкуренции на линейном ареале. Примерами линейных ареалов служат трубопроводы, обочины дорог, лесные просеки [4, 11, 15, 35, 45, 64]. Математическая модель конкуренции двух видов (2) на отрезке представляется системой двух эволюционных уравнений [18, 19, 33, 49, 56, 64]

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_1}{\partial t} &= D_1 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} + u_1(1 - u_1 - \gamma_1 u_2), \\ \frac{\partial u_2}{\partial t} &= D_2 \frac{\partial^2 u_2}{\partial x^2} + \gamma u_2(1 - u_2 - \gamma_2 u_1). \end{aligned} \quad (3)$$

В этих уравнениях x — координата, t — время, $u_1 = u_1(t, x)$ и $u_2 = u_2(t, x)$ — линейные плотности популяций, D_1 и D_2 — параметры, характеризующие подвижности особей.

В качестве начальных условий задается значение функций $u_1 = u_1(t, x)$ и $u_2 = u_2(t, x)$ в начальный момент времени: при $t = 0$ $u_1(x) = u_{10}(x)$, $u_2(x) = u_{20}(x)$.

В качестве граничных условий для случая отрезка длиной l рассматриваются два варианта:

$$\left. \frac{\partial u_1}{\partial x} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial u_1}{\partial x} \right|_{x=l} = 0, \quad \left. \frac{\partial u_2}{\partial x} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial u_2}{\partial x} \right|_{x=l} = 0 \quad (4)$$

и

$$u_1|_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial u_1}{\partial x} \right|_{x=l} = 0, \quad u_2|_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial u_2}{\partial x} \right|_{x=l} = 0. \quad (5)$$

Условие обращения в ноль функций u_1 и u_2 на границе отрезка соответствует невозможности существования популяции в этой точке, а условие обращения в ноль производных $\partial u_1 / \partial x$ и $\partial u_2 / \partial x$ (условие наполнения среды [12, 56, 64]) допускает свободный рост численности популяций.

Общие численности популяций ($M_1(t)$) и ($M_2(t)$) на отрезке в момент времени t подсчитываются по формулам

$$M_1 = \int_0^l u_1(t, x) dx, \quad M_2 = \int_0^l u_2(t, x) dx.$$

Устойчивость тривиального решения. Системе уравнений (3) при граничных условиях (4) удовлетворяют функции, не зависящие от пространственной координаты. Потому устойчивость решений уравнений (3) при граничных условиях (4) будет совпадать и с устойчивостью решений уравнений (2). Поэтому ниже будет исследоваться устойчивость решений, удовлетворяющих только граничным условиям (5).

В стационарном случае системе уравнений (3) при граничных условиях (5) удовлетворяет тривиальное решение $u_1 = 0, u_2 = 0$. Возмущение этого равновесного состояния представляется в виде [9, 10, 56, 59] $u_1 = \delta u_1, u_2 = \delta u_2$, где δu_1 и δu_2 малые по сравнению с единицей величины: $0 \leq \delta u_1 \ll 1, 0 \leq \delta u_2 \ll 1$. Тогда уравнения (3) с точностью до величин второго порядка малости [27, 56, 58] приводятся к виду

$$\frac{\partial \delta u_1}{\partial t} = D_1 \frac{\partial^2 \delta u_1}{\partial x_2^2} + \delta u_1,$$

$$\frac{\partial \delta u_2}{\partial t} = D_2 \frac{\partial^2 \delta u_2}{\partial x_2^2} + \gamma \delta u_2.$$

Решение этих уравнений, удовлетворяющее граничным условиям (5), представляется в виде тригонометрических рядов

$$\delta u_1 = \sum_{k=1}^{\infty} A_k(t) \sin\left(k\pi - \frac{\pi}{2}\right) \frac{x}{l}, \quad \delta u_2 = \sum_{k=1}^{\infty} B_k(t) \sin\left(k\pi - \frac{\pi}{2}\right) \frac{x}{l}.$$

При этом коэффициенты разложения должны удовлетворять уравнениям

$$\frac{dA_k}{dt} = \left(1 - D_1 \left(\left(k - \frac{1}{2}\right) \frac{\pi}{l}\right)^2\right) A_k, \quad \frac{dB_k}{dt} = \left(\gamma - D_2 \left(\left(k - \frac{1}{2}\right) \frac{\pi}{l}\right)^2\right) B_k \quad (k = 1, 2, \dots).$$

Отсюда следует, что при выполнении неравенства $\left(\frac{2l}{\pi}\right)^2 < D_1$ все коэффициенты A_k будут убывающими функциями времени и, соответственно, решение $u_1 = 0$ будет устойчивым. А при выполнении неравенства $\gamma \left(\frac{2l}{\pi}\right)^2 < D_2$ будет устойчивым решение $u_2 = 0$. Последнее означает, что при высокой подвижности особей малочисленные популяции в рассматриваемой модели погибают. Аналогичный результат получен в [12] для одиночной популяции.

Численное решение. Построить аналитическое решение нелинейных уравнений (3) не представляется возможным. Поэтому используются различные методы аппроксимаций уравнений (3) или их решений. Наибольшее распространение получили конечно-разностная аппроксимация уравнений и вариационные методы, основанные на представлении решения в виде линейной комбинации аналитических функций [46, 50, 58]. Численное решение уравнений (3), удовлетворяющее граничным условиям (5) на отрезке ищется в виде суммы тригонометрических функций [56, 58]

$$u_1 = \sum_{k=1}^n A_k(t) \sin\left(k\pi - \frac{\pi}{2}\right) \frac{x}{l}, \quad u_2 = \sum_{k=1}^n B_k(t) \sin\left(k\pi - \frac{\pi}{2}\right) \frac{x}{l}. \quad (6)$$

Система функций $\sin(k\pi - \pi/2)x/l$ ($k = 1, 2, \dots$) удовлетворяет граничным условиям (5), является полной и ортогональной [58] на отрезке $[0, l]$. После подстановки выражений (6) в уравнения (3), умножения последних на $\sin(k\pi - \pi/2)x/l$ ($k = 1, 2, \dots$) и последующего интегрирования по промежутку $[0, l]$ будет получена система обыкновенных дифференциальных уравнений для коэффициентов A_k и B_k ($k = 1, 2, \dots$)

$$\frac{dA_k}{dt} = -D_1 \left(\frac{k\pi - \pi/2}{l}\right)^2 A_k + \frac{2}{l} \int_0^l u_1(1 - u_1 - \gamma u_2) \sin(k\pi - \pi/2)x/l dx,$$

$$\frac{dB_k}{dt} = -D_2 \left(\frac{k\pi - \pi/2}{l}\right)^2 B_k + \frac{2}{l} \int_0^l \gamma u_2(1 - u_2 - \gamma u_1) \sin(k\pi - \pi/2)x/l dx. \quad (7)$$

Начальные условия для функций $A_k(t)$ и $B_k(t)$ ($k = 1, 2, \dots, n$) определяются из соотношений

$$A_k(0) = \frac{2}{l} \int_0^l u_{10}(x) \sin(k\pi - \pi/2)x / l dx ,$$

$$B_k(0) = A_k(0) = \frac{2}{l} \int_0^l u_{20}(x) \sin(k\pi - \pi/2)x / l dx .$$

Для одного члена разложения ($n = 1$) в (6) для случая отрезка единичной длины ($l = 1$) коэффициенты $A_1(t)$ и $B_1(t)$ удовлетворяют уравнениям

$$\begin{aligned} \frac{dA_1}{dt} &= -\frac{\pi^2}{4} D_1 A_1 + A_1 - \frac{8}{3\pi} A_1 (A_1 + \gamma_1 B_1), \\ \frac{dB_1}{dt} &= -\frac{\pi^2}{4} D_2 B_1 + \gamma B_1 - \frac{8}{3\pi} \gamma B_1 (\gamma_2 A_1 + B_1). \end{aligned} \quad (8)$$

Матрица Якоби правой части этих уравнений

$$J = \begin{pmatrix} 1 - \frac{\pi^2}{4} D_1 - \frac{8}{3\pi} (2A_1 + \gamma_1 B_1) & -\frac{8}{3\pi} \gamma_1 A_1 \\ -\frac{8}{3\pi} \gamma \gamma_2 B_1 & \gamma - \frac{\pi^2}{4} D_2 - \frac{8}{3\pi} \gamma (\gamma_2 A_1 + 2B_1) \end{pmatrix}.$$

Система уравнений (8) имеет четыре стационарные точки.

$$1. A_1 = 0, B_1 = 0.$$

В этой стационарной точке собственные значения

$$\lambda_1 = 1 - \frac{\pi^2}{4} D_1 \text{ и } \lambda_2 = \gamma - \frac{\pi^2}{4} D_2$$

матрицы Якоби будут отрицательными, если выполняются неравенства $4/\pi^2 < D_1$ и $4\gamma/\pi^2 < D_2$. В этом случае тривиальная стационарная точка будет устойчивой. То есть при высокой подвижности особей обе популяции могут погибнуть.

2. Во второй стационарной точке

$$A_1 = 0, B_1 = \frac{3\pi}{8} \left(1 - \frac{\pi^2}{4\gamma} D_2 \right).$$

Эта стационарная точка будет устойчивой, если собственные значения матрицы Якоби

$$\lambda_1 = 1 - \frac{\pi^2}{4} D_1 - \gamma_1 \left(1 - \frac{\pi^2}{4\gamma} D_2 \right), \lambda_2 = - \left(\gamma - \frac{\pi^2}{4} D_2 \right)$$

будут отрицательными.

3. В третьей стационарной точке

$$A_1 = \frac{3\pi}{8} \left(1 - \frac{\pi^2}{4} D_1 \right), B_1 = 0$$

Эта стационарная точка будет устойчивой, если собственные значения матрицы Якоби

$$\lambda_1 = - \left(1 - \frac{\pi^2}{4} D_1 \right), \lambda_2 = \gamma - \frac{\pi^2}{4} D_2 - \gamma \gamma_2 \left(1 - \frac{\pi^2}{4} D_1 \right)$$

будут отрицательными.

4. В четвертой стационарной точке

$$A_1 = \frac{1}{1-\gamma_1\gamma_2} \frac{3\pi}{8} \left(1-\gamma_1 - \frac{\pi^2}{4} D_1 + \frac{\pi^2}{4\gamma} D_2 \right),$$

$$B_1 = \frac{1}{1-\gamma_1\gamma_2} \frac{3\pi}{8} \left(1-\gamma_2 - \frac{\pi^2}{4\gamma} D_2 + \frac{\pi^2}{4} D_1 \right). \tag{9}$$

При выполнении неравенства $\gamma_1\gamma_2 < 1$ при положительных значениях A_1 и B_1 вторая и третья стационарные точки будут неустойчивыми.

Собственные значения матрицы Якоби в рассматриваемой стационарной точке являются корнями квадратного уравнения

$$\lambda^2 + \frac{8}{3\pi} (A_1 + \gamma B_1) \lambda + \left(\frac{8}{3\pi} \right)^2 \gamma (1-\gamma_1\gamma_2) A_1 B_1 = 0.$$

Корни этого уравнения при выполнении неравенств $\gamma_1 < 1$ и $\gamma_2 < 1$ будут иметь отрицательные вещественные части. То есть эта стационарная точка будет устойчивой, если $A_1 > 0$ и $B_1 > 0$. При этом вторая и третья стационарные точки будут неустойчивыми.

Общая численность популяции на отрезке подсчитывается по формулам $M_1 = 2A_1 / \pi$ и $M_2 = 2B_1 / \pi$. И как следует из (9) увеличение подвижности одной популяции (параметров D_1 или D_2) приводит к уменьшению ее общей численности на отрезке и увеличению общей численности конкурирующей популяции.

Таким образом, условия существования четвертой стационарной точки при условии, что $\gamma_1 < 1$ и $\gamma_2 < 1$, определяются системой неравенств

$$\frac{\pi^2}{4} D_1 < 1, \frac{\pi^2}{4\gamma} D_2 < 1, 0 < \frac{4}{\pi^2} (1-\gamma_1) - D_1 + \frac{1}{\gamma} D_2, 0 < \frac{4}{\pi^2} (1-\gamma_2) - \frac{1}{\gamma} D_2 + D_1.$$

В системе координат (D_1, D_2) эти неравенства определяют область значений параметров D_1 и D_2 , в которой четвертая стационарная точка реализуется и является устойчивой (рис. 1, $b_1 = 4(1-\gamma_2)/\pi^2$, $b_2 = 4(1-\gamma_1)/\pi^2$)

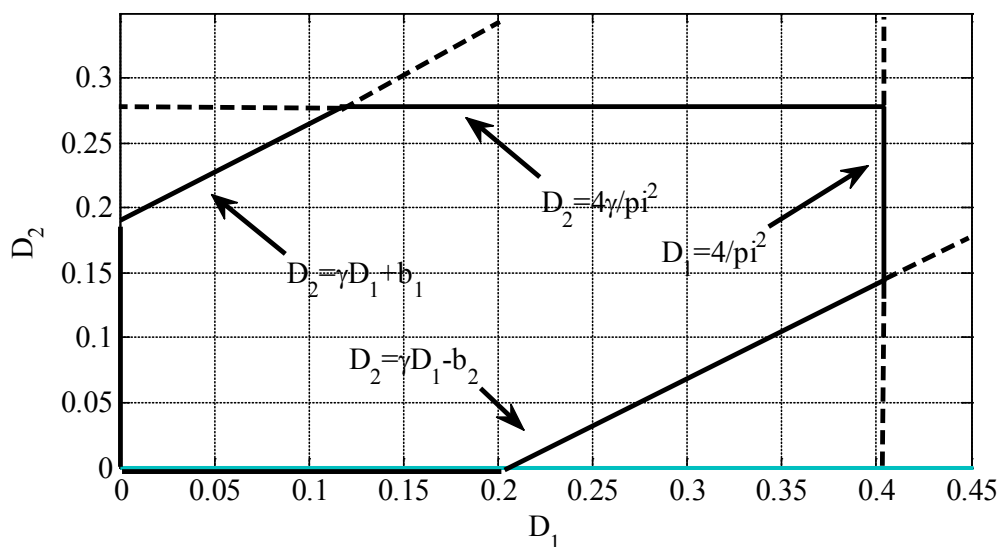


Рис. 1. Границы области устойчивости нетривиального стационарного решения (9) в системе координат (D_1, D_2)

Анализ поведения решения при большом числе слагаемых в представлениях (6) не представляется возможным без использования численных методов. Решение задачи Коши для системы уравнений (7) осуществлялось с применением численных методов типа Рунге-Кутты [46]. Некоторые из результатов численных экспериментов приведены на рис. 2–4 ($\gamma_1 = 0.6, \gamma_2 = 0.3, \gamma = 0.7$).

На рис. 2 показано изменение коэффициентов A_k ($k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) как «функции» k в установившемся режиме ($t = \infty$) для случая $D_1 = 0.01, D_2 = 0.01$, а на рис. 3 — B_k . Как следует из рис. 2 и рис. 3 при решении нелинейных уравнений с высокой степенью точности можно ограничиться 2–3 членами в представлениях (6).

На рис. 4 отражено изменение функций $M_1(t)$ и $M_2(t)$ (общей численности популяций на отрезке) в зависимости от значений параметров D_1 и D_2 . Пара кривых $M_1, D_1 = 0$ (первая популяция) и $M_2, D_2 = 0$ (вторая популяция) соответствуют решению системы уравнений (2), а пара кривых $M_1, D_1 = 0.01$ и $M_2, D_2 = 0.10$ — системе уравнений (7). Как следует из этого рисунка высокая подвижность особей приводит к уменьшению общей численности популяции.

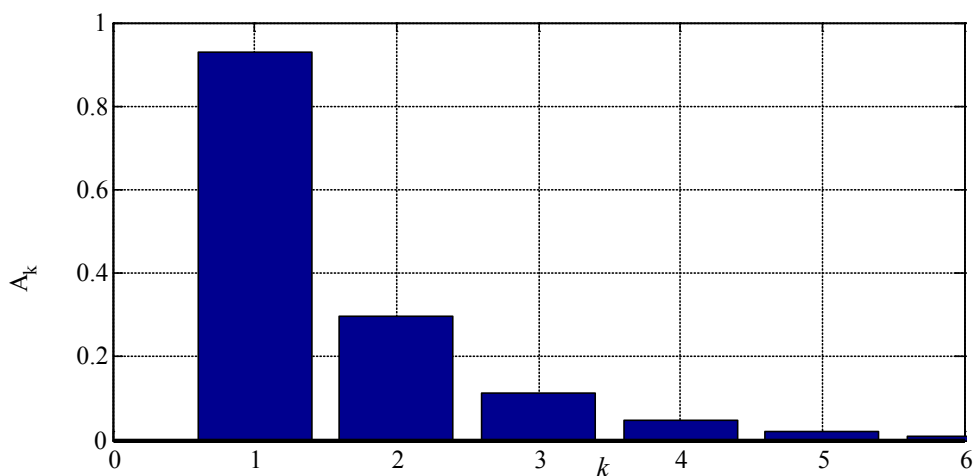


Рис. 2. Значения коэффициентов A_k ($k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) в (6) при $t = \infty$

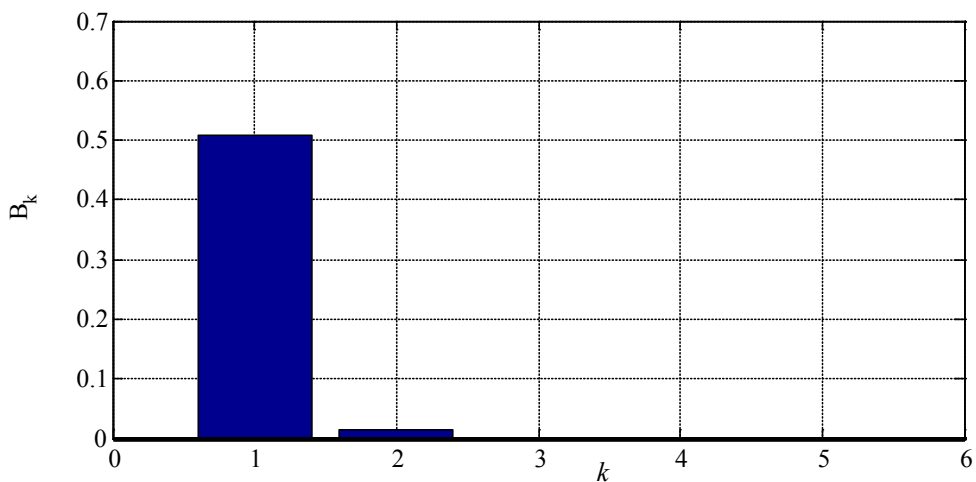


Рис. 3. Значения коэффициентов B_k ($k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) в (6) при $t = \infty$

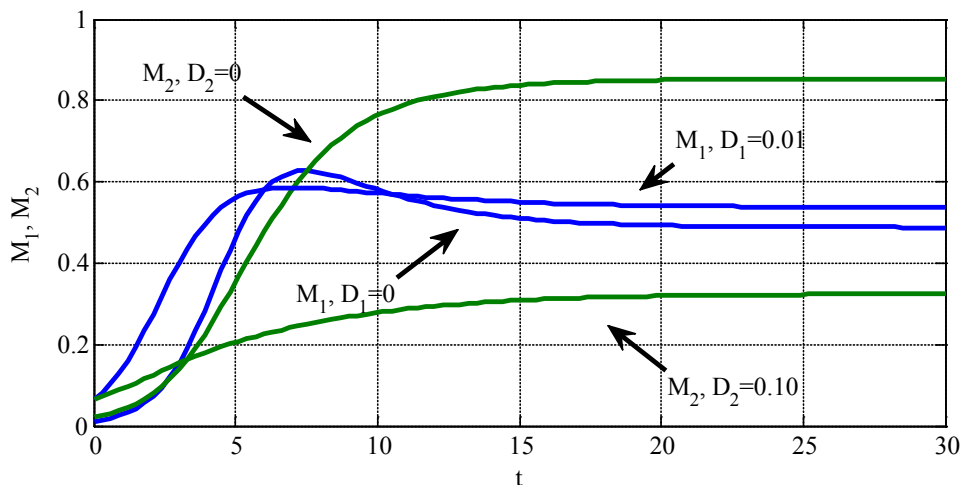


Рис. 4. Изменение функций $M_1(t)$ и $M_2(t)$ (общей численности популяций на отрезке) в зависимости от значений параметров D_1 и D_2

Заключение. Учет неоднородности среды обитания в математических моделях двух конкурирующих популяций приводит к результатам, не содержащихся в точечных моделях. С ростом подвижности особей уменьшается общая численность популяции. При этом численность конкурирующей популяции увеличивается. Существует критическая подвижность особей, превышение которой приводит к гибели популяции.

Литература:

1. Апонин, Ю. М., Апонина Е. А. Принцип инвариантности Ла-Салля и математические модели эволюции микробных популяций // Компьютерные исследования и моделирование. — 2011. — Т. 3. — №2. — с. 177–190.
2. Базыкин, А. Д. Нелинейная динамика взаимодействующих популяций. Москва-Ижевск: Институт компьютерных технологий. — 2003. 368 с.
3. Балькина, Ю. Е., Колпак Е. П. Математические модели функционирования фолликула щитовидной железы // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2013. — №3. — с. 20–31.
4. Бигон, М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества: в двух томах. М.: Мир, 1989. Т. 1. 667 с. Т. 2. 477 с.
5. Будянский, А. В., Цибулин В. Г. Моделирование пространственно-временной миграции близкородственных популяций // Компьютерные исследования и моделирование. — 2011. — Т. 3. — №4. — с. 477–488.
6. Викторов, А. А., Холоднов В. А., Гладких В. Д., Алехнович А. В. Математическая модель влияния окружающей среды на старение живых систем // Успехи геронтологии. — 2013. — Т. 26. — №1. — с. 52–57.
7. Виташевская, И. С., Олемской И. В., Хитров Г. М. О некоторых инвариантах квадратных (од) — матриц // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2007. — №1. — с. 38–45.
8. Вольтерра, В. Математическая теория борьбы за существование. Москва-Ижевск., Институт компьютерных технологий. — 2004. — 288 с.
9. Гасратова, Н. А. Напряженно-деформированное состояние упругого пространства со сферическим жестким включением // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2009. — №1. — с. 14–18.
10. Гасратова, Н. А., Шамина В. А. Решение в напряжениях линейной осесимметричной задачи для сферы и упругого пространства со сферической полостью // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. — 2008. — №2. — с. 122–128.
11. Гилев, А. В. Закономерности пространственного распределения и научные основы охраны рыжих лесных муравьев // Зоологический журнал. — 2010. — Т. 89. — №12. — с. 1413–1420.
12. Горбунова, Е. А., Колпак Е. П. Математические модели одиночной популяции // Вест. С.-Петерб. ун-та. Сер. 10. — 2012. — Вып. 4. — с. 18–30.

13. Григорьева, К. В., Иванов А. С., Малафеев О. А Статическая коалиционная модель инвестирования инновационных проектов // Экономическое возрождение России. — 2011. — №4. — с. 90–98.
14. Григорьева, К. В., Малафеев О. А. Динамический процесс кооперативного взаимодействия в многокритериальной (многоагентной) задаче почтальона // Вестник гражданских инженеров. — 2011 — №1. — с. 150–156.
15. Громов, В. С. Пространственно-этологическая структура популяций грызунов. М.: Т-во научн. изданий КМК. 2008. 581 с.
16. Даль, Ю. М., Пронина Ю. Г. Деформация шаровой поры в нелинейно-упругом теле // Известия Российской академии наук. Серия физическая. — 2006. — Т. 70. — №9. — с. 1341–1343.
17. Жабко, Н. А. Параметрическая идентификация динамических моделей морских судов // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2012. — Т. 8. — №1. — с. 80–84.
18. Жукова, И. В., Колпак Е. П. Математическая модель солидной опухоли // Естественные и математические науки в современном мире. — 2013. — №13. — с. 18–25.
19. Жукова, И. В., Колпак Е. П. Математические модели злокачественной опухоли // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2014. — №3. — с. 5–18.
20. Кабриц, С. А. Мальков В. М., Мансурова С. Е. Математическое моделирование нелинейной деформации эластомерного слоя // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2011. — №3. — с. 56–63.
21. Карелин, В. В. Один подход к задаче оценки параметров динамической системы в условиях неопределенности // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2012. — №4. — с. 31–36.
22. Карелин, В. В. Точные штрафы в задаче наблюдения // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2008. — №4. — с. 3–8.
23. Карелин, В. В. Точные штрафы в задаче оценки координат динамической системы в условиях неопределенности // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2011. — №4. — с. 40–46.
24. Карелин, В. В. Штрафные функции в задаче управления процессом наблюдения // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2010. — №4. — с. 109–114.
25. Колобов, А. Н. Численно-аналитическое исследование модели роста дерева в условиях конкуренции за свет // Математическая биология и биоинформатика. — 2012. — Т. 7. — №1. — с. 125–138
26. Колокольцов, В. Н., Малафеев О. А. Динамические конкурентные системы многоагентного взаимодействия и их асимптотическое поведение (часть I) // Вестник гражданских инженеров. — 2010 — №4 — с. 144–153.
27. Колпак, Е. П. Устойчивость и закритические состояния безмоментных оболочек при больших деформациях // диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук/Санкт-Петербург, 2000.
28. Колпак, Е. П. Введение в механику сплошных сред учебное пособие/Е. П. Колпак; С.-Петерб. гос. ун-т. СПб. 2004.
29. Колпак, Е. П., Балыкина Ю. Е., Котина Е. Д., Жукова И. В. Математическая модель нарушений функционирования щитовидной железы // Молодой Ученый. — 2014. — №2 (61). — с. 19–24.
30. Колпак, Е. П., Горбунова Е. А., Балыкина Ю. Е., Гасратова Н. А. Математическая модель одиночной популяции на биолокальном ареале // Молодой ученый. — 2014. — №1 (6). — с. 28–33.
31. Колпак, Е. П., Горбунова Е. А., Жукова И. В. Математическая модель популяционной волны // Естественные и математические науки в современном мире. — 2014. — №16. — с. 25–41.
32. Колпак, Е. П., Горбунова Е. А., Столбовая М. В., Балыкина Ю. Е. Математическая модель логистической популяции на линейном ареале // Молодой ученый. — 2014. — №3 (62). — с. 6–14.
33. Колпак, Е. П., Жукова И. В., Степанова Д. С., Крицкая А. В. О численных методах решения эволюционных уравнений на примере математической модели «хищник-жертва» // Молодой ученый. — 2014. — №4. — с. 20–30.
34. Колпак, Е. П., Столбовая М. В. Математическая модель кинетики роста растений // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. — 2013. — №12 (90). — с. 230–232.
35. Коробченко, М. А. Расширение ареала крота европейского (*talpa europaea*) в долине реки Северный Донец // Зоологический журнал. — 2009. — Т. 88. — №4. — с. 465–472.
36. Лежнина, Е. А. Свойство подтверждения и аксиоматизация наименьшего ядра // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2010. — №1. — с. 50–64.

37. Лугин, В.Г. Математическое моделирование распространения новшеств с использованием стохастической фрактальной клеточной модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2014. — №4. — с. 109–114.
38. Малафеев, О.А., Пахар О.В. Динамическая нестационарная задача инвестирования проектов в условиях конкуренции // Проблемы механики и управления: Нелинейные динамические системы. — 2009. — №41. — с. 103–108.
39. Малафеев, О.А., Соснина В.В. Модель управления процессом кооперативного трехагентного взаимодействия // Проблемы механики и управления: Нелинейные динамические системы. — 2007. — №39. — с. 131–144.
40. Малков, С.Ю., Кирилюк И.Л. Моделирование динамики конкурирующих сообществ: варианты взаимодействия // Информационные войны. — 2013. — №2 (26). — с. 49–56.
41. Мальков, В.М., Малькова Ю.В. Исследование нелинейной задачи Фламана // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. — 2006. — №5. — с. 68–78.
42. Мальков, В.М., Малькова Ю.В. Нелинейная задача Фламана для несжимаемого материала // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. — 2004. — №4. — с. 73–82.
43. Мальков, В.М., Малькова Ю.В., Иванов В.А. Бесконечная плоскость с круговым включением, имеющим отслоение на части границы // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2009. — №4. — с. 152–165.
44. Мальков, В.М., Малькова Ю.В. Плоская задача нелинейной упругости для гармонического материала // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. — 2008. — №3. — с. 114–126.
45. Мамонтов, С.Н. Распределение по стволу дерева кородея-типографа (*ips typographus, coleoptera, scolynidae*) и его энтомогафов // Зоологический журнал. — 2009. — Т. 88. — №9. — с. 1139–1145.
46. Матросов, А.В. Сходимость степенных рядов в методе начальных функций // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2012. — №1. — с. 41–51.
47. Миндлин, Ю.Б., Колпак Е.П., Балыкина Ю.Е. Проблемы использования кластеров в Российской Федерации // Вестник НГУЭУ. — 2014. — №1. — с. 22–32.
48. Мышков, С.К., Полякова Л.Н., Тарасова В.В. О применимости численных методов негладкого анализа к решению линейной квадратичной задачи оптимального управления с неполной информацией [6] // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2005. — №3–4. — с. 130–137.
49. Мятлев, В.Д., Панченко Л.А., Ризниченко Г.Ю., Терехин А.Т. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели. М.: Издательский центр «Акадкмия», 2009. 320 с.
50. Олемской, И.В. Модификация алгоритма выделения структурных особенностей // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2006. — №2. — с. 55–64.
51. Орлова, Е.В., Ульмасова И.С. Методы ценообразования и их использование на высоко конкурентном рынке // Молодой ученый. — 2014. — №3 (62). — с. 495–497.
52. Поспелов, И.Г., Радионов С.А. Динамика количества фирм в рамках концепции экономики разнообразия // Математическое моделирование. — 2014. — Т. 26. — №2. — с. 65–80.
53. Пронина, Ю.Г. Периодическая задача о точечных воздействиях в упругой полуплоскости с отверстиями // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2009. — №3. — с. 118–128.
54. Пронина, Ю.Г. Сосредоточенные силы и моменты в упругой полуплоскости с отверстием // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2009. — №2. — с. 104–114.
55. Пронина, Ю.Г. Центры расширения-сжатия в упругой полуплоскости // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. — 2007. — №2. — с. 140–149.
56. Ризниченко, Г.Ю., Рубин А.Б. Биофизическая динамика продукционных процессов. Москва — Ижевск: Институт компьютерных технологий, 2004. — 464 с.
57. Садыков, О.Ф., Бененсон И.Е. Динамика численности мелких млекопитающих: Концепции, гипотезы, модели. М.: Наука, 1992. 191 с.
58. Тихонов, А.Н., Самарский А.А. Уравнение математической физики. М.: Наука, 1972. 735 с.
59. Черных, К.Ф., Кабриц С.А., Колпак Е.П., Слепнева Л.В. Точные решения краевых задач нелинейной теории упругости // отчет о НИР №96–01–00739 (Российский фонд фундаментальных исследований).

60. Шестакова, Т.П. Исследование одной математической модели конкуренции трех популяций // Инновации в науке. — 2012. — №7. — с. 6–11.
61. Braselton, J., Waltman P. A competition model with dynamically allocated inhibitor production // Mathematical Biosciences. — 2001. V. 173. — N 2. — P. 55–84.
62. Křivan, V. Competition in di- and tri-trophic food web modules // Journal of Theoretical Biology. — 2014. — V. 343. — P. 127–137.
63. Mirrahimi, S., Perthame B., Yuichiro Wakano J. Direct competition results from strong competition for limited resource // Journal of Mathematical Biology. — 2014. — V. 68. — 931–949.
64. Murray, D. D. Mathematical biology. N.Y. Springer. 2002. — 551 p.
65. Pronina, Y. G. Estimation of the life of an elastic tube under the action of a longitudinal force and pressure under uniform surface corrosion conditions // Russian metallurgy (Metally). — 2010. — T. 2010. — №4. — с. 361–364
66. Sanling Yuan, Dongmei Xiao, Maoan Han Competition between plasmid-bearing and plasmid-free organisms in a chemostat with nutrient recycling and an inhibitor // Mathematical Biosciences. — 2006. — V. 202. — N 1. — P. 1–28.
67. Sze-Bi Hsu, Xiao-Qiang Zhao A Lotka — Volterra competition model with seasonal succession // Journal of Mathematical Biology. — 2012. — DOI 10.1007/s00285–011–0408–6.

О представлении функции многочленом, имеющим заданные значения производных на концах отрезка

Шустов Виктор Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем (г. Москва)

Рассмотрена задача построения многочлена, приближающего заданную функцию с известными значениями ее самой и определенного набора ее производных на концах заданного отрезка. Получены явные формулы представления аппроксимирующего многочлена в различных формах. Приведены пример представления функции $y = \cos x$ последовательностью двухточечных многочленов Эрмита, построенных для заданного отрезка. Проведено сравнение погрешностей приближения функции с использованием двухточечного представления и ее разложения в ряд Тейлора.

Ключевые слова: интерполяция Эрмита, многочлен Тейлора, формулы двухточечного представления, погрешность приближения функции на отрезке.

Введение. Функция, имеющая достаточное количество производных на некотором промежутке, с определенной степенью точности может быть приближена степенным многочленом. Так, если заданы значения производных в какой либо точке x_0 этого промежутка, то функция $f(x)$ может быть представлена [1, с. 549] в виде многочлена Тейлора с коэффициентами при степенях переменной, зависящими от значений производных в этой точке.

Однако точность приближения функции, многочленом Тейлора является, как правило, удовлетворительной лишь в окрестности точки разложения. Так, например, для функции $y = \cos x$, как видно их графиков, представленных на рис. 1, погрешность аппроксимации неравномерна на отрезке разложения: если в окрестности точки разложения многочлен Тейлора хорошо приближает функцию, то при достаточном удалении от точки наблюдается существенное расхождение между многочленом и функцией. Наличие существенной неравномерности аппроксимации функции $f(x)$ многочленом Тейлора отмечено также в работе [6, с. 30].

Одним из способов уменьшения погрешности и, соответственно, улучшения аппроксимации функции многочленом, является использование данных о значениях функции и ее производных не только в одной точке x_0 , но и в другой точке отрезка $[x_0, x_1]$.

Многочлен, построенный по значениям функции и ее производных, заданных только в двух крайних точках отрезка, назовем двухточечным многочленом, а представление функции двухточечным многочленом можно назвать двухточечным представлением.

В работе рассматриваются вопросы представления многочлена, приближающего функцию, о которой известны ее значения и значения ее производных в концах заданного отрезка $[x_0, x_1]$. Кроме этого, исследуются вопросы, связанные с приближением функции последовательностью двухточечных многочленов.

Представление двухточечного многочлена в явном виде. Пусть в обеих концевых точках отрезка $[x_0, x_1]$ заданы значения функции $f(x)$ и ее производных до порядка m_i включительно:

$$f^{(j)}(x_i) = f_i^{(j)}, \quad j = 0, 1, \dots, m_i, \quad i = 0, 1 \tag{1.1}$$

Необходимо построить многочлен, который удовлетворял бы условиям (1.1).

При построении этого многочлена воспользуемся решением задачи, называемой задачей Эрмита, для общего случая, в котором предполагается, что значения функции и ее производных известны в $n + 1$ точке отрезка $[x_0, x_n]$.

Формула для представления многочлена $H(x)$, удовлетворяющего условиям (1.1), согласно, например, [2, с. 172] в случае $n = 1$, т. е. для отрезка $[x_0, x_1]$, в наших обозначениях имеет вид:

$$H(x) = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^{m_i} \sum_{k=0}^{m_i-j} f_i^{(j)} \frac{1}{k!} \frac{1}{j!} \left[\frac{(x-x_i)^{m_i+1}}{\Omega(x)} \right]_{x=x_i}^{(k)} \frac{\Omega(x)}{(x-x_i)^{m_i+1-j-k}}, \tag{1.2}$$

где $\Omega(x)$ определяется выражением:

$$\Omega(x) = (x-x_0)^{m_0+1} (x-x_1)^{m_1+1}. \tag{1.3}$$

Формула (1.2) для случая двухточечного представления может быть существенно упрощена и представлена в удобном для дальнейшего использования виде.

После подъема членов формулы с отрицательными степенями в числитель дроби и выноса членов, не зависящих от индекса суммирования по k во внешние циклы, формула для многочлена $H(x)$ примет вид:

$$H(x) = \sum_{i=0}^1 \frac{\Omega(x)}{(x-x_i)^{m_i+1}} \sum_{j=0}^{m_i} \frac{f_i^{(j)}}{j!} (x-x_i)^j \sum_{k=0}^{m_i-j} \frac{1}{k!} \left[\frac{(x-x_i)^{m_i+1}}{\Omega(x)} \right]_{x=x_i}^{(k)} (x-x_i)^k.$$

Введя обозначение

$$\omega_i(x) = \frac{\Omega(x)}{(x-x_i)^{m_i+1}}, \tag{1.4}$$

формулу для $H(x)$ можно записать в виде:

$$H(x) = \sum_{i=0}^1 \omega_i(x) \sum_{j=0}^{m_i} \frac{f_i^{(j)}}{j!} (x-x_i)^j \sum_{k=0}^{m_i-j} \frac{1}{k!} \left[\frac{1}{\omega_i(x)} \right]_{x=x_i}^{(k)} (x-x_i)^k. \tag{1.5}$$

Выражение для $\omega_i(x)$ в соответствии с (1.3) и (1.4) можно записать как:

$$\omega_i(x) = (x-x_{1-i})^{m_{1-i}+1}. \tag{1.6}$$

Последовательным дифференцированием и подстановкой при $x=x_i$ находим, что

$$\left[\frac{1}{\omega_i(x)} \right]_{x=x_i}^{(k)} = (-1)^k \frac{(m_{1-i} + k)!}{(m_{1-i})!} \frac{1}{(x_i - x_{1-i})^{m_{1-i}+1+k}}. \tag{1.7}$$

С учетом (1.7) формула (1.5) для $H(x)$ получает вид:

$$H(x) = \sum_{i=0}^1 \omega_i(x) \sum_{j=0}^{m_i} \frac{f_i^{(j)}}{j!} (x-x_i)^j \sum_{k=0}^{m_i-j} \frac{1}{k!} (-1)^k \frac{(m_{1-i} + k)!}{(m_{1-i})!} \frac{1}{(x_i - x_{1-i})^{m_{1-i}+1+k}} (x-x_i)^k. \tag{1.8}$$

Выполнив дальнейшие несложные преобразования и учтя (1.6), получим, что:

$$H(x) = \sum_{i=0}^1 \left(\frac{x-x_{1-i}}{x_i-x_{1-i}} \right)^{m_{1-i}+1} \sum_{j=0}^{m_i} \frac{f_i^{(j)}}{j!} (x-x_i)^j \sum_{k=0}^{m_i-j} \frac{1}{k!} \frac{(m_{1-i} + k)!}{(m_{1-i})!} \left(\frac{x-x_i}{x_{1-i}-x_i} \right)^k. \tag{1.9}$$

Обозначая дробное выражение под знаком внутренней суммы как a_m^k :

$$a_m^k = \frac{(m+k)!}{k!m!}, \tag{1.10}$$

введя относительную переменную ξ , связанную с исходной переменной x соотношением

$$\xi = \frac{x - x_0}{x_1 - x_0}, \tag{1.11}$$

и записывая формулу (1.9) для многочлена $H(x)$ без использования переменной суммирования i путем явной записи значений этой переменной, получим:

$$H(x) = (1 - \xi)^{m_1+1} \sum_{j=0}^{m_0} \frac{f_0^{(j)}}{j!} (x - x_0)^j \sum_{k=0}^{m_0-j} a_{m_1}^k \xi^k + \xi^{m_0+1} \sum_{j=0}^{m_1} \frac{f_1^{(j)}}{j!} (x - x_1)^j \sum_{k=0}^{m_1-j} a_{m_0}^k (1 - \xi)^k. \tag{1.12}$$

Заметим, что введенный коэффициент a_m^k выражается через биномиальный коэффициент c_m^k , определяемый соотношением

$$c_m^k = \frac{m!}{k!(m-k)!}, \tag{1.13}$$

в виде:

$$a_m^k = c_{m+k}^k. \tag{1.14}$$

Ниже представлена часть таблицы коэффициентов a_m^k , полученная из соотношений (1.13) и (1.14).

Таблица 1. Коэффициенты a_m^k двухточечного представления

k m	0	1	2	3	4
0	1	1	1	1	1
1	1	2	3	4	5
2	1	3	6	10	15
3	1	4	10	20	35
4	1	5	15	35	70

В случае, когда в крайних точках отрезка $[x_0, x_1]$ порядок наивысшей производной один и тот же, т. е. при выполнении условия

$$m_0 = m_1 = m \tag{1.15}$$

и при обозначении в этом случае многочлена $H(x)$ как $H_m(x)$, формула (1.12) для многочлена $H_m(x)$ примет вид:

$$H_m(x) = (1 - \xi)^{m+1} \sum_{j=0}^m \frac{f_0^{(j)}}{j!} (x - x_0)^j \sum_{k=0}^{m-j} a_m^k \xi^k + \xi^{m+1} \sum_{j=0}^m \frac{f_1^{(j)}}{j!} (x - x_1)^j \sum_{k=0}^{m-j} a_m^k (1 - \xi)^k. \tag{1.16}$$

Если ввести длину L отрезка $[x_0, x_1]$, определенную соотношением

$$L = x_1 - x_0,$$

то формулу (1.16) для многочлена $H_m(x)$ можно записать как:

$$H_m(x) = \left(\frac{x_1 - x}{L}\right)^{m+1} \sum_{j=0}^m \frac{f_0^{(j)}}{j!} (x - x_0)^j \sum_{k=0}^{m-j} c_{m+k}^k \left(\frac{x - x_0}{L}\right)^k + \left(\frac{x - x_0}{L}\right)^{m+1} \sum_{j=0}^m \frac{f_1^{(j)}}{j!} (x - x_1)^j \sum_{k=0}^{m-j} c_{m+k}^k \left(\frac{x_1 - x}{L}\right)^k. \tag{1.17}$$

В данной формуле в отличие от предыдущей формулы (1.16) используется биномиальный коэффициент c_m^k , связанный с коэффициентом a_m^k соотношением (1.14).

В частном случае, когда $x_0 = 0$, т. е. для отрезка $[0, L]$, представление двухточечного многочлена принимает вид:

$$H_m(x) = \left(\frac{L - x}{L}\right)^{m+1} \sum_{j=0}^m \frac{f_0^{(j)}}{j!} x^j \sum_{k=0}^{m-j} c_{m+k}^k \left(\frac{x}{L}\right)^k + \left(\frac{x}{L}\right)^{m+1} \sum_{j=0}^m \frac{f_1^{(j)}}{j!} (x - L)^j \sum_{k=0}^{m-j} c_{m+k}^k \left(\frac{L - x}{L}\right)^k. \tag{1.18}$$

Пример использования двухточечного многочлена. В качестве примера использования двухточечного многочлена для аппроксимации функций найдем представление функции $y = \cos x$ на отрезке $[0, L]$ с использованием этого многочлена.

Известно, что j -я производная функции $y = \cos x$ согласно, например, [1, с. 179] представляется формулой:

$$(\cos x)^{(j)} = \cos \left(x + \frac{\pi}{2} j \right).$$

В соответствии с этим формулу (1.18) для приближающего ее многочлена $H_m(x)$ можно записать в виде:

$$H_m(x) = \left(\frac{L-x}{L} \right)^{m+1} \sum_{j=0}^m \frac{\cos(\frac{\pi}{2} j)}{j!} x^j \sum_{k=0}^{m-j} c_{m+k}^k \left(\frac{x}{L} \right)^k + \left(\frac{x}{L} \right)^{m+1} \sum_{j=0}^m \frac{\cos(L + \frac{\pi}{2} j)}{j!} (x-L)^j \sum_{k=0}^{m-j} c_{m+k}^k \left(\frac{L-x}{L} \right)^k. \tag{1.19}$$

Выбирая различные значения длины отрезка разложения L , можно получить различные формулы для представления этой функции.

С использованием формулы (1.19) получены формулы приближения функции $y = \cos x$ на отрезке $[0, \pi]$, которые представлены в таблице 2. Эти данные представлены в строках, соответствующих нечетным значениям переменной s , обозначающей степень многочлена приближения.

В строках таблицы, соответствующих четным значениям степени s многочлена разложения, для сопоставления приведены выражения, полученные по формуле Тейлора для этой функции

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots + (-1)^k \frac{x^{2k}}{(2k)!} + \dots, \quad k=0,1,2,\dots \tag{1.20}$$

с соответствующим числом k членов разложения.

В каждой строке четвертого столбца, содержащего формулы разложения, сначала записывается точное символьное выражение и под ними приближенное с точностью до 10 знаков выражение с числовыми коэффициентами. Во втором и третьем столбце приводятся значения переменных k и m , определенных ранее соответствующими формулами (1.20) и (1.15), соответственно. В пятом столбце указано значение параметра числа точек n , в которых заданы значения функции и ее производных ($n=0$ для разложения по формуле Тейлора и $n=1$ для двухточечного разложения).

Из таблицы 2 видно, что выражения для разложения по формуле Тейлора содержит только члены с четными степенями переменной x , а формулы двухточечного разложения, наоборот, содержат только нечетные степени переменной x . Таким образом, в таблице 2 строки, соответствующие двухточечному представлению и разложению в ряд Тейлора чередуются между собой.

Таблица 2. Формулы двухточечного представления и разложения Тейлора для функции $y = \cos x$

s	k	m	Формулы в символьном и числовом представлении	n
0	0		1 1	0
1		0	$1 - \frac{2}{\pi} x$ 1-0.6366197724x	1
2	1		$x - \frac{x^2}{2!}$ 1-0.5000000000x ²	0
3		1	$1 - \frac{6}{\pi^2} x^2 + \frac{4}{\pi^3} x^3$ 1-0.6079271019x ² +0.129006138x ³	1
4	2		$x - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!}$ 1-0.5000000000x ² +0.0416666667x ⁴	0
5		2	$1 - \frac{x^2}{2} - \frac{2(10 - \pi^2)x^3}{\pi^3} + \frac{5(12 - \pi^2)x^4}{2\pi^4} - \frac{(12 - \pi^2)x^5}{\pi^5}$ 1-0.5000000000x ² -0.00841091630x ³ +0.0546765085x ⁴ -0.0069616293x ⁵	1

6	3		$x - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!}$ $1 - 0.5000000000x^2 + 0.0416666667x^4 - 0.0013888889x^6$	0
7		3	$1 - \frac{x^2}{2} + \frac{(-140 + 15\pi^2)x^4}{2\pi^4} + \frac{(168 - 17\pi^2)x^5}{\pi^5} + \frac{14(-10 + \pi^2)x^6}{\pi^6} - \frac{4(-10 + \pi^2)x^7}{\pi^7}$ $1 - 0.5000000000x^2 + 0.0412901195x^4 + 0.0007082067x^5 - 0.0018988547x^6 + 0.0001726926x^7$	1

На рис. 1 и рис. 2 представлены графики разложений функции $y = \cos x$, построенные по формулам, представленным в таблице 2 для разложений Тейлора и двухточечного представления. Из графиков наглядно видно, что для двухточечного представления при учете уже первой производной ($m=1$) аппроксимирующая зависимость визуально мало отличается от аппроксимируемой функции. Графики, построенные с использованием формул разложения Тейлора, имеют существенно большее расхождение с графиком исходной функцией, причем расхождение наиболее заметно в правой части отрезка разложения, наиболее удаленной от точки разложения $x_0=0$.

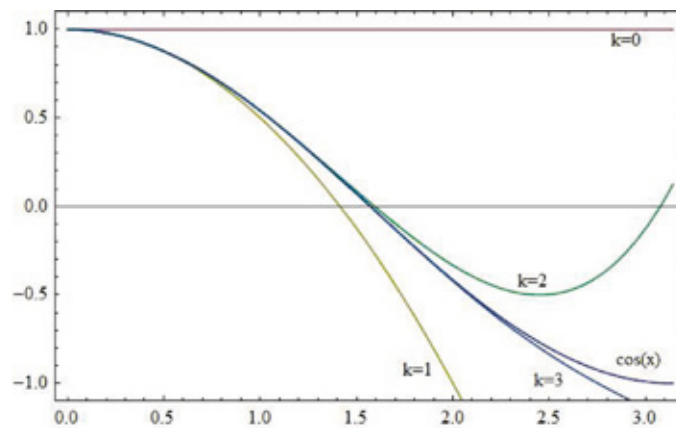


Рис. 1. Разложение функции по формуле Тейлора

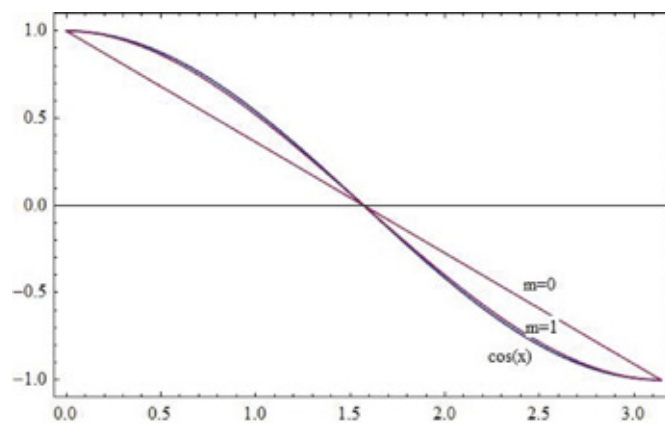


Рис. 2. Представление функции по двухточечной формуле

Ниже, на рис. 3 и рис. 4 представлены графики погрешностей аппроксимации как модули разностей функции и ее приближения для функции $y = \cos x$ в случае разложения Тейлора и для двухточечного представления, соответственно. Из графиков, представленных на рис. 4, можно определить какое число членов разложения необходимо взять для достижения заданной точности. Так для достижения точности, лучшей чем 10^{-4} , достаточно взять значение $m=3$ и использовать формулы, размещенные в последней строке таблицы 2 в символьном или числовом представлении.

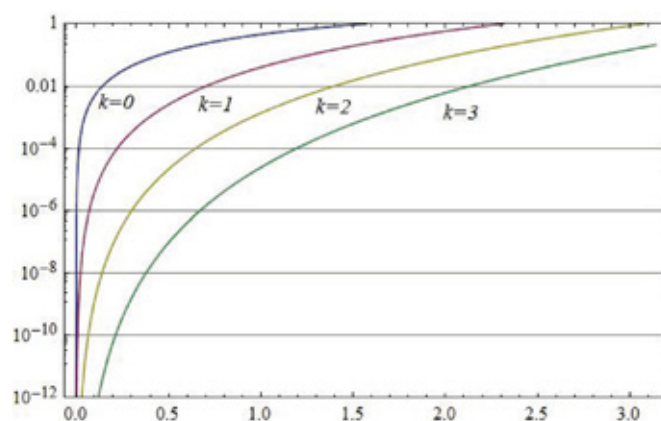


Рис. 3. Погрешность, полученная по формуле Тейлора

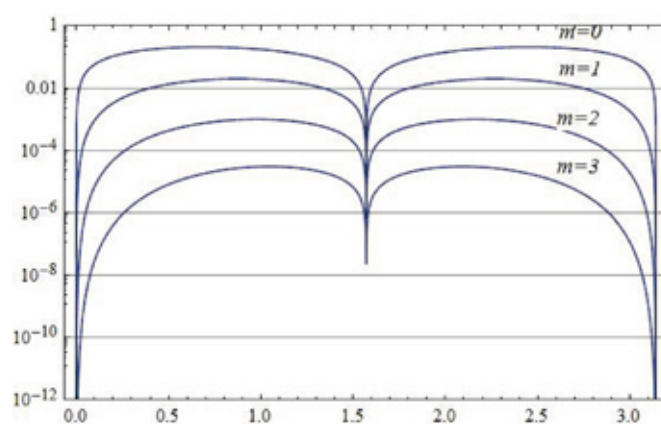


Рис. 4. Погрешность, полученная по двухточечной формуле

Заключение. Получены формулы представления функции, определенной на отрезке вместе с набором ее производных, в виде многочлена, коэффициенты которого определяются по значениям функции и ее производных, заданных в двух конечных точках этого отрезка.

Приведен пример представления $y = \cos x$ на заданном отрезке последовательностью двухточечных многочленов и дано сопоставление результатов двухточечного представления и разложения этой функции в ряд Тейлора.

Показано, что погрешность двухточечного представления по сравнению с разложением Тейлора при сопоставимых степенях приближающего многочлена является существенно меньшей, погрешность более равномерно распределена по заданному отрезку и обращается в нуль в обоих концах отрезка разложения.

Литература:

1. Кудрявцев, Л.Д. Математический анализ. т. 1. М.: Высшая школа, 1970. — 592 с.
2. Березин, И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. Т. 1 — М.: Физматлит, 1962. — 464 с.
3. Кожухов, И.Б., Прокофьев А.А. Справочник по математике. — М.: «Лист», 1999. — 640 с.
4. Гончаров, В.И. Теория интерполирования и приближения функций. М.: Гостехтеориздат, 1934. — 316 с.
5. Прасолов, В.В. Многочлены. — М.: МЦНМО, 1999. — 336 с.
6. Волков, Е.А. Численные методы: Учебное пособие для вузов. — 2-е изд., испр. — М.:Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. — 248 с.

ФИЗИКА

Моделирование линейного асинхронного двигателя с укладкой обмотки индуктора ($Z_1 = 18$) через спинку ярма

Емельянов Александр Александрович, доцент;

Кобзев Антон Валерьевич, студент;

Козлов Алексей Максимович, студент;

Бесклеткин Виктор Викторович, студент;

Авдеев Александр Сергеевич, студент;

Киряков Георгий Анатольевич, студент;

Чернов Михаил Владимирович, студент;

Габзалилов Эльвир Фиргатович, студент;

Российский государственный профессионально-педагогический университет (г. Екатеринбург)

В работах [1] ... [3] рассмотрено математическое моделирование линейных асинхронных двигателей при помощи магнитных схем замещения с классическим типом обмотки. В данной работе представлена математическая модель линейного асинхронного двигателя с намоткой обмотки через спинку ярма индуктора. Такой тип укладки обмотки позволит управлять напряжением в проводниках каждого паза и, кроме того, приводит к существенному изменению конфигурации заполнения элементов матриц [4]. Работа адресована студентам, поэтому дана без сокращений.

На рис. 2, а показан линейный асинхронный двигатель с одной парой полюсов ($2p = 2$, $Z_1 = 18$) с укладкой обмотки через спинку ярма статора. На рис. 2, б дана его магнитная схема замещения.

Запишем основные уравнения для « n »-ого участка схемы замещения.

Баланс магнитных напряжений магнитной цепи

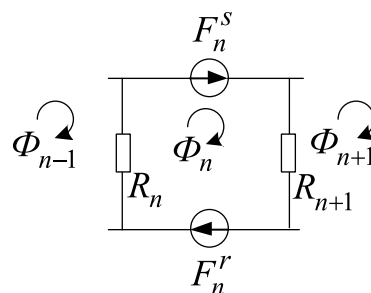


Рис. 1. Магнитная схема замещения

Φ_{n-1} , Φ_n , Φ_{n+1} — контурные магнитные потоки;

R_n , R_{n+1} — магнитные сопротивления воздушных участков;

$F_n^S = \omega_n^S \cdot i_n^S$ — магнитодвижущая сила, созданная статорным током i_n^S , протекающим по всем проводникам паза (ω_n^S);

$F_n^R = \omega_n^R \cdot i_n^R$ — М.Д.С. тока ротора в стержне ($\omega_n^R = 1$);

$F_n^S = 0$ — в шунтирующих зонах.

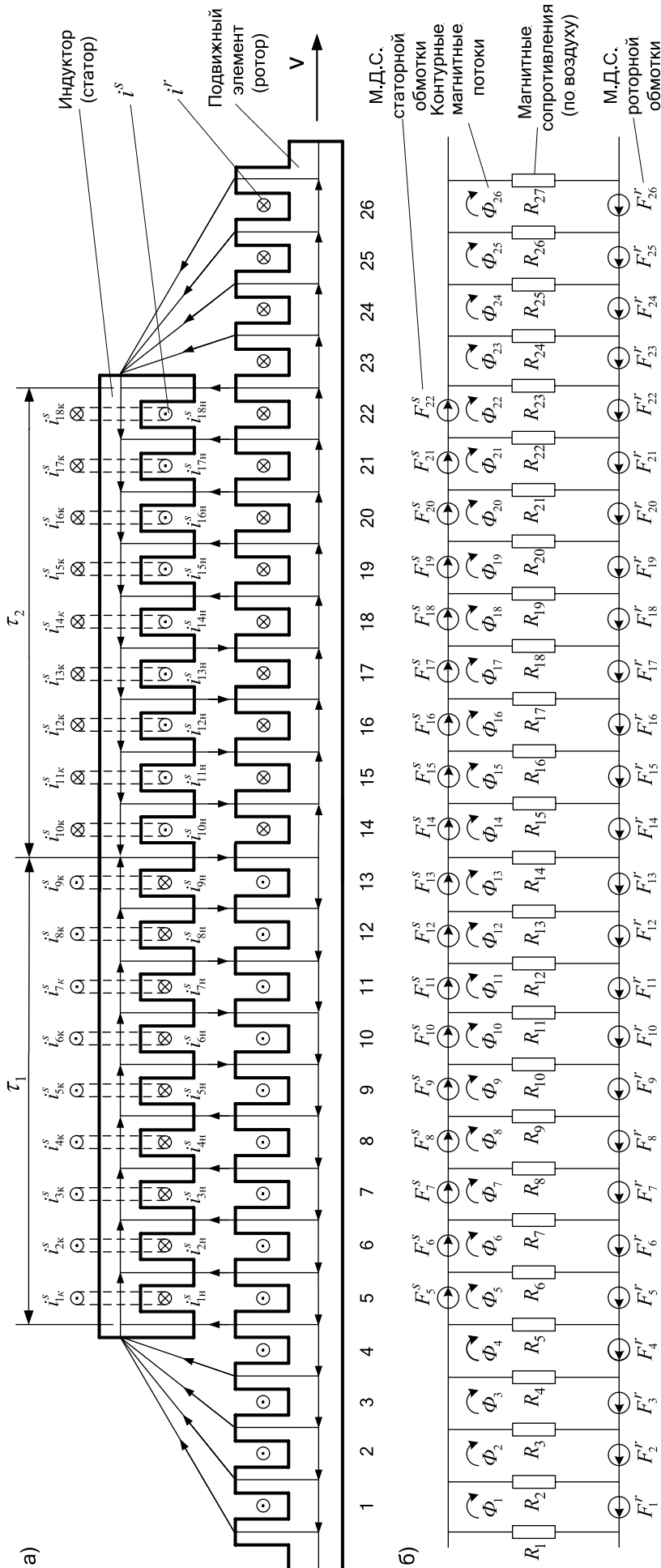


Рис. 2. а) Линейный асинхронный двигатель ($2r = 2, Z_1 = 18$) б) Магнитная схема замещения

Баланс М. Д. С. для «n»-го участка имеет следующий вид:

$$F_n^S + F_n^r = \Phi_n \cdot (R_{n+1} + R_n) - \Phi_{n+1} \cdot R_{n+1} - \Phi_{n-1} \cdot R_n.$$

Отсюда ток в стержне ротора определится по следующему выражению:

$$i_n^r = -\omega_n^s \cdot i_n^s - \Phi_{n-1} \cdot R_n + \Phi_n \cdot (R_{n+1} + R_n) - \Phi_{n+1} \cdot R_{n+1} \tag{1}$$

Уравнение баланса напряжений электрической цепи ротора

$$r^r \cdot i_n^r + L^r \cdot \frac{\partial i_n^r}{\partial t} + L^r \cdot v \cdot \frac{\partial i_n^r}{\partial x} = -\frac{\partial \Phi_n}{\partial t} - v \cdot \frac{\partial \Phi_n}{\partial x}. \tag{2}$$

Выразим производные во времени через конечные разности:

$$\frac{\partial i_n^r}{\partial t} = \frac{i_{n,k}^r - i_{n,k-1}^r}{\Delta t}, \quad \frac{\partial \Phi_n}{\partial t} = \frac{\Phi_{n,k} - \Phi_{n,k-1}}{\Delta t},$$

где n — номер зубцового деления;

k — номер шага разбиения по времени.

В формуле (2) скорость подвижного элемента принимаем равным $v = v_{k-1}$ и в пределах « k » интервала считается постоянным.

Производные по пространственной координате « x » выразим через центральные конечные разности:

$$\frac{\partial i_{n,k}^r}{\partial x} = \frac{i_{n+1,k}^r - i_{n-1,k}^r}{2 \cdot t_z}, \quad \frac{\partial \Phi_{n,k}}{\partial x} = \frac{\Phi_{n+1,k} - \Phi_{n-1,k}}{2 \cdot t_z}.$$

С учетом вышеприведенных замечаний уравнение (2) примет следующий вид:

$$r^r \cdot i_{n,k}^r + L^r \cdot \frac{i_{n,k}^r - i_{n,k-1}^r}{\Delta t} + L^r \cdot v_{k-1} \cdot \frac{i_{n+1,k}^r - i_{n-1,k}^r}{2 \cdot t_z} = -\frac{\Phi_{n,k} - \Phi_{n,k-1}}{\Delta t} - v \cdot \frac{\Phi_{n+1,k} - \Phi_n}{2 \cdot t_z}. \tag{3}$$

Исключим из уравнения (3) токи в роторе. Для этого подставим выражение (1) в уравнение (3) и получим:

$$\begin{aligned} & \left[\frac{\omega_n^s \cdot L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot i_{n-1,k}^s + \left[-\omega_n^s \cdot \left(r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) \right] \cdot i_{n,k}^s + \left[-\omega_n^s \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot i_{n+1,k}^s + \left[\frac{R_{n-1} \cdot L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n-2,k} + \\ & + \left[-R_n \cdot \left(r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) - ((R_n + R_{n-1}) \cdot L^r + 1) \cdot \frac{v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n-1,k} + \\ & + \left[(R_{n+1} + R_n) \cdot \left(r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + (R_n - R_{n+1}) \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} + \frac{1}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n,k} + \\ & + \left[-R_{n+1} \cdot \left(r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + ((R_{n+2} + R_{n+1}) \cdot L^r + 1) \cdot \frac{v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n+1,k} + \left[-R_{n+2} \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n+2,k} = \\ & = \left[-\omega_n^s \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right] \cdot i_{n,k-1}^s + \left[-R_n \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n-1,k-1} + \left[\frac{(R_{n+1} + R_n) \cdot L^r + 1}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n,k-1} + \left[-R_{n+1} \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n+1,k-1}. \tag{4} \end{aligned}$$

Это уравнение может быть реализовано при произведении матрицы **A**, элементы которой записаны в квадратных скобках, на матрицу-столбец **X**, состоящей из потоков (Φ) и токов статорной обмотки. Правая часть уравнения (4) формирует первые двадцать шесть элементов матрицы-столбца свободных членов **S** в $(k-1)$ момент времени. Остальные восемнадцать будут сформированы из баланса напряжений статорной обмотки.

Матрица-столбец **X** сформирована из первых двадцати шести элементов, соответствующих потокам Φ_1, \dots, Φ_{26} , а с 27 по 44 — токам статорной обмотки i_1^s, \dots, i_{18}^s .

Общий вид матриц при числе полюсов $2p = 2$ и общем числе пазов индуктора (статора) $Z_1 = 18$ приведен на рис.3.

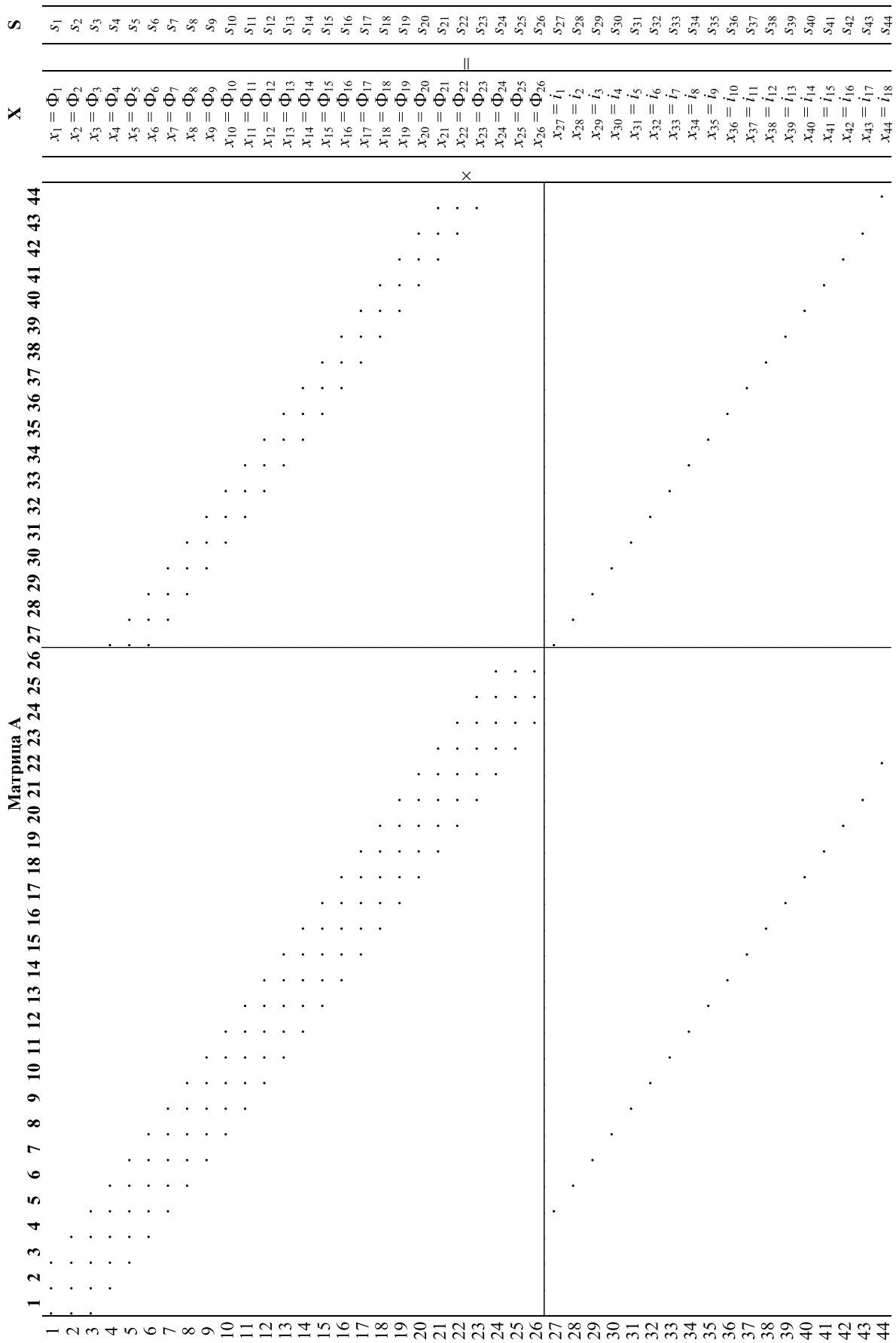


Рис. 3. Общий вид матриц A, X и S

Введем следующие обозначения:

– Магнитные сопротивления в шунтирующих зонах:

$$R_1 = R_2 = R_{26} = R_{27} = 500 \cdot R_\delta;$$

$$R_3 = R_{25} = 50 \cdot R_\delta;$$

$$R_4 = R_{24} = 5 \cdot R_\delta.$$

– Магнитные сопротивления в индукторной зоне:

$$R_5 = R_6 = \dots = R_{23} = R_\delta.$$

– Элементы матрицы \mathbf{A} , перемножаемые на потоки матрицы-столбца \mathbf{X} (рис. 3).

$$B = 2R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) + 1 / \Delta t;$$

$$B_1 = (5R_\delta + R_\delta) \cdot (r^r + L^r / \Delta t) + (R_\delta - 5R_\delta) \cdot L^r \cdot v_{k-1} / 2t_z + 1 / \Delta t =$$

$$= 6R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) + (-4R_\delta) \cdot L^r \cdot v_{k-1} / 2t_z + 1 / \Delta t;$$

$$B_2 = 55R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) + (-45R_\delta) \cdot L^r \cdot v_{k-1} / 2t_z + 1 / \Delta t;$$

$$B_3 = 550R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) + (-450R_\delta) \cdot L^r \cdot v_{k-1} / 2t_z + 1 / \Delta t;$$

$$B_4 = 1000R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) + 1 / \Delta t;$$

$$B_5 = 550R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) + 450R_\delta \cdot L^r \cdot v_{k-1} / 2t_z + 1 / \Delta t;$$

$$B_6 = 55R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) + 45R_\delta \cdot L^r \cdot v_{k-1} / 2t_z + 1 / \Delta t;$$

$$B_7 = 6R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) + 4R_\delta \cdot L^r \cdot v_{k-1} / 2t_z + 1 / \Delta t;$$

$$C = -R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) + (2R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$C_1 = -R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) + (6R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$C_2 = -5R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) + (55R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$C_3 = -50R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) + (550R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$C_4 = -500R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) + (1000R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$C_5 = -500R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) + (550R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$C_6 = -50R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) + (55R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$C_7 = -5R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) + (6R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$E = -R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) - (2R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$E_1 = -5R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) - (6R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$E_2 = -50R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) - (55R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$E_3 = -500R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) - (550R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$E_4 = -500R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) - (1000R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$E_5 = -50R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) - (550R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$E_6 = -5R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) - (55R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$E_7 = -R_\delta \cdot (r^r + L^r / \Delta t) - (6R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$D = -R_{\sigma} \cdot L^r \cdot v_{k-1} / 2t_z; \quad D_1 = 5 \cdot D; \quad D_2 = 50 \cdot D; \quad D_3 = 500 \cdot D.$$

– Элементы матрицы **A**, перемножаемые на токи матрицы **X**:

$$T = -\omega_n^s \cdot L^r \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$Y = -\omega_n^s \cdot (r^r + L^r / \Delta t);$$

– Элементы матрицы-столбца свободных членов **S**:

$$W1 = -\omega_n^s \cdot L^r / \Delta t;$$

$$P = -R_{\sigma} \cdot L^r / \Delta t;$$

$$Q = (2R_{\sigma} \cdot L^r + 1) / \Delta t;$$

$$Q_1 = \frac{6R_{\sigma} \cdot L^r + 1}{\Delta t}; \quad Q_2 = \frac{55 \cdot R_{\sigma} \cdot L^r + 1}{\Delta t}; \quad Q_3 = \frac{550 \cdot R_{\sigma} \cdot L^r + 1}{\Delta t}; \quad Q_4 = \frac{1000 \cdot R_{\sigma} \cdot L^r + 1}{\Delta t}. \text{ Уравнение}$$

(4) позволит определить для первых двадцати шести строк элементы матрицы **A** и с первый по двадцать шестой элементу матрицы-столбца **S**, для этого последовательно зададимся n :

$$n = 1.$$

$$\underbrace{[B_4]}_{a_{1,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \underbrace{[C_5]}_{a_{1,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{[D_2]}_{a_{1,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} = \underbrace{Q_4 \cdot \Phi_{1,k-1} + P \cdot 500 \cdot \Phi_{2,k-1}}_{S_1}.$$

Запишем элементы матрицы **A**:

$$a_{1,1} = B_4; \quad a_{1,2} = C_5; \quad a_{1,3} = D_2.$$

В правой части сформирован элемент S_1 матрицы-столбца **S**:

$$S_1 = Q_4 \cdot x_{1,k-1} + P \cdot 500 \cdot x_{2,k-1}.$$

Примечание: вначале матрица **A** предстанет «пустой» и после каждой операции $n = \dots$ определятся постепенно элементы для каждой строки и только в конце всех операций матрица **A** предстанет перед читателем в том виде как она дана на рис. 3. Но эта «пустая» матрица **A** уже должна быть подготовлена. Эта «пустая» форма направляет, выступает «организующим началом» по поиску элементов в каждой строке.

При $n = 1$, как было показано выше, определились элементы первой строки. Найденные коэффициенты вписываем в матрицу **A**. В дальнейшем становится понятным алгоритм заполнения матрицы.

$$n = 2.$$

$$\underbrace{[E_4]}_{a_{2,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \underbrace{[B_5]}_{a_{2,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{[C_6]}_{a_{2,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{[D_1]}_{a_{2,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} = \underbrace{Q_3 \cdot \Phi_{2,k-1} + P \cdot (500 \cdot \Phi_{1,k-1} + 50 \cdot \Phi_{3,k-1})}_{S_2}. \quad a_{2,1} = E_4;$$

$$a_{2,2} = B_5; \quad a_{2,3} = C_6; \quad a_{2,4} = D_1.$$

$$S_2 = Q_3 \cdot x_{2,k-1} + P \cdot (500 \cdot x_{1,k-1} + 50 \cdot x_{3,k-1}).$$

$$n = 3.$$

$$\underbrace{[-D_3]}_{a_{3,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \underbrace{[E_5]}_{a_{3,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{[B_6]}_{a_{3,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{[C_7]}_{a_{3,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{[D]}_{a_{3,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} =$$

$$= \underbrace{Q_2 \cdot \Phi_{3,k-1} + P \cdot (50 \cdot \Phi_{2,k-1} + 5 \cdot \Phi_{4,k-1})}_{S_3}.$$

$$a_{3,1} = -D_3; \quad a_{3,2} = E_5; \quad a_{3,3} = B_6; \quad a_{3,4} = C_7; \quad a_{3,5} = D.$$

$$S_3 = Q_2 \cdot x_{3,k-1} + P \cdot (50 \cdot x_{2,k-1} + 5 \cdot x_{4,k-1}).$$

$$n = 4.$$

$$\underbrace{[T]}_{a_{4,27}} \cdot \underbrace{i_{1,k}^s}_{x_{27}} + \underbrace{[-D_2]}_{a_{4,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{[E_6]}_{a_{4,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{[B_7]}_{a_{4,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{[C]}_{a_{4,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[D]}_{a_{4,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} =$$

$$= \underbrace{Q_1 \cdot \Phi_{4,k-1} + P \cdot (5 \cdot \Phi_{3,k-1} + \Phi_{5,k-1})}_{S_4}.$$

$$a_{4,2} = -D_2; \quad a_{4,3} = E_6; \quad a_{4,4} = B_7; \quad a_{4,5} = C; \quad a_{4,6} = D; \quad a_{4,27} = T.$$

$$S_4 = Q_1 \cdot x_{4,k-1} + P \cdot (5 \cdot x_{3,k-1} + x_{5,k-1}).$$

$n = 5.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[Y]}_{a_{5,27}} \cdot \underbrace{i_{1,k}^s}_{x_{27}} + \underbrace{[T]}_{a_{5,28}} \cdot \underbrace{i_{2,k}^s}_{x_{28}} + \underbrace{[-D_1]}_{a_{5,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{[E_7]}_{a_{5,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{[B]}_{a_{5,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[C]}_{a_{5,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[D]}_{a_{5,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot i_{1,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{5,k-1} + P \cdot (\Phi_{4,k-1} + \Phi_{6,k-1})}_{S_5}. \end{aligned}$$

$$a_{5,3} = -D_1; \quad a_{5,4} = E_7; \quad a_{5,5} = B; \quad a_{5,6} = C; \quad a_{5,7} = D; \quad a_{5,27} = Y; \quad a_{5,28} = T.$$

$$S_5 = W1 \cdot x_{27,k-1} + Q \cdot x_{5,k-1} + P \cdot (x_{4,k-1} + x_{6,k-1}).$$

$n = 6.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{6,27}} \cdot \underbrace{i_{1,k}^s}_{x_{27}} + \underbrace{[Y]}_{a_{6,28}} \cdot \underbrace{i_{2,k}^s}_{x_{28}} + \underbrace{[T]}_{a_{6,29}} \cdot \underbrace{i_{3,k}^s}_{x_{29}} + \underbrace{[-D]}_{a_{6,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{[E]}_{a_{6,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[B]}_{a_{6,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[C]}_{a_{6,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} + \underbrace{[D]}_{a_{6,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot i_{2,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{6,k-1} + P \cdot (\Phi_{5,k-1} + \Phi_{7,k-1})}_{S_6}. \end{aligned}$$

$$a_{6,4} = -D; \quad a_{6,5} = E; \quad a_{6,6} = B; \quad a_{6,7} = C; \quad a_{6,8} = D; \quad a_{6,27} = -T; \quad a_{6,28} = Y; \quad a_{6,29} = T.$$

$$S_6 = W1 \cdot x_{28,k-1} + Q \cdot x_{6,k-1} + P \cdot (x_{5,k-1} + x_{7,k-1}).$$

$n = 7.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{7,28}} \cdot \underbrace{i_{2,k}^s}_{x_{28}} + \underbrace{[Y]}_{a_{7,29}} \cdot \underbrace{i_{3,k}^s}_{x_{29}} + \underbrace{[T]}_{a_{7,30}} \cdot \underbrace{i_{4,k}^s}_{x_{30}} + \underbrace{[-D]}_{a_{7,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[E]}_{a_{7,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[B]}_{a_{7,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} + \underbrace{[C]}_{a_{7,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \underbrace{[D]}_{a_{7,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot i_{3,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{7,k-1} + P \cdot (\Phi_{6,k-1} + \Phi_{8,k-1})}_{S_7}. \end{aligned}$$

$$a_{7,5} = -D; \quad a_{7,6} = E; \quad a_{7,7} = B; \quad a_{7,8} = C; \quad a_{7,9} = D; \quad a_{7,28} = -T; \quad a_{7,29} = Y; \quad a_{7,30} = T.$$

$$S_7 = W1 \cdot x_{29,k-1} + Q \cdot x_{7,k-1} + P \cdot (x_{6,k-1} + x_{8,k-1}).$$

$n = 8.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{8,29}} \cdot \underbrace{i_{3,k}^s}_{x_{29}} + \underbrace{[Y]}_{a_{8,30}} \cdot \underbrace{i_{4,k}^s}_{x_{30}} + \underbrace{[T]}_{a_{8,31}} \cdot \underbrace{i_{5,k}^s}_{x_{31}} + \underbrace{[-D]}_{a_{8,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[E]}_{a_{8,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} + \underbrace{[B]}_{a_{8,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \underbrace{[C]}_{a_{8,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} + \underbrace{[D]}_{a_{8,10}} \cdot \underbrace{\Phi_{10,k}}_{x_{10}} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot i_{4,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{8,k-1} + P \cdot (\Phi_{7,k-1} + \Phi_{9,k-1})}_{S_8}. \end{aligned}$$

$$a_{8,6} = -D; \quad a_{8,7} = E; \quad a_{8,8} = B; \quad a_{8,9} = C; \quad a_{8,10} = D; \quad a_{8,29} = -T; \quad a_{8,30} = Y; \quad a_{8,31} = T.$$

$$S_8 = W1 \cdot x_{30,k-1} + Q \cdot x_{8,k-1} + P \cdot (x_{7,k-1} + x_{9,k-1}).$$

$n = 9.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{9,30}} \cdot \underbrace{i_{4,k}^s}_{x_{30}} + \underbrace{[Y]}_{a_{9,31}} \cdot \underbrace{i_{5,k}^s}_{x_{31}} + \underbrace{[T]}_{a_{9,32}} \cdot \underbrace{i_{6,k}^s}_{x_{32}} + \underbrace{[-D]}_{a_{9,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} + \underbrace{[E]}_{a_{9,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \underbrace{[B]}_{a_{9,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} + \underbrace{[C]}_{a_{9,10}} \cdot \underbrace{\Phi_{10,k}}_{x_{10}} + \underbrace{[D]}_{a_{9,11}} \cdot \underbrace{\Phi_{11,k}}_{x_{11}} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot i_{5,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{9,k-1} + P \cdot (\Phi_{8,k-1} + \Phi_{10,k-1})}_{S_9}. \end{aligned}$$

$$a_{9,7} = -D; \quad a_{9,8} = E; \quad a_{9,9} = B; \quad a_{9,10} = C; \quad a_{9,11} = D; \quad a_{9,30} = -T; \quad a_{9,31} = Y; \quad a_{9,32} = T.$$

$$s_9 = W1 \cdot (-1) \cdot x_{28,k-1} + Q \cdot x_{9,k-1} + P \cdot (x_{8,k-1} + x_{10,k-1}).$$

$n = 10.$

$$\underbrace{[-T]}_{a_{10,31}} \cdot \underbrace{i_{5,k}^s}_{x_{31}} + \underbrace{[Y]}_{a_{10,32}} \cdot \underbrace{i_{6,k}^s}_{x_{32}} + \underbrace{[T]}_{a_{10,33}} \cdot \underbrace{i_{7,k}^s}_{x_{33}} + \underbrace{[-D]}_{a_{10,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \underbrace{[E]}_{a_{10,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} + \underbrace{[B]}_{a_{10,10}} \cdot \underbrace{\Phi_{10,k}}_{x_{10}} + \underbrace{[C]}_{a_{10,11}} \cdot \underbrace{\Phi_{11,k}}_{x_{11}} + \underbrace{[D]}_{a_{10,12}} \cdot \underbrace{\Phi_{12,k}}_{x_{12}} = W1 \cdot i_{6,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{10,k-1} + P \cdot (\Phi_{9,k-1} + \Phi_{11,k-1}).$$

S_{10}

$$a_{10,8} = -D; a_{10,9} = E; a_{10,10} = B; a_{10,11} = C; a_{10,12} = D; a_{10,31} = -T; a_{10,32} = Y; a_{10,33} = T.$$

$$s_{10} = W1 \cdot x_{32,k-1} + Q \cdot x_{10,k-1} + P \cdot (x_{9,k-1} + x_{11,k-1}).$$

$n = 11.$

$$\underbrace{[-T]}_{a_{11,32}} \cdot \underbrace{i_{6,k}^s}_{x_{32}} + \underbrace{[Y]}_{a_{11,33}} \cdot \underbrace{i_{7,k}^s}_{x_{33}} + \underbrace{[T]}_{a_{11,34}} \cdot \underbrace{i_{8,k}^s}_{x_{34}} + \underbrace{[-D]}_{a_{11,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} + \underbrace{[E]}_{a_{11,10}} \cdot \underbrace{\Phi_{10,k}}_{x_{10}} + \underbrace{[B]}_{a_{11,11}} \cdot \underbrace{\Phi_{11,k}}_{x_{11}} + \underbrace{[C]}_{a_{11,12}} \cdot \underbrace{\Phi_{12,k}}_{x_{12}} + \underbrace{[D]}_{a_{11,13}} \cdot \underbrace{\Phi_{13,k}}_{x_{13}} = W1 \cdot i_{7,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{11,k-1} + P \cdot (\Phi_{10,k-1} + \Phi_{12,k-1}).$$

S_{11}

$$a_{11,9} = -D; a_{11,10} = E; a_{11,11} = B; a_{11,12} = C; a_{11,13} = D; a_{11,32} = -T; a_{11,33} = Y; a_{11,34} = T.$$

$$s_{11} = W1 \cdot x_{33,k-1} + Q \cdot x_{11,k-1} + P \cdot (x_{10,k-1} + x_{12,k-1}).$$

$n = 12.$

$$\underbrace{[-T]}_{a_{12,33}} \cdot \underbrace{i_{7,k}^s}_{x_{33}} + \underbrace{[Y]}_{a_{12,34}} \cdot \underbrace{i_{8,k}^s}_{x_{34}} + \underbrace{[T]}_{a_{12,35}} \cdot \underbrace{i_{9,k}^s}_{x_{35}} + \underbrace{[-D]}_{a_{12,10}} \cdot \underbrace{\Phi_{10,k}}_{x_{10}} + \underbrace{[E]}_{a_{12,11}} \cdot \underbrace{\Phi_{11,k}}_{x_{11}} + \underbrace{[B]}_{a_{12,12}} \cdot \underbrace{\Phi_{12,k}}_{x_{12}} + \underbrace{[C]}_{a_{12,13}} \cdot \underbrace{\Phi_{13,k}}_{x_{13}} + \underbrace{[D]}_{a_{12,14}} \cdot \underbrace{\Phi_{14,k}}_{x_{14}} = W1 \cdot i_{8,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{12,k-1} + P \cdot (\Phi_{11,k-1} + \Phi_{13,k-1}).$$

S_{12}

$$a_{12,10} = -D; a_{12,11} = E; a_{12,12} = B; a_{12,13} = C; a_{12,14} = D; a_{12,33} = -T; a_{12,34} = Y; a_{12,35} = T.$$

$$s_{12} = W1 \cdot x_{34,k-1} + Q \cdot x_{12,k-1} + P \cdot (x_{11,k-1} + x_{13,k-1}).$$

$n = 13.$

$$\underbrace{[-T]}_{a_{13,34}} \cdot \underbrace{i_{8,k}^s}_{x_{34}} + \underbrace{[Y]}_{a_{13,35}} \cdot \underbrace{i_{9,k}^s}_{x_{35}} + \underbrace{[T]}_{a_{13,36}} \cdot \underbrace{i_{10,k}^s}_{x_{36}} + \underbrace{[-D]}_{a_{13,11}} \cdot \underbrace{\Phi_{11,k}}_{x_{11}} + \underbrace{[E]}_{a_{13,12}} \cdot \underbrace{\Phi_{12,k}}_{x_{12}} + \underbrace{[B]}_{a_{13,13}} \cdot \underbrace{\Phi_{13,k}}_{x_{13}} + \underbrace{[C]}_{a_{13,14}} \cdot \underbrace{\Phi_{14,k}}_{x_{14}} + \underbrace{[D]}_{a_{13,15}} \cdot \underbrace{\Phi_{15,k}}_{x_{15}} = W1 \cdot i_{9,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{13,k-1} + P \cdot (\Phi_{12,k-1} + \Phi_{14,k-1}).$$

S_{13}

$$a_{13,11} = -D; a_{13,12} = E; a_{13,13} = B; a_{13,14} = C; a_{13,15} = D; a_{13,34} = -T; a_{13,35} = Y; a_{13,36} = T.$$

$$s_{13} = W1 \cdot x_{35,k-1} + Q \cdot x_{13,k-1} + P \cdot (x_{12,k-1} + x_{14,k-1}).$$

$n = 14.$

$$\underbrace{[-T]}_{a_{14,35}} \cdot \underbrace{i_{9,k}^s}_{x_{35}} + \underbrace{[Y]}_{a_{14,36}} \cdot \underbrace{i_{10,k}^s}_{x_{36}} + \underbrace{[T]}_{a_{14,37}} \cdot \underbrace{i_{11,k}^s}_{x_{37}} + \underbrace{[-D]}_{a_{14,12}} \cdot \underbrace{\Phi_{12,k}}_{x_{12}} + \underbrace{[E]}_{a_{14,13}} \cdot \underbrace{\Phi_{13,k}}_{x_{13}} + \underbrace{[B]}_{a_{14,14}} \cdot \underbrace{\Phi_{14,k}}_{x_{14}} + \underbrace{[C]}_{a_{14,15}} \cdot \underbrace{\Phi_{15,k}}_{x_{15}} + \underbrace{[D]}_{a_{14,16}} \cdot \underbrace{\Phi_{16,k}}_{x_{16}} = W1 \cdot i_{10,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{14,k-1} + P \cdot (\Phi_{13,k-1} + \Phi_{15,k-1}).$$

S_{14}

$$a_{14,12} = -D; a_{14,13} = E; a_{14,14} = B; a_{14,15} = C; a_{14,16} = D; a_{14,35} = -T; a_{14,36} = Y; a_{14,37} = T.$$

$$s_{14} = W1 \cdot x_{36,k-1} + Q \cdot x_{14,k-1} + P \cdot (x_{13,k-1} + x_{15,k-1}).$$

$n = 15.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{15,36}} \cdot \underbrace{i_{10,k}^s}_{x_{36}} + \underbrace{[Y]}_{a_{15,37}} \cdot \underbrace{i_{11,k}^s}_{x_{37}} + \underbrace{[T]}_{a_{15,38}} \cdot \underbrace{i_{12,k}^s}_{x_{38}} + \underbrace{[-D]}_{a_{15,13}} \cdot \underbrace{\Phi_{13,k}}_{x_{13}} + \underbrace{[E]}_{a_{15,14}} \cdot \underbrace{\Phi_{14,k}}_{x_{14}} + \underbrace{[B]}_{a_{15,15}} \cdot \underbrace{\Phi_{15,k}}_{x_{15}} + \underbrace{[C]}_{a_{15,16}} \cdot \underbrace{\Phi_{16,k}}_{x_{16}} + \\ & + \underbrace{[D]}_{a_{15,17}} \cdot \underbrace{\Phi_{17,k}}_{x_{17}} = \underbrace{W1 \cdot i_{11,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{15,k-1} + P \cdot (\Phi_{14,k-1} + \Phi_{16,k-1})}_{S_{15}}. \end{aligned}$$

$$a_{15,13} = -D; \quad a_{15,14} = E; \quad a_{15,15} = B; \quad a_{15,16} = C; \quad a_{15,17} = D; \quad a_{15,36} = -T; \quad a_{15,37} = Y; \quad a_{15,38} = T.$$

$$S_{15} = W1 \cdot x_{37,k-1} + Q \cdot x_{15,k-1} + P \cdot (x_{14,k-1} + x_{16,k-1}).$$

$n = 16.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{16,37}} \cdot \underbrace{i_{11,k}^s}_{x_{37}} + \underbrace{[Y]}_{a_{16,38}} \cdot \underbrace{i_{12,k}^s}_{x_{38}} + \underbrace{[T]}_{a_{16,39}} \cdot \underbrace{i_{13,k}^s}_{x_{39}} + \underbrace{[-D]}_{a_{16,14}} \cdot \underbrace{\Phi_{14,k}}_{x_{14}} + \underbrace{[E]}_{a_{16,15}} \cdot \underbrace{\Phi_{15,k}}_{x_{15}} + \underbrace{[B]}_{a_{16,16}} \cdot \underbrace{\Phi_{16,k}}_{x_{16}} + \underbrace{[C]}_{a_{16,17}} \cdot \underbrace{\Phi_{17,k}}_{x_{17}} + \\ & + \underbrace{[D]}_{a_{16,18}} \cdot \underbrace{\Phi_{18,k}}_{x_{18}} = \underbrace{W1 \cdot i_{12,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{16,k-1} + P \cdot (\Phi_{15,k-1} + \Phi_{17,k-1})}_{S_{16}}. \end{aligned}$$

$$a_{16,14} = -D; \quad a_{16,15} = E; \quad a_{16,16} = B; \quad a_{16,17} = C; \quad a_{16,18} = D; \quad a_{16,37} = -T; \quad a_{16,38} = Y; \quad a_{16,39} = T.$$

$$S_{16} = W1 \cdot x_{38,k-1} + Q \cdot x_{16,k-1} + P \cdot (x_{15,k-1} + x_{17,k-1}).$$

$n = 17.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{17,38}} \cdot \underbrace{i_{12,k}^s}_{x_{38}} + \underbrace{[Y]}_{a_{17,39}} \cdot \underbrace{i_{13,k}^s}_{x_{39}} + \underbrace{[T]}_{a_{17,40}} \cdot \underbrace{i_{14,k}^s}_{x_{40}} + \underbrace{[-D]}_{a_{17,15}} \cdot \underbrace{\Phi_{15,k}}_{x_{15}} + \underbrace{[E]}_{a_{17,16}} \cdot \underbrace{\Phi_{16,k}}_{x_{16}} + \underbrace{[B]}_{a_{17,17}} \cdot \underbrace{\Phi_{17,k}}_{x_{17}} + \underbrace{[C]}_{a_{17,18}} \cdot \underbrace{\Phi_{18,k}}_{x_{18}} + \\ & + \underbrace{[D]}_{a_{17,19}} \cdot \underbrace{\Phi_{19,k}}_{x_{19}} = \underbrace{W1 \cdot i_{13,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{17,k-1} + P \cdot (\Phi_{16,k-1} + \Phi_{18,k-1})}_{S_{17}}. \end{aligned}$$

$$a_{17,15} = -D; \quad a_{17,16} = E; \quad a_{17,17} = B; \quad a_{17,18} = C; \quad a_{17,19} = D; \quad a_{17,38} = -T; \quad a_{17,39} = Y; \quad a_{17,40} = T.$$

$$S_{17} = W1 \cdot x_{39,k-1} + Q \cdot x_{17,k-1} + P \cdot (x_{16,k-1} + x_{18,k-1}).$$

$n = 18.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{18,39}} \cdot \underbrace{i_{13,k}^s}_{x_{39}} + \underbrace{[Y]}_{a_{18,40}} \cdot \underbrace{i_{14,k}^s}_{x_{40}} + \underbrace{[T]}_{a_{18,41}} \cdot \underbrace{i_{15,k}^s}_{x_{41}} + \underbrace{[-D]}_{a_{18,16}} \cdot \underbrace{\Phi_{16,k}}_{x_{16}} + \underbrace{[E]}_{a_{18,17}} \cdot \underbrace{\Phi_{17,k}}_{x_{17}} + \underbrace{[B]}_{a_{18,18}} \cdot \underbrace{\Phi_{18,k}}_{x_{18}} + \underbrace{[C]}_{a_{18,19}} \cdot \underbrace{\Phi_{19,k}}_{x_{19}} + \\ & + \underbrace{[D]}_{a_{18,20}} \cdot \underbrace{\Phi_{20,k}}_{x_{20}} = \underbrace{W1 \cdot i_{14,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{18,k-1} + P \cdot (\Phi_{17,k-1} + \Phi_{19,k-1})}_{S_{18}}. \end{aligned}$$

$$a_{18,16} = -D; \quad a_{18,17} = E; \quad a_{18,18} = B; \quad a_{18,19} = C; \quad a_{18,20} = D; \quad a_{18,39} = -T; \quad a_{18,40} = Y; \quad a_{18,41} = T.$$

$$S_{18} = W1 \cdot x_{40,k-1} + Q \cdot x_{18,k-1} + P \cdot (x_{17,k-1} + x_{19,k-1}).$$

$n = 19.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{19,40}} \cdot \underbrace{i_{14,k}^s}_{x_{40}} + \underbrace{[Y]}_{a_{19,41}} \cdot \underbrace{i_{15,k}^s}_{x_{41}} + \underbrace{[T]}_{a_{19,42}} \cdot \underbrace{i_{16,k}^s}_{x_{42}} + \underbrace{[-D]}_{a_{19,17}} \cdot \underbrace{\Phi_{17,k}}_{x_{17}} + \underbrace{[E]}_{a_{19,18}} \cdot \underbrace{\Phi_{18,k}}_{x_{18}} + \underbrace{[B]}_{a_{19,19}} \cdot \underbrace{\Phi_{19,k}}_{x_{19}} + \underbrace{[C]}_{a_{19,20}} \cdot \underbrace{\Phi_{20,k}}_{x_{20}} + \\ & + \underbrace{[D]}_{a_{19,21}} \cdot \underbrace{\Phi_{21,k}}_{x_{21}} = \underbrace{W1 \cdot i_{15,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{19,k-1} + P \cdot (\Phi_{18,k-1} + \Phi_{20,k-1})}_{S_{19}}. \end{aligned}$$

$$a_{19,17} = -D; \quad a_{19,18} = E; \quad a_{19,19} = B; \quad a_{19,20} = C; \quad a_{19,21} = D; \quad a_{19,40} = -T; \quad a_{19,41} = Y; \quad a_{19,42} = T.$$

$$S_{19} = W1 \cdot x_{41,k-1} + Q \cdot x_{19,k-1} + P \cdot (x_{18,k-1} + x_{20,k-1}).$$

$n = 20.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{20,41}} \cdot \underbrace{i_{15,k}^s}_{x_{41}} + \underbrace{[Y]}_{a_{20,42}} \cdot \underbrace{i_{16,k}^s}_{x_{42}} + \underbrace{[T]}_{a_{20,43}} \cdot \underbrace{i_{17,k}^s}_{x_{43}} + \underbrace{[-D]}_{a_{20,18}} \cdot \underbrace{\Phi_{18,k}}_{x_{18}} + \underbrace{[E]}_{a_{20,19}} \cdot \underbrace{\Phi_{19,k}}_{x_{19}} + \underbrace{[B]}_{a_{20,20}} \cdot \underbrace{\Phi_{20,k}}_{x_{20}} + \underbrace{[C]}_{a_{20,21}} \cdot \underbrace{\Phi_{21,k}}_{x_{21}} + \\ & + \underbrace{[D]}_{a_{20,22}} \cdot \underbrace{\Phi_{22,k}}_{x_{22}} = \underbrace{W1 \cdot i_{16,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{20,k-1} + P \cdot (\Phi_{19,k-1} + \Phi_{21,k-1})}_{S_{20}}. \end{aligned}$$

$$a_{20,18} = -D; a_{20,19} = E; a_{20,20} = B; a_{20,21} = C; a_{20,22} = D; a_{20,41} = -T; a_{20,42} = Y; a_{20,43} = T.$$

$$s_{20} = W1 \cdot x_{42,k-1} + Q \cdot x_{20,k-1} + P \cdot (x_{19,k-1} + x_{21,k-1}).$$

$$n = 21.$$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{21,42}} \cdot \underbrace{i_{16,k}^s}_{x_{42}} + \underbrace{[Y]}_{a_{21,43}} \cdot \underbrace{i_{17,k}^s}_{x_{43}} + \underbrace{[T]}_{a_{21,44}} \cdot \underbrace{i_{18,k}^s}_{x_{44}} + \underbrace{[-D]}_{a_{21,19}} \cdot \underbrace{\Phi_{19,k}}_{x_{19}} + \underbrace{[E]}_{a_{21,20}} \cdot \underbrace{\Phi_{20,k}}_{x_{20}} + \underbrace{[B]}_{a_{21,21}} \cdot \underbrace{\Phi_{21,k}}_{x_{21}} + \underbrace{[C]}_{a_{21,22}} \cdot \underbrace{\Phi_{22,k}}_{x_{22}} \\ & + \underbrace{[D]}_{a_{21,23}} \cdot \underbrace{\Phi_{23,k}}_{x_{23}} = \underbrace{W1 \cdot i_{17,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{21,k-1} + P \cdot (\Phi_{20,k-1} + \Phi_{22,k-1})}_{s_{21}}. \end{aligned}$$

$$a_{21,19} = -D; a_{21,20} = E; a_{21,21} = B; a_{21,22} = C; a_{21,23} = D; a_{21,42} = -T; a_{21,43} = Y; a_{21,44} = T.$$

$$s_{21} = W1 \cdot x_{43,k-1} + Q \cdot x_{21,k-1} + P \cdot (x_{20,k-1} + x_{22,k-1}).$$

$$n = 22.$$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{22,43}} \cdot \underbrace{i_{17,k}^s}_{x_{43}} + \underbrace{[Y]}_{a_{22,44}} \cdot \underbrace{i_{18,k}^s}_{x_{44}} + \underbrace{[-D]}_{a_{22,20}} \cdot \underbrace{\Phi_{20,k}}_{x_{20}} + \underbrace{[E]}_{a_{22,21}} \cdot \underbrace{\Phi_{21,k}}_{x_{21}} + \underbrace{[B]}_{a_{22,22}} \cdot \underbrace{\Phi_{22,k}}_{x_{22}} + \underbrace{[C_1]}_{a_{22,23}} \cdot \underbrace{\Phi_{23,k}}_{x_{23}} + \underbrace{[D_1]}_{a_{22,24}} \cdot \underbrace{\Phi_{24,k}}_{x_{24}} \\ & = \underbrace{W1 \cdot i_{18,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{22,k-1} + P \cdot (\Phi_{21,k-1} + \Phi_{23,k-1})}_{s_{22}}. \end{aligned}$$

$$a_{22,20} = -D; a_{22,21} = E; a_{22,22} = B; a_{22,23} = C_1; a_{22,24} = D_1; a_{22,43} = -T; a_{22,44} = Y.$$

$$s_{22} = W1 \cdot x_{44,k-1} + Q \cdot x_{22,k-1} + P \cdot (x_{21,k-1} + x_{23,k-1}).$$

$$n = 23.$$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{23,44}} \cdot \underbrace{i_{18,k}^s}_{x_{44}} + \underbrace{[-D]}_{a_{23,21}} \cdot \underbrace{\Phi_{21,k}}_{x_{21}} + \underbrace{[E]}_{a_{23,22}} \cdot \underbrace{\Phi_{22,k}}_{x_{22}} + \underbrace{[B_1]}_{a_{23,23}} \cdot \underbrace{\Phi_{23,k}}_{x_{23}} + \underbrace{[C_2]}_{a_{23,24}} \cdot \underbrace{\Phi_{24,k}}_{x_{24}} + \underbrace{[D_2]}_{a_{23,25}} \cdot \underbrace{\Phi_{25,k}}_{x_{25}} \\ & = \underbrace{Q_1 \cdot \Phi_{23,k-1} + P \cdot (5 \cdot \Phi_{24,k-1} + \Phi_{22,k-1})}_{s_{23}}. \end{aligned}$$

$$a_{23,21} = -D; a_{23,22} = E; a_{23,23} = B_1; a_{23,24} = C_2; a_{23,25} = D_2; a_{23,44} = -T.$$

$$s_{23} = Q_1 \cdot x_{23,k-1} + P \cdot (5 \cdot x_{24,k-1} + x_{22,k-1}).$$

$$n = 24.$$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-D]}_{a_{24,22}} \cdot \underbrace{\Phi_{22,k}}_{x_{22}} + \underbrace{[E_1]}_{a_{24,23}} \cdot \underbrace{\Phi_{23,k}}_{x_{23}} + \underbrace{[B_2]}_{a_{24,24}} \cdot \underbrace{\Phi_{24,k}}_{x_{24}} + \underbrace{[C_3]}_{a_{24,25}} \cdot \underbrace{\Phi_{25,k}}_{x_{25}} + \underbrace{[D_3]}_{a_{24,26}} \cdot \underbrace{\Phi_{26,k}}_{x_{26}} \\ & = \underbrace{Q_2 \cdot \Phi_{24,k-1} + P \cdot (50 \cdot \Phi_{25,k-1} + 5 \cdot \Phi_{23,k-1})}_{s_{24}}. \end{aligned}$$

$$a_{24,22} = -D; a_{24,23} = E_1; a_{24,24} = B_2; a_{24,25} = C_3; a_{24,26} = D_3.$$

$$s_{24} = Q_2 \cdot x_{24,k-1} + P \cdot (50 \cdot x_{25,k-1} + 5 \cdot x_{23,k-1}).$$

$$n = 25.$$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-D_1]}_{a_{25,23}} \cdot \underbrace{\Phi_{23,k}}_{x_{23}} + \underbrace{[E_2]}_{a_{25,24}} \cdot \underbrace{\Phi_{24,k}}_{x_{24}} + \underbrace{[B_3]}_{a_{25,25}} \cdot \underbrace{\Phi_{25,k}}_{x_{25}} + \underbrace{[C_4]}_{a_{25,26}} \cdot \underbrace{\Phi_{26,k}}_{x_{26}} \\ & = \underbrace{Q_3 \cdot \Phi_{25,k-1} + P \cdot (500 \cdot \Phi_{26,k-1} + 50 \cdot \Phi_{24,k-1})}_{s_{25}}. \end{aligned}$$

$$a_{25,23} = -D_1; a_{25,24} = E_2; a_{25,25} = B_3; a_{25,26} = C_4.$$

$$s_{25} = Q_3 \cdot x_{25,k-1} + P \cdot (500 \cdot x_{26,k-1} + 50 \cdot x_{24,k-1}).$$

$$n = 26.$$

$$\underbrace{[-D_2]}_{a_{26,24}} \cdot \underbrace{\Phi_{24,k}}_{x_{24}} + \underbrace{[E_3]}_{a_{26,25}} \cdot \underbrace{\Phi_{25,k}}_{x_{25}} + \underbrace{[B_4]}_{a_{26,26}} \cdot \underbrace{\Phi_{26,k}}_{x_{26}} = \underbrace{Q_4 \cdot \Phi_{26,k-1} + P \cdot 500 \cdot \Phi_{25,k-1}}_{S_{26}}$$

$$a_{26,24} = -D_2; \quad a_{26,25} = E_3; \quad a_{26,26} = B_4.$$

$$S_{26} = Q_4 \cdot x_{26,k-1} + P \cdot 500 \cdot x_{25,k-1}.$$

Остальные элементы матрицы **A** ($n = 27, \dots, 44$) и соответствующие элементы матрицы-столбца **S** определяются из *баланса электрических напряжений обмоток статора* [2].

В данной работе принято управление напряжением обмотки каждого паза ($Z_1 = 18$), следовательно, необходимо задать восемнадцать напряжений. В качестве одного из вариантов примем синусоидальные напряжения со сдвигом на $\pi/9$:

$$\begin{aligned} u_1 &= U_m \cdot \cos(\omega t); & u_2 &= U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{9}\right); & u_3 &= U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{9}\right); \\ u_4 &= U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{3}\right); & u_5 &= U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{9}\right); & u_6 &= U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{5\pi}{9}\right); \\ u_7 &= U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right); & u_8 &= U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{7\pi}{9}\right); & u_9 &= U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{8\pi}{9}\right); \\ u_{10} &= U_m \cdot \cos(\omega t - \pi); & u_{11} &= U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{10\pi}{9}\right); & u_{12} &= U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{11\pi}{9}\right); \\ u_{13} &= U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right); & u_{14} &= U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{13\pi}{9}\right); & u_{15} &= U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{14\pi}{9}\right); \\ u_{16} &= U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{5\pi}{3}\right); & u_{17} &= U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{16\pi}{9}\right); & u_{18} &= U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{17\pi}{9}\right). \end{aligned}$$

Рассмотрим баланс напряжений для первой обмотки.

$$u_1 = \omega_n^s \cdot \frac{d\Phi_5}{dt} + r^s \cdot i_1^s + L^s \cdot \frac{di_1^s}{dt},$$

где ω_n^s — число витков пазы (обмотки);

r^s — сопротивление обмотки, проходящей через спинку ярма;

L^s — индуктивность обмотки первого пазы.

Выразим производные через конечные разности:

$$\frac{di_1^s}{dt} = \frac{i_{1,k}^s - i_{1,k-1}^s}{\Delta t}; \quad \frac{d\Phi_5}{dt} = \frac{\Phi_{5,k} - \Phi_{5,k-1}}{\Delta t}.$$

Тогда после подстановки получим:

$$u_{1,k} = \frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \Phi_{5,k} - \frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \Phi_{5,k-1} + r^s \cdot i_{1,k}^s + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot i_{1,k}^s - \frac{L^s}{\Delta t} \cdot i_{1,k-1}^s.$$

Преобразуем выражение к виду:

$$\left[\frac{\omega_n^s}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{5,k} + \left[r^s + \frac{L^s}{\Delta t} \right] \cdot i_{1,k}^s = \frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \Phi_{5,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot i_{1,k-1}^s + u_{1,k}.$$

Обозначим:

$$UA = \frac{\omega_n^s}{\Delta t}; \quad KS = r^s + \frac{L^s}{\Delta t}.$$

Тогда для элементов двадцать седьмой строки матрицы **A** и двадцать седьмого элемента матрицы-столбца **S** ($n = 27$):

$$\underbrace{[UA]}_{a_{27,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[KS]}_{a_{27,27}} \cdot \underbrace{i_{1,k}^s}_{x_{27}} = \underbrace{UA \cdot \Phi_{5,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot i_{1,k-1}^s}_{S_{27}} + u_{1,k}.$$

Отсюда элементы матрицы **A**: $a_{27,5} = UA$; $a_{27,27} = KS$.

Двадцать седьмой элемент s_{27} матрицы-столбца \mathbf{S} :

$$s_{27} = UA \cdot x_{5,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{27,k-1} + u_{1,k}.$$

Аналогично для $n = 28, \dots, 44$ запишем:

$$n = 28. \quad \underbrace{[UA]}_{a_{28,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[KS]}_{a_{28,28}} \cdot \underbrace{i_{2,k}^s}_{x_{28}} = \underbrace{UA \cdot \overbrace{\Phi_{6,k-1}}^{x_6} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot \overbrace{i_{2,k-1}^s}^{x_{28}} + u_{2,k}}_{s_{28}}.$$

$$a_{28,6} = UA; \quad a_{28,28} = KS; \quad s_{28} = UA \cdot x_{6,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{28,k-1} + u_{2,k}.$$

$$n = 29. \quad \underbrace{[UA]}_{a_{29,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} + \underbrace{[KS]}_{a_{29,29}} \cdot \underbrace{i_{3,k}^s}_{x_{29}} = \underbrace{UA \cdot \overbrace{\Phi_{7,k-1}}^{x_7} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot \overbrace{i_{3,k-1}^s}^{x_{29}} + u_{3,k}}_{s_{29}}.$$

$$a_{29,7} = UA; \quad a_{29,29} = KS; \quad s_{29} = UA \cdot x_{7,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{29,k-1} + u_{3,k}.$$

$$n = 30. \quad \underbrace{[UA]}_{a_{30,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \underbrace{[KS]}_{a_{30,30}} \cdot \underbrace{i_{4,k}^s}_{x_{30}} = \underbrace{UA \cdot \overbrace{\Phi_{8,k-1}}^{x_8} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot \overbrace{i_{4,k-1}^s}^{x_{30}} + u_{4,k}}_{s_{30}}.$$

$$a_{30,8} = UA; \quad a_{30,30} = KS; \quad s_{30} = UA \cdot x_{8,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{30,k-1} + u_{4,k}.$$

$$n = 31. \quad \underbrace{[UA]}_{a_{31,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} + \underbrace{[KS]}_{a_{31,31}} \cdot \underbrace{i_{5,k}^s}_{x_{31}} = \underbrace{UA \cdot \overbrace{\Phi_{9,k-1}}^{x_9} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot \overbrace{i_{5,k-1}^s}^{x_{31}} + u_{5,k}}_{s_{31}}.$$

$$a_{31,9} = UA; \quad a_{31,31} = KS; \quad s_{31} = UA \cdot x_{9,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{31,k-1} + u_{5,k}.$$

$$n = 32. \quad \underbrace{[UA]}_{a_{32,10}} \cdot \underbrace{\Phi_{10,k}}_{x_{10}} + \underbrace{[KS]}_{a_{32,32}} \cdot \underbrace{i_{6,k}^s}_{x_{32}} = \underbrace{UA \cdot \overbrace{\Phi_{10,k-1}}^{x_{10}} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot \overbrace{i_{6,k-1}^s}^{x_{32}} + u_{6,k}}_{s_{32}}.$$

$$a_{32,10} = UA; \quad a_{32,32} = KS; \quad s_{32} = UA \cdot x_{10,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{32,k-1} + u_{6,k}.$$

$$n = 33. \quad \underbrace{[UA]}_{a_{33,11}} \cdot \underbrace{\Phi_{11,k}}_{x_{11}} + \underbrace{[KS]}_{a_{33,33}} \cdot \underbrace{i_{7,k}^s}_{x_{33}} = \underbrace{UA \cdot \overbrace{\Phi_{11,k-1}}^{x_{11}} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot \overbrace{i_{7,k-1}^s}^{x_{33}} + u_{7,k}}_{s_{33}}.$$

$$a_{33,11} = UA; \quad a_{33,33} = KS; \quad s_{33} = UA \cdot x_{11,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{33,k-1} + u_{7,k}.$$

$$n = 34. \quad \underbrace{[UA]}_{a_{34,12}} \cdot \underbrace{\Phi_{12,k}}_{x_{12}} + \underbrace{[KS]}_{a_{34,34}} \cdot \underbrace{i_{8,k}^s}_{x_{34}} = \underbrace{UA \cdot \overbrace{\Phi_{12,k-1}}^{x_{12}} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot \overbrace{i_{8,k-1}^s}^{x_{34}} + u_{8,k}}_{s_{34}}.$$

$$a_{34,12} = UA; \quad a_{34,34} = KS; \quad s_{34} = UA \cdot x_{12,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{34,k-1} + u_{8,k}.$$

$$n = 35. \quad \underbrace{\left[\frac{UA}{a_{35,13}} \right]}_{a_{35,13}} \cdot \underbrace{\Phi_{13,k}}_{x_{13}} + \underbrace{\left[\frac{KS}{a_{35,35}} \right]}_{a_{35,35}} \cdot \underbrace{i_{9,k}^s}_{x_{35}} = \underbrace{UA \cdot \overbrace{\Phi_{13,k-1}}^{x_{13}} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot \overbrace{i_{9,k-1}^s}^{x_{35}}}_{s_{35}} + u_{9,k}.$$

$$a_{35,13} = UA; \quad a_{35,35} = KS; \quad s_{35} = UA \cdot x_{13,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{35,k-1} + u_{9,k}.$$

$$n = 36. \quad \underbrace{\left[\frac{UA}{a_{36,14}} \right]}_{a_{36,14}} \cdot \underbrace{\Phi_{14,k}}_{x_{14}} + \underbrace{\left[\frac{KS}{a_{36,36}} \right]}_{a_{36,36}} \cdot \underbrace{i_{10,k}^s}_{x_{36}} = \underbrace{UA \cdot \overbrace{\Phi_{14,k-1}}^{x_{14}} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot \overbrace{i_{10,k-1}^s}^{x_{36}}}_{s_{36}} + u_{10,k}.$$

$$a_{36,14} = UA; \quad a_{36,36} = KS; \quad s_{36} = UA \cdot x_{14,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{36,k-1} + u_{10,k}.$$

$$n = 37. \quad \underbrace{\left[\frac{UA}{a_{37,15}} \right]}_{a_{37,15}} \cdot \underbrace{\Phi_{15,k}}_{x_{15}} + \underbrace{\left[\frac{KS}{a_{37,37}} \right]}_{a_{37,37}} \cdot \underbrace{i_{11,k}^s}_{x_{37}} = \underbrace{UA \cdot \overbrace{\Phi_{15,k-1}}^{x_{15}} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot \overbrace{i_{11,k-1}^s}^{x_{37}}}_{s_{37}} + u_{11,k}.$$

$$a_{37,15} = UA; \quad a_{37,37} = KS; \quad s_{37} = UA \cdot x_{15,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{37,k-1} + u_{11,k}.$$

$$n = 38. \quad \underbrace{\left[\frac{UA}{a_{38,16}} \right]}_{a_{38,16}} \cdot \underbrace{\Phi_{16,k}}_{x_{16}} + \underbrace{\left[\frac{KS}{a_{38,38}} \right]}_{a_{38,38}} \cdot \underbrace{i_{12,k}^s}_{x_{38}} = \underbrace{UA \cdot \overbrace{\Phi_{16,k-1}}^{x_{16}} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot \overbrace{i_{12,k-1}^s}^{x_{38}}}_{s_{38}} + u_{12,k}.$$

$$a_{38,16} = UA; \quad a_{38,38} = KS; \quad s_{38} = UA \cdot x_{16,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{38,k-1} + u_{12,k}.$$

$$n = 39. \quad \underbrace{\left[\frac{UA}{a_{39,17}} \right]}_{a_{39,17}} \cdot \underbrace{\Phi_{17,k}}_{x_{17}} + \underbrace{\left[\frac{KS}{a_{39,39}} \right]}_{a_{39,39}} \cdot \underbrace{i_{13,k}^s}_{x_{39}} = \underbrace{UA \cdot \overbrace{\Phi_{17,k-1}}^{x_{17}} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot \overbrace{i_{13,k-1}^s}^{x_{39}}}_{s_{39}} + u_{13,k}.$$

$$a_{39,17} = UA; \quad a_{39,39} = KS; \quad s_{39} = UA \cdot x_{17,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{39,k-1} + u_{13,k}.$$

$$n = 40. \quad \underbrace{\left[\frac{UA}{a_{40,18}} \right]}_{a_{40,18}} \cdot \underbrace{\Phi_{18,k}}_{x_{18}} + \underbrace{\left[\frac{KS}{a_{40,40}} \right]}_{a_{40,40}} \cdot \underbrace{i_{14,k}^s}_{x_{40}} = \underbrace{UA \cdot \overbrace{\Phi_{18,k-1}}^{x_{18}} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot \overbrace{i_{14,k-1}^s}^{x_{40}}}_{s_{40}} + u_{14,k}.$$

$$a_{40,18} = UA; \quad a_{40,40} = KS; \quad s_{40} = UA \cdot x_{18,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{40,k-1} + u_{14,k}.$$

$$n = 41. \quad \underbrace{\left[\frac{UA}{a_{41,19}} \right]}_{a_{41,19}} \cdot \underbrace{\Phi_{19,k}}_{x_{19}} + \underbrace{\left[\frac{KS}{a_{41,41}} \right]}_{a_{41,41}} \cdot \underbrace{i_{15,k}^s}_{x_{41}} = \underbrace{UA \cdot \overbrace{\Phi_{19,k-1}}^{x_{19}} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot \overbrace{i_{15,k-1}^s}^{x_{41}}}_{s_{41}} + u_{15,k}.$$

$$a_{41,19} = UA; \quad a_{41,41} = KS; \quad s_{41} = UA \cdot x_{19,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{41,k-1} + u_{15,k}.$$

$$n = 42. \quad \underbrace{\left[\frac{UA}{a_{42,20}} \right]}_{a_{42,20}} \cdot \underbrace{\Phi_{20,k}}_{x_{20}} + \underbrace{\left[\frac{KS}{a_{42,42}} \right]}_{a_{42,42}} \cdot \underbrace{i_{16,k}^s}_{x_{42}} = \underbrace{UA \cdot \overbrace{\Phi_{20,k-1}}^{x_{20}} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot \overbrace{i_{16,k-1}^s}^{x_{42}}}_{s_{42}} + u_{16,k}.$$

$$a_{42,20} = UA; \quad a_{42,42} = KS; \quad s_{42} = UA \cdot x_{20,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{42,k-1} + u_{16,k}.$$

$$n = 43. \quad \underbrace{\left[\frac{UA}{a_{43,21}} \cdot \frac{\Phi_{21,k}}{x_{21}} + \frac{KS}{a_{43,43}} \cdot \frac{i_{17,k}^s}{x_{43}} \right]}_{s_{43}} = \underbrace{UA \cdot \frac{x_{21}}{\Phi_{21,k-1}} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot \frac{x_{43}}{i_{17,k-1}^s}}_{s_{43}} + u_{17,k}.$$

$$a_{43,21} = UA; \quad a_{43,43} = KS; \quad s_{43} = UA \cdot x_{21,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{43,k-1} + u_{17,k}.$$

$$n = 44. \quad \underbrace{\left[\frac{UA}{a_{44,22}} \cdot \frac{\Phi_{22,k}}{x_{22}} + \frac{KS}{a_{44,44}} \cdot \frac{i_{18,k}^s}{x_{44}} \right]}_{s_{44}} = \underbrace{UA \cdot \frac{x_{22}}{\Phi_{22,k-1}} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot \frac{x_{44}}{i_{18,k-1}^s}}_{s_{44}} + u_{18,k}.$$

$$a_{44,22} = UA; \quad a_{44,44} = KS; \quad s_{44} = UA \cdot x_{22,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot x_{44,k-1} + u_{18,k}.$$

Окончательно, матрица **A** примет следующий вид, удобный для программирования в MATLAB (рис. 4).

Неизвестные переменные (потоки и токи в статорной обмотке) в *k*-й момент времени определяются в результате следующей операции с матрицами:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{S},$$

Далее, подставляя в уравнение (1) $n = 1 \dots 26$, определяем токи в роторе:

$$i_1^r = 1000 \cdot R_\delta \cdot \frac{\Phi_1}{x_1} - R_\delta \cdot (0 + 500 \cdot \frac{\Phi_2}{x_2});$$

$$i_2^r = 550 \cdot R_\delta \cdot x_2 - R_\delta \cdot (500 \cdot x_1 + 50 \cdot x_3);$$

$$i_3^r = 55 \cdot R_\delta \cdot x_3 - R_\delta \cdot (50 \cdot x_2 + 5 \cdot x_4);$$

$$i_4^r = 6 \cdot R_\delta \cdot x_4 - R_\delta \cdot (5 \cdot x_3 + x_5);$$

$$i_5^r = -\omega_n^s \cdot \frac{i_1^s}{x_{27}} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_5 - R_\delta \cdot (x_4 + x_6);$$

$$i_6^r = -\omega_n^s \cdot x_{28} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_6 - R_\delta \cdot (x_5 + x_7);$$

$$i_7^r = -\omega_n^s \cdot x_{29} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_7 - R_\delta \cdot (x_6 + x_8);$$

$$i_8^r = -\omega_n^s \cdot x_{30} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_8 - R_\delta \cdot (x_7 + x_9);$$

$$i_9^r = -\omega_n^s \cdot x_{31} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_9 - R_\delta \cdot (x_8 + x_{10});$$

$$i_{10}^r = -\omega_n^s \cdot x_{32} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{10} - R_\delta \cdot (x_9 + x_{11});$$

$$i_{11}^r = -\omega_n^s \cdot x_{33} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{11} - R_\delta \cdot (x_{10} + x_{12});$$

$$i_{12}^r = -\omega_n^s \cdot x_{34} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{12} - R_\delta \cdot (x_{11} + x_{13});$$

$$i_{13}^r = -\omega_n^s \cdot x_{35} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{13} - R_\delta \cdot (x_{12} + x_{14});$$

$$i_{14}^r = -\omega_n^s \cdot x_{36} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{14} - R_\delta \cdot (x_{13} + x_{15});$$

$$i_{15}^r = -\omega_n^s \cdot x_{37} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{15} - R_\delta \cdot (x_{14} + x_{16});$$

$$i_{16}^r = -\omega_n^s \cdot x_{38} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{16} - R_\delta \cdot (x_{15} + x_{17});$$

$$i_{17}^r = -\omega_n^s \cdot x_{39} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{17} - R_\delta \cdot (x_{16} + x_{18});$$

$$i_{18}^r = -\omega_n^s \cdot x_{40} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{18} - R_\delta \cdot (x_{17} + x_{19});$$

$$i_{19}^r = -\omega_n^s \cdot x_{41} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{19} - R_\delta \cdot (x_{18} + x_{20});$$

$$i_{20}^r = -\omega_n^s \cdot x_{42} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{20} - R_\delta \cdot (x_{19} + x_{21});$$

$$i_{21}^r = -\omega_n^s \cdot x_{43} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{21} - R_\delta \cdot (x_{20} + x_{22});$$

$$i_{22}^r = -\omega_n^s \cdot x_{44} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{22} - R_\delta \cdot (x_{21} + x_{23});$$

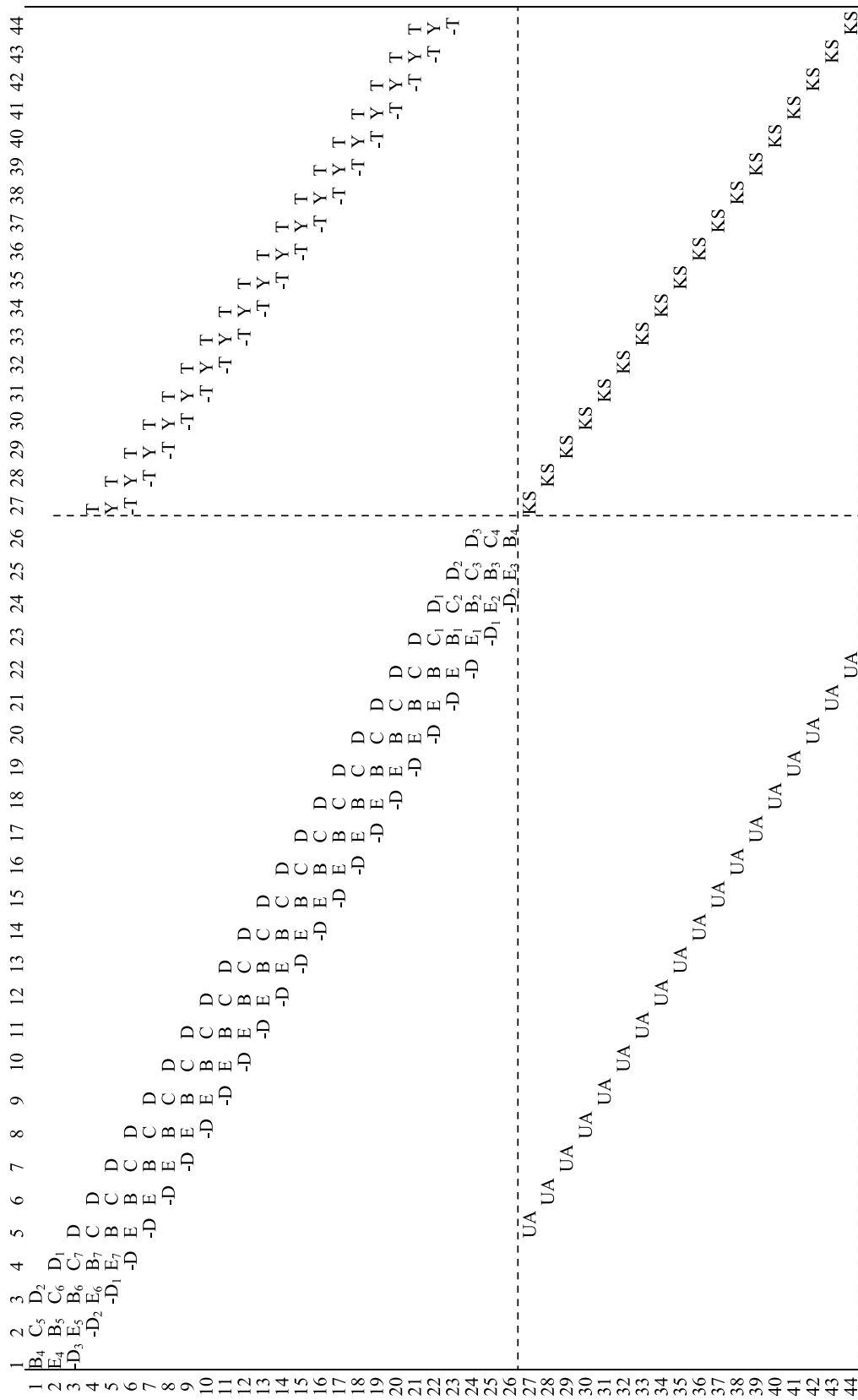


Рис. 4

$$i_{23}^r = 6 \cdot R_\delta \cdot x_{23} - R_\delta \cdot (x_{22} + 5 \cdot x_{24});$$

$$i_{24}^r = 55 \cdot R_\delta \cdot x_{24} - R_\delta \cdot (5 \cdot x_{23} + 50 \cdot x_{25});$$

$$i_{25}^r = 550 \cdot R_\delta \cdot x_{25} - R_\delta \cdot (50 \cdot x_{24} + 500 \cdot x_{26});$$

$$i_{26}^r = 1000 \cdot R_\delta \cdot x_{26} - R_\delta \cdot (500 \cdot x_{25} + 0).$$

Электромагнитные усилия на зубцовом делении определяются по следующим формулам:

$$F_1 = \frac{x_2 - x_1}{2t_z} \cdot i_1^r; \quad F_2 = \frac{x_3 - x_1}{2t_z} \cdot i_2^r; \quad F_3 = \frac{x_4 - x_2}{2t_z} \cdot i_3^r; \quad F_4 = \frac{x_5 - x_3}{2t_z} \cdot i_4^r;$$

$$F_5 = \frac{x_6 - x_4}{2t_z} \cdot i_5^r; \quad F_6 = \frac{x_7 - x_5}{2t_z} \cdot i_6^r; \quad F_7 = \frac{x_8 - x_6}{2t_z} \cdot i_7^r; \quad F_8 = \frac{x_9 - x_7}{2t_z} \cdot i_8^r;$$

$$F_9 = \frac{x_{10} - x_8}{2t_z} \cdot i_9^r; \quad F_{10} = \frac{x_{11} - x_9}{2t_z} \cdot i_{10}^r; \quad F_{11} = \frac{x_{12} - x_{10}}{2t_z} \cdot i_{11}^r; \quad F_{12} = \frac{x_{13} - x_{11}}{2t_z} \cdot i_{12}^r;$$

$$F_{13} = \frac{x_{14} - x_{12}}{2t_z} \cdot i_{13}^r; \quad F_{14} = \frac{x_{15} - x_{13}}{2t_z} \cdot i_{14}^r; \quad F_{15} = \frac{x_{16} - x_{14}}{2t_z} \cdot i_{15}^r; \quad F_{16} = \frac{x_{17} - x_{15}}{2t_z} \cdot i_{16}^r;$$

$$F_{17} = \frac{x_{18} - x_{16}}{2t_z} \cdot i_{17}^r; \quad F_{18} = \frac{x_{19} - x_{17}}{2t_z} \cdot i_{18}^r; \quad F_{19} = \frac{x_{20} - x_{18}}{2t_z} \cdot i_{19}^r; \quad F_{20} = \frac{x_{21} - x_{19}}{2t_z} \cdot i_{20}^r;$$

$$F_{21} = \frac{x_{22} - x_{20}}{2t_z} \cdot i_{21}^r; \quad F_{22} = \frac{x_{23} - x_{21}}{2t_z} \cdot i_{22}^r; \quad F_{23} = \frac{x_{24} - x_{22}}{2t_z} \cdot i_{23}^r; \quad F_{24} = \frac{x_{25} - x_{23}}{2t_z} \cdot i_{24}^r;$$

$$F_{25} = \frac{x_{26} - x_{24}}{2t_z} \cdot i_{25}^r; \quad F_{26} = \frac{-x_{25}}{2t_z} \cdot i_{26}^r.$$

Суммарное усилие: $F_\Sigma = \sum_{n=1}^{26} F_n$.

Скорость в k -й момент времени: $v_k = v_{k-1} + \frac{F_\Sigma}{m} \cdot \Delta t$.

Произведем построение математической модели асинхронного двигателя методом Гаусса-Жордана с использованием языка программирования MATLAB. Ниже приведен пример кода.

```
% Математическая модель ЛАД с укладкой статорной обмотки через спинку
% ярма (Z1=18) с помощью магнитных схем замещения
function LAD_Z1_18_spin
% Начальные условия
Rb=(0.1003*10^7)*1;
rs=5;
Ls=0.02;
rr=2.3*10^-5;
Lr=0.06*10^-5;
dt=0.001;
tz=9.769*10^-3;
m=3.8;
v0=0;
wn=200;
f=50;
w=2*pi*f;
UA=wn/dt;
Um=310/3;
X=zeros(44,1);
F=0;
K=input('длительность цикла k=');
```

```

for k=1:(K+1)
    v(1,k)=v0;          % создание вектора-строки для графика скорости
    f(1,k)=sum(F);     % создание вектора-строки для графика усилия

    U(1)=Um*cos(w*(k-1)*dt);
    U(2)=Um*cos(w*(k-1)*dt-pi/9);
    U(3)=Um*cos(w*(k-1)*dt-2*pi/9);
    U(4)=Um*cos(w*(k-1)*dt-pi/3);
    U(5)=Um*cos(w*(k-1)*dt-4*pi/9);
    U(6)=Um*cos(w*(k-1)*dt-5*pi/9);
    U(7)=Um*cos(w*(k-1)*dt-2*pi/3);
    U(8)=Um*cos(w*(k-1)*dt-7*pi/9);
    U(9)=Um*cos(w*(k-1)*dt-8*pi/9);
    U(10)=Um*cos(w*(k-1)*dt-pi);
    U(11)=Um*cos(w*(k-1)*dt-10*pi/9);
    U(12)=Um*cos(w*(k-1)*dt-11*pi/9);
    U(13)=Um*cos(w*(k-1)*dt-4*pi/3);
    U(14)=Um*cos(w*(k-1)*dt-13*pi/9);
    U(15)=Um*cos(w*(k-1)*dt-14*pi/9);
    U(16)=Um*cos(w*(k-1)*dt-5*pi/3);
    U(17)=Um*cos(w*(k-1)*dt-16*pi/9);
    U(18)=Um*cos(w*(k-1)*dt-17*pi/9);

    i_1(1,k)=X(27);
    i_7(1,k)=X(33);
    i_13(1,k)=X(39);

% Формирование матрицы сопротивлений
R=zeros(27,1);
R(1,1)=500*Rb;
R(2,1)=500*Rb;
R(3,1)=50*Rb;
R(4,1)=5*Rb;
for i=5:23
    R(i,1)=Rb;
end;
R(24,1)=5*Rb;
R(25,1)=50*Rb;
R(26,1)=500*Rb;
R(27,1)=500*Rb;

% Формирование матрицы A
A=zeros(44);

B=2*Rb*(rr+Lr/dt)+1/dt;
B1=6*Rb*(rr+Lr/dt)+(-4*Rb)*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
B2=55*Rb*(rr+Lr/dt)+(-45*Rb)*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
B3=550*Rb*(rr+Lr/dt)+(-450*Rb)*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
B4=1000*Rb*(rr+Lr/dt)+1/dt;
B5=550*Rb*(rr+Lr/dt)+450*Rb*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
B6=55*Rb*(rr+Lr/dt)+(45*Rb)*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
B7=6*Rb*(rr+Lr/dt)+(4*Rb)*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;

C=-Rb*(rr+Lr/dt)+(2*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
C1=-Rb*(rr+Lr/dt)+(6*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
C2=-5*Rb*(rr+Lr/dt)+(55*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);

```

```
C3=-50*Rb*(rr+Lr/dt)+(550*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
C4=-500*Rb*(rr+Lr/dt)+(1000*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
C5=-500*Rb*(rr+Lr/dt)+(550*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
C6=-50*Rb*(rr+Lr/dt)+(55*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
C7=-5*Rb*(rr+Lr/dt)+(6*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
```

```
D=-Rb*Lr*v0/(2*tz);
D1=5*D;
D2=50*D;
D3=500*D;
```

```
E=-Rb*(rr+Lr/dt)-(2*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
E1=-5*Rb*(rr+Lr/dt)-(6*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
E2=-50*Rb*(rr+Lr/dt)-(55*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
E3=-500*Rb*(rr+Lr/dt)-(550*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
E4=-500*Rb*(rr+Lr/dt)-(1000*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
E5=-50*Rb*(rr+Lr/dt)-(550*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
E6=-5*Rb*(rr+Lr/dt)-(55*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
E7=-Rb*(rr+Lr/dt)-(6*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
```

```
T=-wn*Lr*v0/(2*tz);
Y=-wn*(rr+Lr/dt);
```

```
W1=-wn*Lr/dt;
P=-Rb*Lr/dt;
Q=(2*Rb*Lr+1)/dt;
KS=rs+Ls/dt;
```

```
Q1=(6*Rb*Lr+1)/dt;
Q2=(55*Rb*Lr+1)/dt;
Q3=(550*Rb*Lr+1)/dt;
Q4=(1000*Rb*Lr+1)/dt;
```

```
for n=1:18
    A(n+4,n+4)=B;
    A(n+5,n+4)=E;
    A(n+3,n+4)=C;
    A(n+3,n+26)=T;
    A(n+4,n+26)=Y;
    A(n+5,n+26)=-T;
    A(n+26,n+4)=UA;
    A(n+26,n+26)=KS;
end;
```

```
for n=1:19
    A(n+2,n+4)=D;
    A(n+5,n+3)=-D;
end;
```

```
A(1,1)=B4;
A(1,2)=C5;
A(1,3)=D2;
A(2,1)=E4;
A(2,2)=B5;
A(2,3)=C6;
A(2,4)=D1;
```

$A(3,1)=-D3;$
 $A(3,2)=E5;$
 $A(3,3)=B6;$
 $A(3,4)=C7;$
 $A(4,2)=-D2;$
 $A(4,3)=E6;$
 $A(4,4)=B7;$
 $A(5,3)=-D1;$
 $A(5,4)=E7;$
 $A(22,23)=C1;$
 $A(22,24)=D1;$
 $A(23,23)=B1;$
 $A(23,24)=C2;$
 $A(23,25)=D2;$
 $A(24,23)=E1;$
 $A(24,24)=B2;$
 $A(24,25)=C3;$
 $A(24,26)=D3;$
 $A(25,23)=-D1;$
 $A(25,24)=E2;$
 $A(25,25)=B3;$
 $A(25,26)=C4;$
 $A(26,24)=-D2;$
 $A(26,25)=E3;$
 $A(26,26)=B4;$

% Матрица свободных членов

```

S=[      Q4*X(1)+P*(      500*X(2));           %1
      Q3*X(2)+P*(500*X(1)+50*X(3));           %2
      Q2*X(3)+P*(50*X(2)+5*X(4));             %3
      Q1*X(4)+P*(5*X(3)+X(5));               %4
      W1*X(27)+Q*X(5)+P*(X(4)+X(6));          %5
      W1*X(28)+Q*X(6)+P*(X(5)+X(7));          %6
      W1*X(29)+Q*X(7)+P*(X(6)+X(8));          %7
      W1*X(30)+Q*X(8)+P*(X(7)+X(9));          %8
      W1*X(31)+Q*X(9)+P*(X(8)+X(10));         %9
      W1*X(32)+Q*X(10)+P*(X(9)+X(11));        %10
      W1*X(33)+Q*X(11)+P*(X(10)+X(12));       %11
      W1*X(34)+Q*X(12)+P*(X(11)+X(13));       %12
      W1*X(35)+Q*X(13)+P*(X(12)+X(14));       %13
      W1*X(36)+Q*X(14)+P*(X(13)+X(15));       %14
      W1*X(37)+Q*X(15)+P*(X(14)+X(16));       %15
      W1*X(38)+Q*X(16)+P*(X(15)+X(17));       %16
      W1*X(39)+Q*X(17)+P*(X(16)+X(18));       %17
      W1*X(40)+Q*X(18)+P*(X(17)+X(19));       %18
      W1*X(41)+Q*X(19)+P*(X(18)+X(20));       %19
      W1*X(42)+Q*X(20)+P*(X(19)+X(21));       %20
      W1*X(43)+Q*X(21)+P*(X(20)+X(22));       %21
      W1*X(44)+Q*X(22)+P*(X(21)+X(23));       %22
      Q1*X(23)+P*(X(22)+5*X(24));             %23
      Q2*X(24)+P*(5*X(23)+50*X(25));          %24
      Q3*X(25)+P*(50*X(24)+500*X(26));        %25
      Q4*X(26)+P*500*X(25);                   %26
      UA*X(5)+Ls/dt*X(27)+U(1);                %27
      UA*X(6)+Ls/dt*X(28)+U(2);                %28
      UA*X(7)+Ls/dt*X(29)+U(3);                %29

```

```

UA*X(8)+Ls/dt*X(30)+U(4); %30
UA*X(9)+Ls/dt*X(31)+U(5); %31
UA*X(10)+Ls/dt*X(32)+U(6); %32
UA*X(11)+Ls/dt*X(33)+U(7); %33
UA*X(12)+Ls/dt*X(34)+U(8); %34
UA*X(13)+Ls/dt*X(35)+U(9); %35
UA*X(14)+Ls/dt*X(36)+U(10); %36
UA*X(15)+Ls/dt*X(37)+U(11); %37
UA*X(16)+Ls/dt*X(38)+U(12); %38
UA*X(17)+Ls/dt*X(39)+U(13); %39
UA*X(18)+Ls/dt*X(40)+U(14); %40
UA*X(19)+Ls/dt*X(41)+U(15); %41
UA*X(20)+Ls/dt*X(42)+U(16); %42
UA*X(21)+Ls/dt*X(43)+U(17); %43
UA*X(22)+Ls/dt*X(44)+U(18)]; %44

```

% Решение методом Гаусса-Жордана

```

Z=rref([A S]); % Приведение расширенной матрицы к треугольному виду
X=Z(1:44,45:45); % Выделение последнего столбца из матрицы

```

% Ток в роторе

```

Ir=[ 1000*Rb*X(1)- Rb*( 500*X(2)); %1
      550*Rb*X(2)- Rb*(500*X(1)+50*X(3)); %2
      55*Rb*X(3)- Rb*(50*X(2)+5*X(4)); %3
      6*Rb*X(4)- Rb*(5*X(3)+X(5)); %4
      -wn*X(27)+2*Rb*X(5)- Rb*(X(4)+X(6)); %5
      -wn*X(28)+2*Rb*X(6)- Rb*(X(5)+X(7)); %6
      -wn*X(29)+2*Rb*X(7)- Rb*(X(6)+X(8)); %7
      -wn*X(30)+2*Rb*X(8)- Rb*(X(7)+X(9)); %8
      -wn*X(31)+2*Rb*X(9)- Rb*(X(8)+X(10)); %9
      -wn*X(32)+2*Rb*X(10)-Rb*(X(9)+X(11)); %10
      -wn*X(33)+2*Rb*X(11)-Rb*(X(10)+X(12)); %11
      -wn*X(34)+2*Rb*X(12)-Rb*(X(11)+X(13)); %12
      -wn*X(35)+2*Rb*X(13)-Rb*(X(12)+X(14)); %13
      -wn*X(36)+2*Rb*X(14)-Rb*(X(13)+X(15)); %14
      -wn*X(37)+2*Rb*X(15)-Rb*(X(14)+X(16)); %15
      -wn*X(38)+2*Rb*X(16)-Rb*(X(15)+X(17)); %16
      -wn*X(39)+2*Rb*X(17)-Rb*(X(16)+X(18)); %17
      -wn*X(40)+2*Rb*X(18)-Rb*(X(17)+X(19)); %18
      -wn*X(41)+2*Rb*X(19)-Rb*(X(18)+X(20)); %19
      -wn*X(42)+2*Rb*X(20)-Rb*(X(19)+X(21)); %20
      -wn*X(43)+2*Rb*X(21)-Rb*(X(20)+X(22)); %21
      -wn*X(44)+2*Rb*X(22)-Rb*(X(21)+X(23)); %22
      6*Rb*X(23)-Rb*(X(22)+5*X(24)); %23
      55*Rb*X(24)-Rb*(5*X(23)+50*X(25)); %24
      550*Rb*X(25)-Rb*(50*X(24)+500*X(26)); %25
      1000*Rb*X(26)-Rb*(500*X(25))]; %26

```

% Электромагнитное усилие

```

F(1)=X(2)*Ir(1)/(2*tz);
for n=1:24
    F(n+1)=(X(n+2)-X(n))*Ir(n+1)/(2*tz);
end;
F(26)=-X(25)*Ir(26)/(2*tz);

```

% Скорость

```
v0=v0+(sum(F)/m)*dt;  
end;  
  
% Построение графиков  
k=0:K;  
subplot(2,1,1);  
plot(k*dt,v);  
title('скорость');  
xlabel('t,c');  
ylabel('v,m/c');  
grid on;  
subplot(2,1,2);  
plot(k*dt,f);  
title('Электромагнитное усилие');  
xlabel('t,c');  
ylabel('F,H');  
grid on;  
end
```

Временные зависимости скорости и электромагнитного усилия линейного асинхронного двигателя в режиме прямого пуска, полученные на математической модели, представлены на рис. 5.

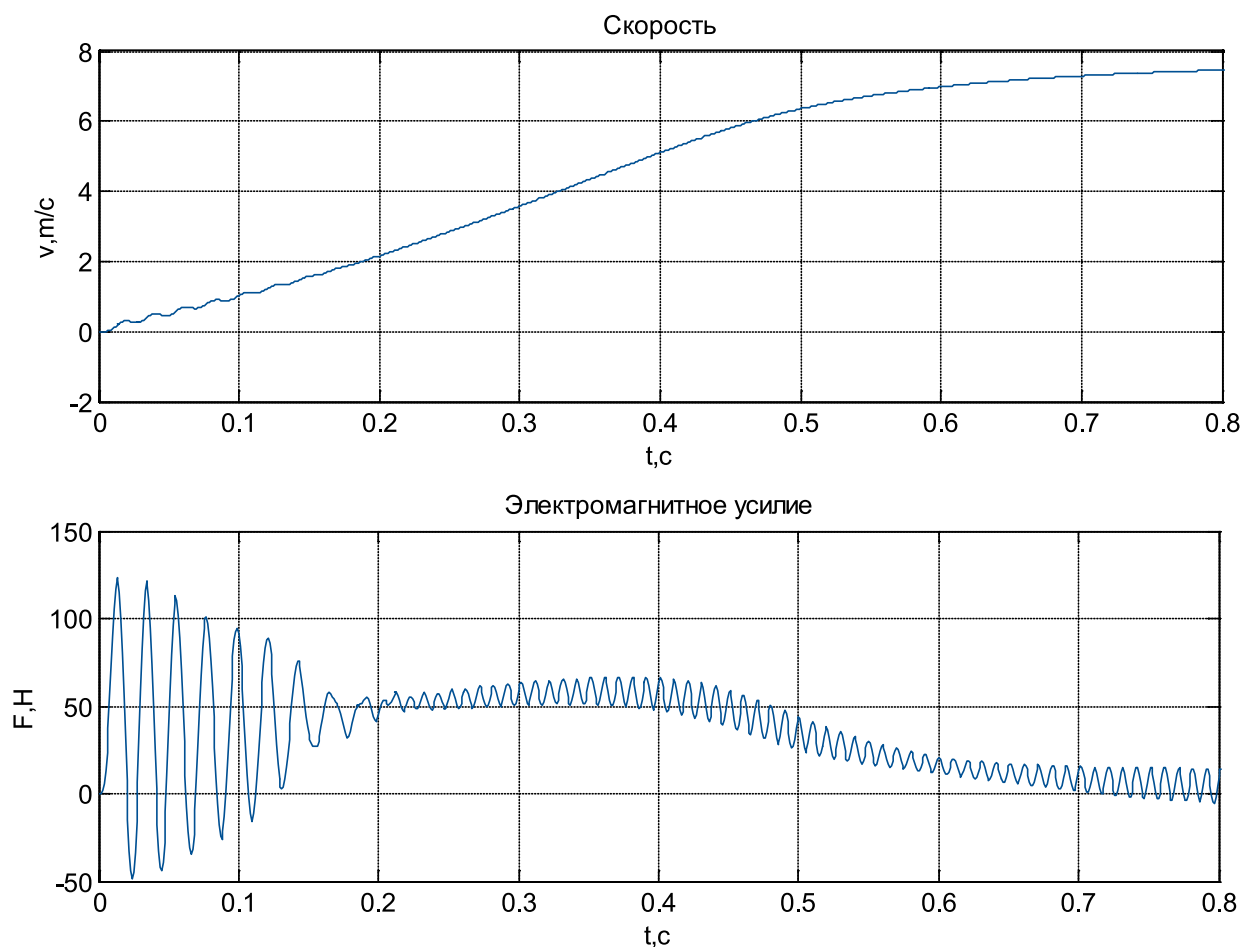


Рис. 5. Результат моделирования линейного асинхронного двигателя в режиме прямого пуска

Зависимости токов даны на рис. 6 и 7.

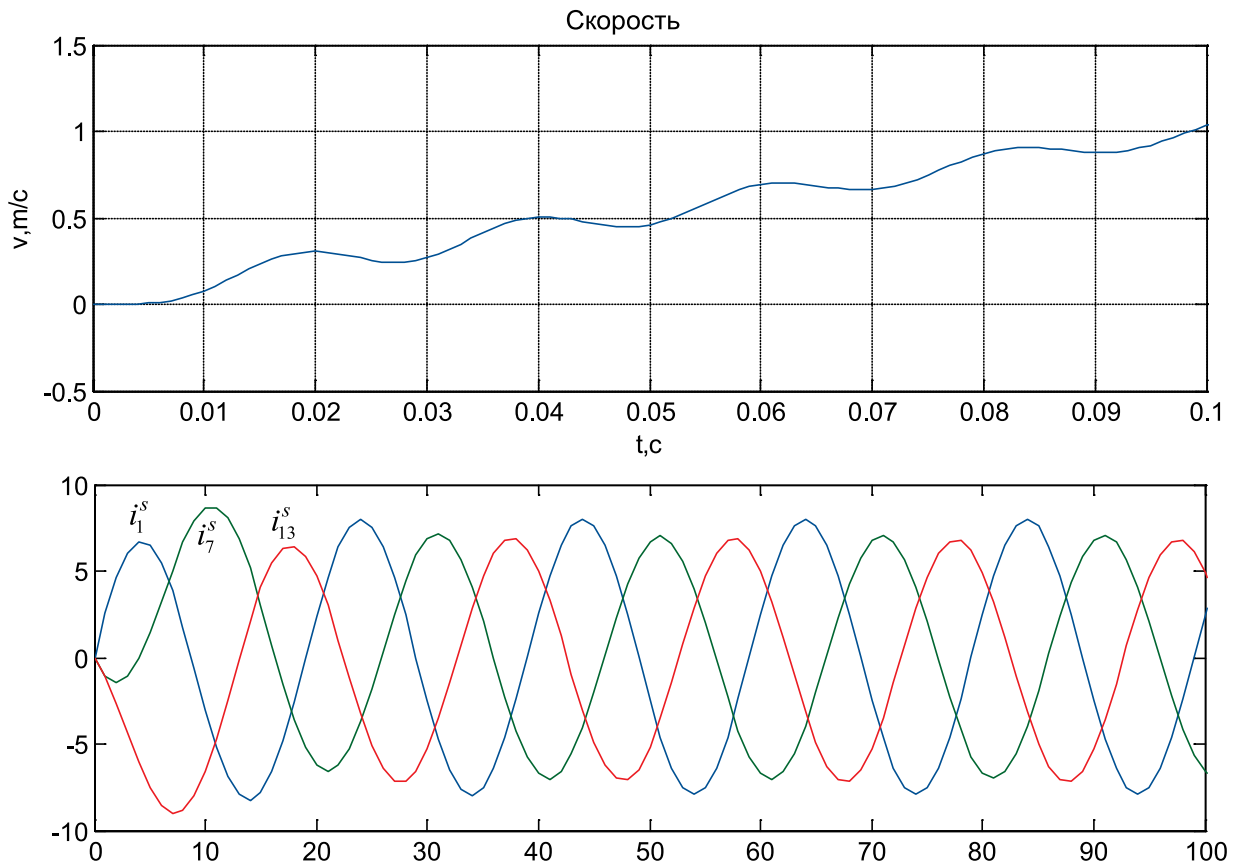


Рис. 6. Временные зависимости i_1^s , i_7^s и i_{13}^s при $k = 100$

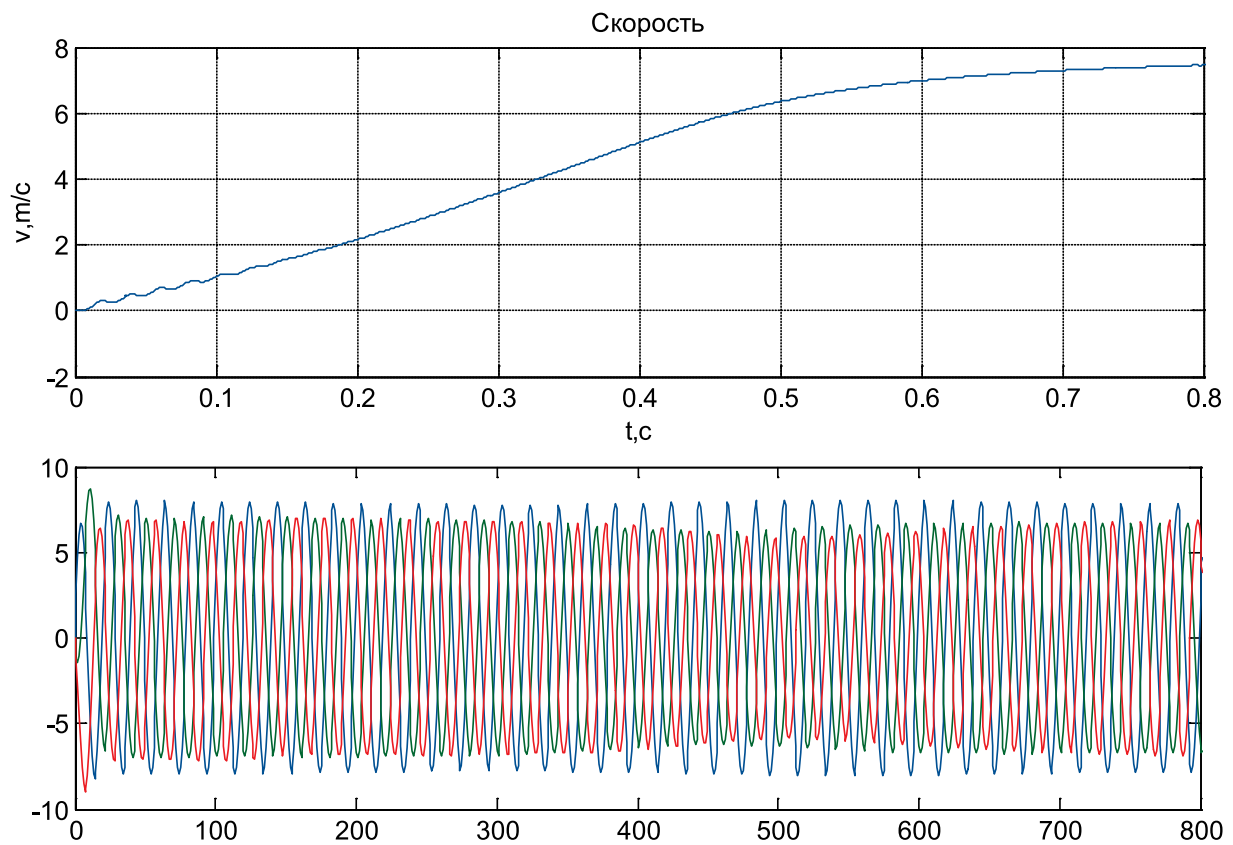


Рис. 7. Временные зависимости i_1^s , i_7^s и i_{13}^s при $k = 800$

Литература:

1. Емельянов, А. А., Богатов Е. А., Клишин А. В., Медведев А. В., Симонович В. Г. Математическая модель линейного асинхронного двигателя на основе магнитных схем замещения // Молодой ученый. — 2010. — №5. — с. 14–22.
2. Емельянов, А. А., Медведев А. В., Богатов Е. А., Кобзев А. В., Бочкарев Ю. П. Программирование линейного асинхронного двигателя в MATLAB // Молодой ученый. — 2013. — №3. — с. 129–143.
3. Емельянов, А. А., Медведев А. В., Кобзев А. В., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Бойко Д. Ю., Киряков Г. А., Чернов М. В., Королев О. А. Моделирование линейного асинхронного двигателя с укладкой обмотки индуктора ($Z1 = 12$) через спинку ярма // Молодой ученый. — 2013. — №8. — с. 13–31.
4. Емельянов, А. А., Кобзев А. В., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Бочкарев Ю. П., Авдеев А. С., Киряков Г. А., Чернов М. В., Габзалилов Э. Ф. Программирование линейного асинхронного двигателя ($Z1 = 18$) с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом // Молодой ученый. — 2014. — №8. — с. 20–41.

Особенности комплексообразования между примесными атомами марганца и кислорода в кремнии

Саъдуллаев Аловоддин Бобакулович, кандидат физико-математических наук, доцент
Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

В работах [1,4,5,7] нами были показаны возможности образования электронейтральных химически связанных комплексов (молекул), между примесными атомами марганца и сера, а также марганца и селена в кремнии. При этом установлено, что хотя эти примеси в кремнии являются донорами, но при определенных термодинамических условиях независимо от способа легирования (одновременно или последовательно) кремния, все введенные примеси атомов будут участвовать в образовании таких комплексов, и в результате, чего материал приобретает свои исходные электрофизические и рекомбинационные параметры.

В этом плане особые интерес представляют исследования такого типа комплексообразования между примесными атомами кислорода и марганца в кремнии. Так как, во-первых кислород также является представителем элементов VI групп таблицы химических элементов и обнаружение такого типа взаимодействия позволяет установить общие закономерности комплексообразования, которые очень важны для выяснения механизма такого типа взаимодействия. Во-вторых, атомы кислорода всегда существуют в кремнии и служит стимулятором генерации различного рода термических и радиационных дефектов, определяющих на их основе деградационные свойства материала и приборов.

В связи с этим целью данной работы являлось исследованию возможности образования комплексов (молекул) между атомами кислорода и марганца в кремнии, а также определение оптимальных термодинамических условий их взаимодействия.

Для исследования в качестве исходного материала был использован промышленной монокристаллический

кремний с маркой КДБ-10, выращенный методом Чохральского. Содержание кислорода определялось оптическим методом в области поглощения $\lambda=9.1$ мкм и составило $N_{O_2}=(5\div 7)\cdot 10^{17}$ см⁻³. Диффузия марганца проводилась из газовой фазы в интервале температур $T=1000\div 1320$ °С с шагом 25÷30°С. Для каждой температуры диффузии использовано по 5 образца для легирования марганца и контрольного образца без марганца. Условия отжига (время, скорость охлаждения) в обоих случаях были абсолютно одинакова.

На рис. 1 представлена зависимость удельного сопротивления образцов кремния p-типа с удельным сопротивлением $\rho = 10$ Ом · см, легированного марганца Si<В, О, Мп> от температуры диффузии и контрольные образцы Si<В, О> отожженные при тех же условиях без марганца. Измерения удельного сопротивления Si<В, О, Мп> и контрольных образцов Si<В, О> проводилась при комнатной ($T\approx 25\div 26$ °С) температуре.

Как видно из рисунка (крив. 1) удельное сопротивление контрольных образцов с ростом температуры отжига увеличивается. При температуре $T=1100\div 1110$ °С меняется тип проводимости и становится n-тип проводимостью. Удельное сопротивление контрольных образцов подвергнутых более высокой температуре отжига, монотонно уменьшается и остается n-тип. Эти результаты практически совпадают с литературными данными [3–5] и связаны с генерацией термодоноров в исследуемой области температур.

Удельное сопротивление образцов кремния легированных марганцем Si<В, О, Мп> показывает, что с ростом температуры диффузии оно увеличивается быстрее, чем контрольных образцов (крив. 2) и достигает своего

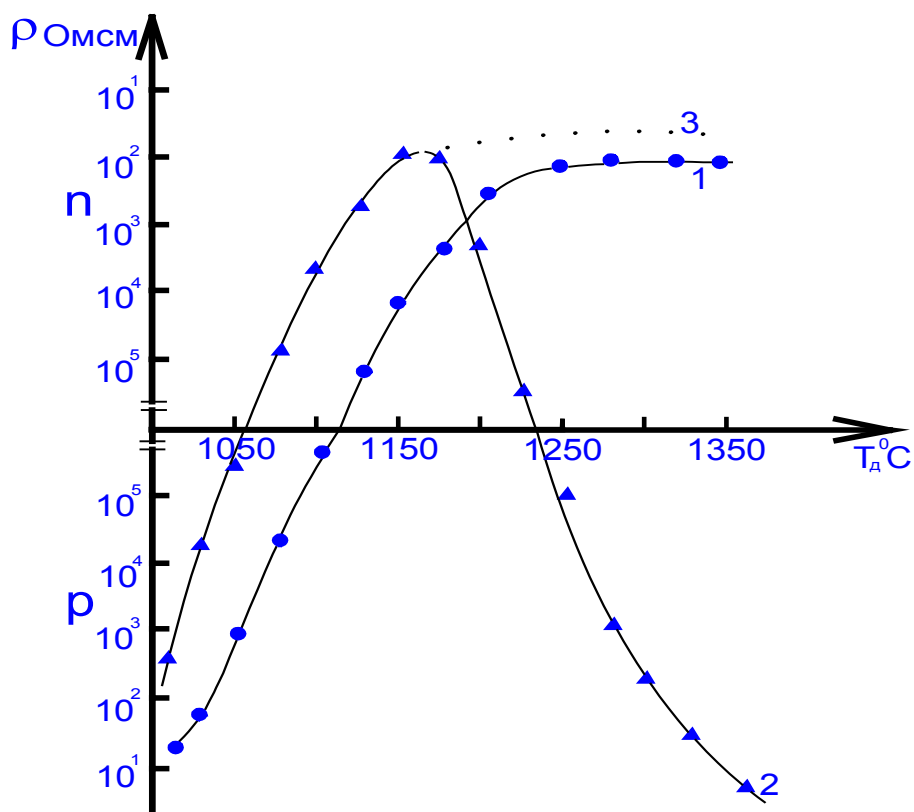


Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления образцов от температуры диффузионного отжига
 1. Контрольных образцов Si<B, O>. 2. Si<B, O, Mn> 3. Расчетный данные.

максимального значения при температуры $T=1050 \div 1060$ °C, затем меняет тип проводимости и становится n-типом. Дальнейшей рост температуры диффузии приводит к уменьшению удельного сопротивления образцов Si<B, O, Mn> при температуре $T=1150 \div 1160$ °C эти образцы имеют n-типа проводимость и самое низкое удельное сопротивление $\rho=60 \div 70$ Ом·см. Начиная температуры диффузии с $T \geq 1160$ °C удельное сопротивление образцов Si<B, O, Mn> увеличивается, а при температуры $T=1220 \div 1230$ °C достигает своего максимального значения и второй раз меняет тип проводимости, в этот раз из n-типа в p-тип. Дальнейшей рост температуры диффузии приводит к монотонному уменьшению удельного сопротивления образцов Si<B, O, Mn>, а удельное сопротивление образцов легированных при температуре $T=1320 \div 1330$ °C имеют $\rho=10 \div 12$ Ом·см, p-тип проводимости, т.е. в них восстанавливается значение электрофизических параметров исходных образцов. Это означает, что в процессы легирования кремния марганцем при температуры $T=1320 \div 1330$ °C, не только все введенные атомы марганца становится электронейтральными, но и в этих образцах не наблюдается образования соответствующих концентрации термодоноров, как в контрольных образцах (кривая 1).

Различие в характера изменения удельного сопротивления легированных образцов Si<B, O, Mn> и кон-

трольных образцов Si<B, O> отожженных в интервале температур $T=1000 \div 1160$ °C связано донорными поведениями марганца в кремнии [6–7]. Однако их различие в области диффузионного отжига $T=1160 \div 1330$ °C остается непонятным. Проведенные расчеты удельного сопротивления образцов кремния легированного марганцем в интервале температур $T=1160 \div 1320$ °C с учетом растворимости и донорных энергетических уровней марганца в кремнии (крив. 3) показывает, что в исследуемой области температур образцы должны иметь n-тип проводимости с удельным сопротивлением $\rho=60 \div 15$ Ом·см. Такие существенные различия между расчетными и экспериментальными данными могут быть связаны только со следующими факторами:

— В области температуры диффузии $T=1160 \div 1320$ °C характер энергетических уровней марганца меняется, т.е. они могут образовывать акцепторные уровни в кремнии.

— Взаимодействие атомов марганца и кислорода в кремнии с образованием электронейтральных химически связанных комплексов (молекул) в решётке кремния.

Для проверки первого фактора, нами специально проводилась легирования кремния n-типа с удельным сопротивлением $\rho=70$ Ом·см марганцем в интервале температур $T=1160 \div 1330$ °C.

Установлено, что эти образцы в процессы диффузионного отжига сохраняли тип проводимости (n-тип),

а их удельное сопротивление намного уменьшается, в интервале температур диффузионного отжига $T=1160\div 1200$ °С, а затем образцы имеют такое же удельное сопротивление и тип проводимости, как до температурного отжига. Эти данные дают основание утверждать, что в исследуемых областях температуры диффузии, атомы марганца не образуют каких-либо акцепторных уровней в запрещенной зоне кремния. Кроме того, трудно представить такое резкое изменение поведения атомов марганца в кристаллической решетке кремния, с изменением температуры отжига.

В пользу второго варианта можно сказать следующие:

— Отсутствие генерации термодоноров в образцах $Si\langle B, O, Mn \rangle$ в интервале $T=1160\div 1320$ °С термоотжига концентрация которых достигает в контрольных образцах $Si\langle B, O \rangle N \approx 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Как известно, природа таких термодоноров в основном связано с участием атомов кислорода в кремнии.

— Исследование показывает, что в образцах легированных марганцем в области температур $T=1300\div 1330$ °С время жизни неосновных носителей тока в отличие от контрольных образцов не только уменьшается, но и за-

метно увеличивается по сравнению с исходными образцами. Это говорит о том, что в объеме образцов $Si\langle B, O, Mn \rangle$ в процессе термоотжига не генерируются рекомбинационные центры, а наоборот их концентрация уменьшается.

— Обнаружено и доказано [5, 6] образование таких комплексов между атомами марганца с серы и селеном на основе электрических, оптических исследований и ЭПР.

На основе выше изложенного можно утверждать, что атомы марганца и кислорода в кремнии взаимодействуют в процессы диффузионного отжига в интервале температур $T=1160\div 1330$ °С и образуют при этом электронейтральные химически связанные комплексы (молекул). Эффективные температуры, при которых практически все введенные атомы марганца участвуют в таких комплексообразованиях составляют $T=1320\div 1330$ °С. Таким образом установлено, что примесные атомы марганца образуют электронейтральные химически связанные комплексы с элементами VI группы (O, S, Se), эффективные температуры которых составляют $T=1320\div 1330$ °С, $T=1100\div 1110$ °С, $T=820\div 830$ °С соответственно.

Литература:

1. Бахадирханов, М.К., Зикриллаев Н.Ф., Нокулов Н и др. О концентрации электрoактивных атомов элементов переходных групп в кремнии. Электронная обработка материалов. 2005, №2, с. 86–88.
2. В.В. Воронков, Г.И. Воронкова, А.В. Батунина, В.Н. Головина, М.Г. Мильвидский, А.С. Гуляева, Н.Б. Тюрина, Л.В. Арапкина «Генерация термодоноров в кремнии: влияние собственных межузельных атомов» ФТТ42 (11), 2000, стр. 1969–1975.
3. Арапкина, Л.В., Батунина А.В., Воронкова Г.И., Головина В.Н., Гуляева А.С., Мильвидский М.Г., Тюрина Н.Б. «Влияние собственных межузельных атомов кремния на образование электрически нейтральных борсодержащих комплексов в пластинах кремния при их отжиге при температурах 480–530°С» Тез. Третьей Российской конф. «Кремний-2003», 26–30 мая Москва, стр. 37–38.
4. М.К. Бахадирханов, Ш.И. Аскарoв, Н. Норкулов, С.Н. Сражев. Межпримесное взаимодействие серы и серебра в кремнии. РАН, Неорганические материалы, 1995, т. 31, №.7, стр. 888–890.
5. Ш.И. Аскарoв, М.К. Бахадирханов, Мастерoв В.Ф. Исследование методом ЭПР межпримесного взаимодействия серы и марганца в кремнии. ФТП, 1984, т. 18, вып. 5, стр. 1050–1053.
6. М.К. Бахадирханов, Ш.И. Аскарoв, Н. Норкулов, С.Н. Сражев. Влияние быстродиффундирующих примесей на кинетику генерации термодоноров в кремнии при 300–5000С. ФТП, 1995, т. 29., вып. 6, стр. 1396–1401.
7. М.К. Бахадирханов, С.А. Валиев, С.С. Насриддинов, У. Эгамов. Особенности термических свойств сильнокомпенсированного $Si\langle B, Mn \rangle$. РАН, Неорганические материалы, 2009, т. 45, №.11, стр. 1291–1293.
8. З.Н. Сальник. Термодоноры в кремнии, содержащем кислород. РАН, Неорганические материалы, 1995, т. 31, №.11, стр. 1393–1399.
9. М. Омеляновский, В.И. Фистуль. Примеси переходных металлов полупроводниках. М. Металлургия, 1983.
10. В.И. Фистуль, В.М. Казаков, и др. О состоянии примесных ионов марганца в кремнии. ФТП, 1982, т. 16, вып. 5, стр. 938–940.

ИНФОРМАТИКА

Разработка автоматизированной системы мониторинга интернет-ресурсов

Романов Максим Владимирович, магистр техники и технологии, системный аналитик
Уральский федеральный университет (г. Екатеринбург)

1. Общие сведения

Мониторинг работы интернет-ресурсов (далее — сайтов), направленный на выявление проблемных мест и неэффективных подходов к реализации конечной цели информационных сайтов — предоставления и обеспечения простоты доступа к информации, является важной частью работ, выполняемых в рамках развития сайтов. Количественные и качественные характеристики доступности и эффективности работы сайтов могут оказать существенное влияние на репутацию и успешность предприятий, использующих сайты как инструмент бизнеса.

Объектом исследования является автоматизированная система мониторинга и сайтов.

Предметом исследования является развитие автоматизированной системы мониторинга сайтов, включающее выполнение работ по разработке интеллектуальной составляющей и расширению функциональных возможностей.

Целью настоящего исследования является выявление предпосылок к выполнению работ по реализации развития автоматизированной системы мониторинга Сайтов.

Для достижения поставленной цели необходимо обеспечить выполнение следующих задач:

- анализ существующих в настоящее время систем мониторинга сайтов;
- отбор аналогов из существующих систем данного типа по различным критериям;
- разработка пакета моделей автоматизированной системы, позволяющей производить мониторинг сайтов с функциональными возможностями, выявленными в прототипе;
- разработка пакета моделей на создание автоматизированной системы мониторинга сайтов;
- разработка автоматизированной интеллектуальной системы мониторинга сайтов;
- внедрение системы в опытную эксплуатацию

В настоящее время на рынке не представлены системы мониторинга сайтов, а также системы, предназначенные для продвижения сайтов, позволяющие осуществлять ав-

томатическую обработку статистических данных с целью выдачи рекомендаций и конкретных методов по исключению проблемных мест сайтов, непосредственно влияющих на эффективность их функционирования.

В рамках выполнения данного исследования впервые была описана автоматизированная система мониторинга сайтов, объединяющая функции мониторинга и продвижения сайтов с обеспечением интеллектуальной поддержки их выполнения.

Выдвигаемые положения:

- в литературных источниках нет доступного описания автоматизированной системы мониторинга сайтов в детализации, представляющей сведения, необходимые для проектирования дополнительных модулей в рамках развития системы.

- в данном исследовании представлено описание автоматизированной системы мониторинга сайтов в детализации, представляющей сведения, необходимые для проектирования дополнительных модулей в рамках развития системы.

Поиск информации осуществлялся по следующим направлениям:

- виды систем мониторинга сайтов;
- количественные и качественные параметры работы сайтов;
- измерение показателей эффективности работы сайтов;
- website monitoring system;
- продвижение сайтов;
- SEO.

Ключевые слова:

- мониторинг сайтов;
- анализ показателей измерения эффективности работы сайтов;
- развитие автоматизированной системы мониторинга сайтов;
- интеллектуальная система мониторинга сайтов;
- анализ результатов измерения показателей эффективности работы сайтов;
- SEO-оптимизация.

2. Обзор аналогов и выход на прототип

2.1 Обзор аналогов

2.1.1 Системы мониторинга сайтов

Рассматриваемое множество аналогов — систем мониторинга сайтов было разбито на типы, соответствующие функционалу, позволяющему осуществлять мониторинг определенных видов характеристик сайтов:

- работоспособность;
- посещаемость;
- SEO-оптимизация [1].

2.1.1.1 Мониторинг работоспособности

2.1.1.1.1 Ping-Admin. Ru

Ресурс для владельцев сайтов и системных администраторов. Ping-Admin. Ru [2] осуществляет круглосуточный мониторинг доступности и проверку работы на сервере следующих сервисов:

- HTTP, HTTPS (проверка работоспособности сайта);
- FTP;
- MySQL, PostgreSQL (проверка работоспособности базы данных);
- POP3, SMTP, IMAP (проверка работоспособности почты);
- DNS;
- Ping;
- Telnet.

При отказе сервиса, соответствующее уведомление оперативно отправляется администратору на указанные адреса электронной почты, на телефон в виде SMS или звонком, в интернет-пейджер (ICQ, Jabber), по RSS или с помощью запроса HTTP GET к скрипту. Сервис мониторинга официально поддерживает нижеследующие регулярные проверки:

- проверка сайта на вирусы (антивирусная проверка).
- регулярная проверка SEO-ссылок (noindex, nofollow, robots. txt и т. д.).
- внутренние ресурсы сервера: нагрузка, жёсткий диск, uptime в днях и любые другие.
- контроль срока действия SSL-сертификатов.

Проверка доступности сайта через мониторинг работоспособности его сервисов обеспечивает полноценный контроль над проектом.

2.1.1.1.2 Host-tracker.com

Данная система обладает функционалом, позволяющим опрашивать указанный ресурс с необходимой периодичностью, при возникновении проблем с доступом, сайт будет проверяться всем точками мониторинга, и если доступ к ресурсу невозможен, системой будет отправлено уведомление посредством email или SMS-сообщения.

Использование нескольких точек мониторинга позволяет исключить ложные срабатывания, когда проблемы с доступом возникают, по причинам не связанным с функционированием ресурса, а из-за проблем, обусловленных отсутствием связи между нашей системой и вашим сайтом.

После обнаружения ошибки, система продолжает отслеживать статус ресурса, и как только он станет вновь доступен, высылает сообщение о восстановлении его работоспособности, с указанием времени простоя [3].

Основные возможности системы:

- мониторинг произвольного количества ресурсов;
- распределенный мониторинг;
- период мониторинга каждые 1/5/15/30/60 минут;
- возможность мониторинга работы CGIскриптов;
- поддерживаются HTTP методы HEAD/POST/GET;
- возможность задавать передаваемые CGIскрипту параметры;
- контроль наличия нужных ключевых слов на странице;
- возможность задания ключевых слов с помощью регулярных выражений;
- возможность задания произвольного количества адресов для уведомления о сбоях сервера;
- накопление статистики и дальнейшее формирование отчетов;
- возможность «открыть» отчеты по одному или нескольким вашим ресурсам для свободного доступа;
- хранение отчетов без ограничения во времени;
- возможность настройки автоматическая отсылки выбранных отчетов ежедневных, еженедельных, месячных, квартальных, годовых на указанный электронный адрес;
- привязка к временной зоне;
- детализация отчетов с точностью до дней;
- возможность хранения протоколов проверки;
- возможность отсылки сообщений о сбоях как на электронный адрес, так и на ваш мобильный телефон, с помощью SMS сообщений;
- моментальная проверка доступности ресурса.

2.1.1.1.3 Monitor.us

Функционал данной системы включает в себя следующие возможности мониторинга [4]:

- Отслеживание наличия сайта и производительности в разных местах в большинстве стран и направлений движения;
- Проверка работоспособности с использованием HTTP, HTTPS, PING, DNS;
- Проверка работоспособности баз данных (MySQL);
- E-mail проверки с использованием протоколов SMTP, POP3, IMAP;
- Проверка IP с использованием протоколов TCP, UDP, SSH и ICMP;
- VoIP проверки с использованием SIP протокола;
- Проверка содержания страниц;
- Мгновенное оповещение об отказе по электронной почте, IM, SMS;
- SLA отчетность — подробные отчеты с уровня обслуживания метрики.

2.1.1.1.4 HyperSpin

Функционал данной системы включает в себя следующие возможности мониторинга [5]:

- Непрерывный мониторинг 24 x 7 x 365;
- Поддержка большинства протоколов — HTTP, HTTPS, FTP, SSH, SMTP, DNS, POP3, IMAP, MySQL и других протоколов, использующих TCP/IP;
- Уведомления о неполадках посредством e-mail и SMS;
- Мониторинг из нескольких точек мира с помощью глобальной сети мониторинга. Контроль осуществляется из нескольких точек, предоставляется информация о работоспособности сайта и доступности пользователям по всему миру;
- Возможность вывода отчета о доступности серверов;
- Возможность отправки провайдеру запроса на перезагрузку;
- Возможность автоматической отправки сообщений в техподдержку хостинга;
- Отчеты о доступности и производительности;
- Используем продвинутую технологию взаимных проверок для предотвращения ложных тревог;
- Планирование профилактических работ;
- Бесплатный перенос данных;
- Простота в использовании — требуется только браузер.

2.1.1.2 Мониторинг посещаемости

2.1.1.2.1 LiveInternet.ru

Ведущий сервис статистики Интернет ресурсов, предоставляющий наиболее качественные инструменты сбора, обработки и последующего анализа данных посещаемости Интернет-ресурсов. Широкий спектр возможностей обработки данных, графическое отображение результатов и удобный интерфейс, заслужили признание множества профессионалов, которые каждый день имеют дело с Интернет статистикой [6, 7].

2.1.1.2.2 Google Analytics

В Google Analytics [8] отслеживаются следующие типы данных о взаимодействии посетителей с контентом сайта:

- страницы, через которые посетители входили на сайт и выходили с него;
- как часто и сколько времени посетители просматривали те или иные страницы;
- насколько активно посетители искали определенный контент на сайте;
- степень взаимодействия с определенным типом контента, например слайд-шоу или встроенным видео;
- как часто посетители нажимали на объявления AdSense, а также доход от этих кликов.

Исходя из этих данных можно определить, насколько сайт способствует достижению поставленных задач.

2.1.1.2.3 Яндекс. Метрика

Бесплатный сервис, предназначенный для оценки посещаемости веб-сайтов, и анализа поведения пользователей [9].

Счетчик «Яндекс. Метрика» работает по принципу обычного счетчика посещений: JS-код — устанавлива-

ется веб-мастером на страницах сайта и собирает данные о каждом посещении.

Сервис интегрирован с Яндекс. Директом и Яндекс. Маркетом и позволяет группировать посетителей ресурса по нескольким параметрам.

Яндекс. Метрика измеряет конверсию сайта и интернет-рекламы. При расчете конверсии сервис оценивает, какая доля посетителей сайта достигла «цели», то есть:

- дошла до некоторой страницы, посещение которой можно расценивать как достижение результата,
- просмотрела определенное количество страниц, которое является показателем успешности кампании,
- произвело определенное действие (клик на кнопку, скачивание прайс-листа и т. д.).

Метрика позволяет не учитывать нежелательные переходы (собственные переходы, с определенных IP-адресов, определенных источников) и модифицировать входные данные, удаляя из URL заданные параметры.

Яндекс. Метрика предоставляет данные за текущий день. Отчеты обновляются с периодичностью раз в 5 минут.

Счетчик Яндекс. Метрики также совместим с AJAX — и Flash-сайтами.

2.1.1.2.4 SpyLOG

Данная разработка обладает следующими функциональными возможностями [10]:

- динамику посещаемости сайта;
- динамику аудитории сайта;
- распределение посещаемости сайта по дням и по часам;
- прогноз посещаемости;
- рекордные показатели по посещаемости;
- сравнение посещаемости за разные периоды;
- поведение вашей аудитории;
- глубина просмотра сайта;
- продолжительность нахождения на сайте;
- период возвратов на сайт;
- популярные страницы сайта;
- точки входа и выхода;
- источники аудитории;
- структура посещаемости сайта по типам переходов;
- ссылающиеся сервера и сайты;
- поисковые запросы, по которым находят сайт;
- соотношение старых и новых посетителей;
- географическое распределение по странам, городам России.

2.1.1.2.5 Piwik

Данная аналитическая система обладает следующими функциональными возможностями [11]:

отслеживание посещений сайта по их типу (прямые переходы, переходы с сайтов, переходы из поисковых систем, переходы с кампаний контекстной рекламы и рекламных баннеров и др.).

- отслеживание ключевых слов, по которым посетители перешли на сайт.
- отслеживание источника трафика.

- отслеживание действий на сайте (скачивание файлов, переходы по ссылкам, длительность посещения и др.).

- отслеживание электронной коммерции (статистика по электронным заказам, товарам, категориям товаров, нереализованным корзинам, прибыли и др.).

- отслеживание Целей и их конверсии.

- отслеживание географии посетителей.

- управление пользователями и сайтами.

- автоматическая отчетность по email в формате PDF или HTML.

- представление статистики в числовом и графическом виде (круговые, столбчатые диаграммы, облака тегов).

- экспорт данных в формате CSV, XML, PHP, EXCEL, JSON.

- гибкий API для доступа к любым видам данных.

- мобильное приложение Piwik для iOS и Android.

2.1.2 Системы продвижения сайтов

2.1.2.1 ROOKEE

Rooke — многофункциональный SEO-сервис, способный осуществлять продвижение любого количества сайтов в автоматическом режиме. Может интегрироваться с Google Analytics для получения более детального анализа. Обладает широкими возможностями как для оптимизаторов, так и для веб-мастеров, позволяя последним увеличивать параметры сайтов ТИЦ и PR [12].

2.1.2.2 Maramoto

После регистрации в системе, данный сервис автоматически проверяет сайт и выявляет грубые ошибки. Для успешного продвижения формируются подходящие поисковые запросы, и, при необходимости, высылаются рекомендации по изменению страниц. Рекомендации по оптимизации сайта отправляются на email.

Одновременно с этим, данный сервис расставляет ссылки на выбранные для продвижения страницы. Ссылки ставятся не только на главную страницу, но и на внутренние, что гарантирует стабильный результат раскрутки сайта. Ссылки на сайт ставятся по возможности на сайтах сходной тематики, что обеспечивает синергетический эффект [13].

2.1.2.3 SeoPult

Сервис SeoPult [14] является программным комплексом, который предоставляет возможность оптимизаторам автоматизировать работу по продвижению сайтов, а также ведению кампаний с контекстной рекламой.

Система SeoPult добивается максимальных результатов при минимуме средств благодаря использованию разработанных схем, а также регулярному мониторингу. Благодаря тому, что все технические операции автоматизированы SeoПульт полностью избавляет Оптимизатора от огромного объема рутинной работы, а также позволяет экономить его время.

С технологической точки зрения система SeoPult — это набор модулей, которые обеспечивают автоматизацию каждого из этапов работы Оптимизатора.

- системе **SeoPult** реализована работа сразу нескольких модулей:

- модуль управления ссылками, который постоянно мониторит качество размещенных ссылок, меняет некачественные ссылки на новые, а также автоматически докупает новые ссылки для достижения необходимых результатов;

- модуль оценки стоимости продвижения определяет ссылочный бюджет по всем запросам из семантического ядра, анализируя ссылочную массу конкурентов;

- модуль отчетности, составляет ежедневные отчеты по затратам на ссылки, указывая стоимость и источники, а также отчеты о текущих позициях в поисковиках;

- модуль работы с внутренними факторами, проводит автоматический аудит сайта, определяет самые релевантные страницы, а также предлагает рекомендации по изменению текстов;

- модуль первичной простановки составляет тексты ссылок и выбирает самую оптимальную схему простановки.

2.1.2.4 WebEffector

WebEffector (Вебэффектор) [15] — полностью автоматический сервис по продвижению ресурсов в поисковых системах, обладающий широкими возможностями и для начинающих, и для SEO-мастеров. Позволяет автоматически составить качественное семантическое ядро сайта, убрать нерелевантные и накрученные запросы. Также оценивает трафик и помогает заранее определить стоимость продвижения того или иного ресурса. Основной функционал системы — автоматическое продвижение сайтов путем покупки качественных ссылок, а также подготовка рекомендаций пользователям по текстовым и пользовательским факторам ранжирования.

2.2 Выбор критериев оценивания

В процессе выхода на прототип разрабатываемой системы были выявлены наиболее важные критерии для каждого из выделенных функциональных направлений.

2.2.1 Мониторинг

В проведенном исследовании функционал систем мониторинга оценивался по следующим параметрам:

- популярные ключевые слова на странице (m1);

- количество внешних и внутренних ссылок на сайт (m2);

- индексацию контента поисковыми системами (m3);

- ключевые слова, по которым находят сайт (m4);

- функциональные сервисы сайта (m5);

- перечень параметров, отслеживаемых для государственных сайтов, в части требований, предъявляемых к юзабилити (m6);

- хосты — уникальные пользователи, делающие хиты (просматривающие страницы) (m7);

- другие виды мониторинга, в том числе специфические (реализуемые посредством подключения к подсистеме дополнительных модулей) (m8).

2.2.2 Продвижение

В проведенном исследовании функционал систем мониторинга оценивался по следующим параметрам:

- реализация комплекса мер по поисковой оптимизации для обеспечения нахождения ссылок на информационные материалы сайта в поисковых системах сети Интернет (р1);
- формирование рекомендаций по созданию оптимальной навигационной структуры сайта (доступность актуальных для поиска разделов сайта) (р2);
- определение наиболее релевантных запросов из семантического ядра страниц (потенциально — корректировка текстов для наиболее высокого ранжирования страниц в выдаче) (р3);
- формирование мета-тэгов. Работа со служебными частями страниц: формирование описания сайта и списка ключевых слов для служебной части страниц (р4);
- формирование тэгов title, H#, strong, i, u. Использование тэгов логического выделения для расстановки приоритетов в содержании страниц с учетом поискового продвижения (р5);

— продвижение сайта в социальных сетях и сервисах (р6).

2.3 Определение веса критериев

Оценка аналогов производилась с использованием методики оценки многокритериальных альтернатив [16].

При парных сравнениях в распоряжение ЛПР дается шкала словесных определений уровня важности, причем каждому определению ставится в соответствие число. Уровни важности представлены в таблице 1.1

При сравнении элементов, принадлежащих одному уровню иерархии, используется одно из приведенных в таблице 1.1 определений. В матрицу сравнения заносится соответствующее число.

Матрица сравнения критериев возможностей подсистемы мониторинга приведена в таблице 1.2.

Из полученных значений рассчитывается коэффициент важности. В таблице 1.3 представлен вес каждого из критериев.

Матрица сравнения критериев возможностей подсистемы продвижения приведена в таблице 1.4.

Таблица 1.1. Шкала относительной важности

Уровень важности	Количественное значение
Равная важность	1
Промежуточное значение между равенством и слабым превосходством	2
Умеренное превосходство	3
Промежуточное значение между слабым и сильным превосходством	4
Существенное или сильное превосходство	5
Промежуточное значение между сильным и значительным превосходством	6
Значительное (большое) превосходство	7
Промежуточное значение между значительным и абсолютным превосходством	8
Абсолютное превосходство	9

Таблица 1.2. Матрица сравнения критериев

Критерий	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8
m1	1	2	3	5	9	9	7	9
m2	0,5	1	5	3	7	7	9	8
m3	0,33	0,2	1	2	7	8	2	8
m4	0,2	0,33	0,5	1	7	7	1	9
m5	0,11	0,14	0,14	0,14	1	1	1	5
m6	0,11	0,14	0,13	0,14	1	1	1	7
m7	0,14	0,11	0,5	1	1	1	1	7
m8	0,2	0,13	0,13	0,11	0,2	0,14	0,14	1

Таблица 1.3. Вес критериев

Критерий	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8
Вес	0,342	0,274	0,140	0,108	0,034	0,035	0,053	0,015

Из полученных значений рассчитывается коэффициент важности. В таблице 1.5 представлен вес каждого из критериев.

2.4 Оценивание аналогов и выход на прототип

Шкала оценки аналогов включает в себя следующие значения:

- 0 — нулевой уровень;
- 0,25 — низкий уровень;
- 0,50 — удовлетворительный уровень;
- 0,75 — средний уровень;
- 1,00 — высокий уровень.

Таблица 1.4. Матрица сравнения критериев

Критерий	p1	p2	p3	p4	p5	p6
p1	1	3	5	6	7	6
p2	0,33	1	3	4	5	6
p3	0,2	0,33	1	6	5	7
p4	0,17	0,25	0,17	1	4	7
p5	0,14	0,2	0,2	0,25	1	7
p6	0,17	0,17	0,14	0,14	0,14	1

Таблица 1.5. Вес критериев

Критерий	p1	p2	p3	p4	p5	p6
Вес	0,43	0,24	0,17	0,08	0,05	0,02

Таблица 1.6. Оценка аналогов без учета весовых коэффициентов

Аналог	Критерий							
	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8
Ping-Admin. Ru	0	0	0	0	0,25	0	0	0,5
Host-tracker.com	0,25	0	0	0,5	0,5	0,25	0,75	0,5
Monitor. us	0,25	0	0	0,5	0,5	0,25	0,5	0,75
HyperSpin	0	0	0	0	0,25	0,25	0	0,75
LiveInternet.ru	0,75	0	0,75	0,75	0,5	0,5	1	0,5
Google Analytics	0,75	0,25	1	1	0,5	0,75	1	0,5
Яндекс. Метрика	0,75	0	1	1	0,5	0,75	1	0,5
SpyLOG	0,5	0	0,5	0,5	0,5	0,25	1	0,25
Piwik	0,5	0	0,5	0,5	0,5	0,25	1	0,25

Таблица 1.7. Оценка аналогов с учетом весовых коэффициентов

Аналог	Критерий								Итого
	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	
Ping-Admin. Ru	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01	0,017
Host-tracker.com	0,09	0	0	0,06	0,02	0,01	0,04	0,01	0,225
Monitor. us	0,09	0	0	0,06	0,02	0,01	0,03	0,01	0,215
HyperSpin	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0,01	0,03
LiveInternet.ru	0,26	0	0,11	0,08	0,02	0,02	0,05	0,01	0,55
Google Analytics	0,26	0,07	0,14	0,11	0,02	0,03	0,05	0,01	0,69
Яндекс. Метрика	0,26	0	0,14	0,11	0,02	0,03	0,05	0,01	0,62
SpyLOG	0,17	0	0,07	0,06	0,02	0,01	0,05	0,003	0,3825
Piwik	0,17	0	0,07	0,06	0,02	0,01	0,05	0,003	0,3825

Таблица 1.8. Оценка аналогов без учета весовых коэффициентов

Аналог	Критерий					
	p1	p2	p3	p4	p5	p6
ROKEE	0,5	0,25	0,25	0,25	0	0
Maremoto	0,75	0,25	0,5	0,25	0	0,25
SeoPult	0,75	0,25	0,5	0,25	0,25	0,5
WebEffector	0,75	0,25	0,25	0,25	0	0,25

Таблица 1.9. Оценка аналогов с учетом весовых коэффициентов

Аналог	Критерий						Итого
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	
ROKEE	0,22	0,06	0,04	0,02	0,00	0,00	0,34
Maremoto	0,32	0,06	0,09	0,02	0,00	0,005	0,50
SeoPult	0,75	0,06	0,09	0,02	0,01	0,01	0,94
WebEffector	0,75	0,06	0,04	0,02	0,00	0,005	0,88

Оценка аналогов среди систем мониторинга, согласно шкале, представлена в таблице 1.6 без учета весовых коэффициентов и в таблице 1.7 с учетом весовых коэффициентов.

По итогам сравнения можно сделать вывод о том, что функциональные возможности Google Analytics являются наиболее подходящими для построения на их основе эффективной подсистемы мониторинга в составе разрабатываемой системы.

Оценка аналогов среди систем продвижения, согласно шкале, представлена в таблице 1.8 без учета весовых коэффициентов и в таблице 1.9 с учетом весовых коэффициентов.

По итогам сравнения можно сделать вывод о том, что функциональные возможности сервиса SeoPult явля-

ются наиболее подходящими для построения на их основе эффективной подсистемы продвижения в составе разрабатываемой системы.

В результате выполненной работы были получены два прототипа, которые войдут в состав компилятивного прототипа разрабатываемой системы в виде основных подсистем, отвечающих за мониторинг и продвижение сайтов.

2.5 Работа с прототипом

2.5.1 Системно-структурная модель

В рамках проектирования системы мониторинга и продвижения сайтов по результатам отбора среди аналогов были созданы предпосылки для формирования компилятивного прототипа исследуемой системы.

На рисунке 2 представлен прототип исследуемой системы.

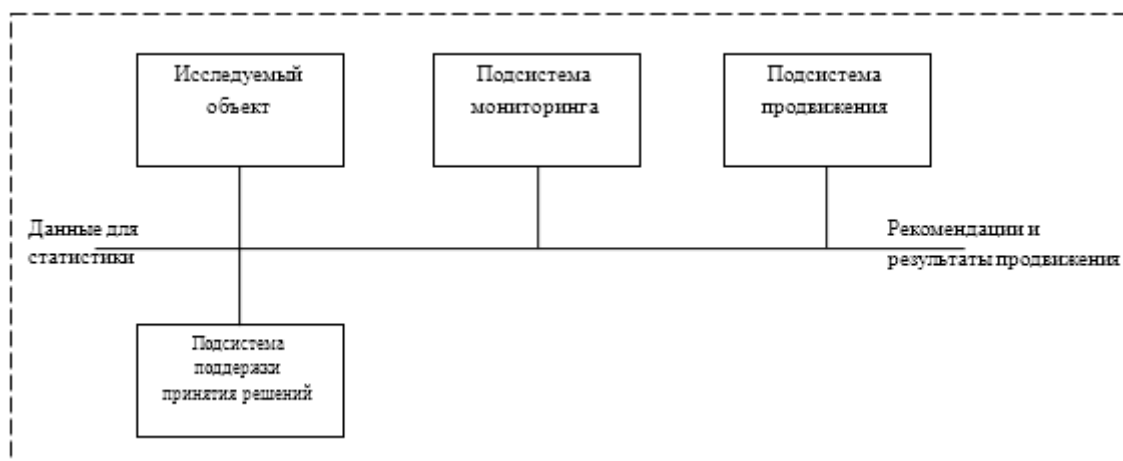


Рис. 2. Прототип исследуемой системы

Таблица 1.11. Пакет научных прототипов

Ранг	Наименование	Ссылка	Критика
0	Автоматизированная система анализа и продвижения с подсистемой поддержки принятия решений	[17]	Требуется внедрение интеллектуальной составляющей, которая позволит осуществлять анализ и выполнять действия по продвижению Интернет-ресурса автоматически
1	Подсистема мониторинга	[17, 18]	Требуется реализация возможностей по мониторингу функциональных параметров Интернет-ресурсов, включающих: – Параметры, отслеживаемые лучшими из исследуемых аналогов — систем продвижения; – Параметры, отслеживаемые лучшими из исследуемых аналогов — систем мониторинга; – Параметры внутренней структуры, исследуемые с привлечением экспертов предметной области
	Подсистема продвижения	[19]	Требуется внедрение функциональных возможностей по осуществлению продвижения Интернет-ресурса с максимальной автоматизацией процесса. Под продвижением должна пониматься полная оптимизация характеристик сайта, исследуемых в ходе мониторинга
	Подсистема поддержки принятия решений	[20]	Требуется адекватная реализация взаимодействия с пользователем при необходимости предоставления выбора из доступных альтернатив
	Исследуемый объект	[21, 22]	Требуется разработка компонента, внедряемого в исследуемый объект, либо обладающего доступом к исходным кодам, с обеспечением соответствующей защиты.

2.5.2 Пакет научных прототипов

Рассмотрим архитектуру прототипа. На каждом уровне проводится критика существующего решения с целью улучшения, путем внесения изменений в существующую архитектуру или создания новой архитектуры.

Критика пакета научного прототипа представлена в таблице 1.11.

2.5.3 Гипотезы о предполагаемых решениях

В рамках выполнения работ по разработке исследуемой системы, необходимо провести улучшение полученного в ходе исследования компилятивного научного прототипа. Необходимо обеспечить внедрение адаптатора — подсистемы, отвечающей за автоматизацию процесса сбора аналитических данных. Также необходимо выполнить модернизацию подсистемы принятия решений без необходимости вмешательства пользователя.

3 Результаты и выводы

3.1 Основные результаты

В результате проведенного исследования был проведен литературно-аналитический обзор, затрагивающий основные понятия и аспекты предметной области. Были получены данные о существующих системах, аналогичных исследуемой в разрезе необходимого функционала. Процесс оценивания аналогов позволил выйти на прототип исследуемой системы и создал предпосылки для возможных вариантов улучшения, которые позволят получить продукт, отвечающий на вопросы, затрагиваемые проблематикой рассматриваемой предметной области.

3.2 Выводы

Собранная информация и результаты проведенного исследования достаточны для достижения поставленных целей и задач моделирования, проектирования и разработки исследуемой системы.

Литература:

1. Джейми Сирович, Кристиан Дари. Поисковая оптимизация сайта (SEO) на PHP для профессионалов. Руководство разработчика по SEO = Professional Search Engine Optimization with PHP: A Developer's Guide to SEO. — М.: «Диалектика», 2008. — 352 с. — ISBN 978-5-8459-1376-0.

2. Ping-Admin. Ru [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ping-admin.ru/>. Дата обращения: 05.03.2013.
3. Host-tracker.com [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://host-tracker.com/overview/>. Дата обращения: 05.03.2013.
4. Monitor. us [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.monitor.us/free-monitoring-features/features-overview/>. Дата обращения: 05.03.2013.
5. HyperSpin [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.hyperspin.com/ru/features.php/>. Дата обращения: 05.03.2013.
6. Liveinternet [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.liveinternet.ru/>. Дата обращения: 07.03.2013.
7. Состояние блогосферы российского интернета. По данным поиска по блогам Яндекса. Весна 2008 г. [Электронный ресурс] — 2008. — Режим доступа: http://download.yandex.ru/companу/yandex_on_blogosphere_spring_2008.pdf. Дата обращения 07.03.2013.
8. Обзор Google Analytics [Электронный ресурс]. Режим доступа — <http://www.bigfozzy.com/Articles/Based/Traffic/google-analytics.php>. Дата обращения 07.03.2013.
9. Яндекс. Метрика [Электронный ресурс]. Режим доступа — <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D0%BA%D1%81.%D0%9C%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B0>. Дата обращения 07.03.2013.
10. SpyLog [Электронный ресурс]. Режим доступа — <http://ru.wikipedia.org/wiki/SpyLOG>. Дата обращения 07.03.2013.
11. Официальный русскоязычный сайт Piwik [Электронный ресурс]. Режим доступа — <http://ru.piwik.org/>. Дата обращения 06.03.2013.
12. Rookee [Электронный ресурс]. Режим доступа — <http://www.rookee.ru/>. Дата обращения 07.03.2013.
13. Maremoto [Электронный ресурс]. Режим доступа — <http://www.maremoto.ru/>. Дата обращения 07.03.2013.
14. SeoPult [Электронный ресурс]. Режим доступа — <http://seopult.ru/>. Дата обращения 07.03.2013.
15. WebEffector [Электронный ресурс]. Режим доступа — <http://www.webeffector.ru/>. Дата обращения 07.03.2013.
16. Ларичев, О. И. Наука и искусство принятия решений. М.: Наука, 1979.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Продукты функционального назначения

Альхамова Гузель Кирамовна, кандидат технических наук, старший преподаватель;

Мазаев Алексей Николаевич, аспирант;

Ребезов Ярослав Максимович, магистрант;

Шель Иван Андреевич, магистрант

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (г. Челябинск)

Зинина Оксана Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова (Челябинская обл.)

Концепция «Функциональное питание», как самостоятельное научно-прикладное направление в области здорового питания в современном терминологическом плане, сложилось в конце 80-х годов. Согласно последним данным, для полного удовлетворения жизненных потребностей пища человека должна содержать более 6000 групп различных макро- и микронутриентов, включающих свыше 20 тыс. различных пищевых соединений растительного, животного и микробного происхождения [1–3]. Питание большинства взрослого населения не соответствует принципам здорового питания из-за потребления пищевых продуктов, содержащих большое количество жира животного происхождения и простых углеводов, недостатка в рационе овощей и фруктов, рыбы и морепродуктов, что приводит к росту избыточной массы тела и ожирению, распространённость которых за последние 8–9 лет возросла с 19 до 23 %, увеличивая риск развития сахарного диабета, заболеваний сердечно-сосудистой системы и других заболеваний [4–10].

В системе мер, направленных на защиту человека от воздействия пищевых дефицитов, существенная роль принадлежит полноценному, сбалансированному питанию и использованию функциональных продуктов [11]. Сохранение и укрепление здоровья населения является важнейшей задачей любого государства. Здоровье каждого человека и нации в значительной мере определяется типичным рационом питания. Продукты питания, кроме снабжения организма человека энергией, необходимыми нутриентами, выполняют и другие функции, наиболее важная из которых — профилактика и лечение ряда заболеваний. Внедрение в производство лечебно-профилактических продуктов является одним из направлений гуманистической программы питания человека, принятой ООН [12]. Питание населения — важнейшая социальная проблема для всех народов и во все времена.

От полноценного питания человека зависит его жизнедеятельность.

Современная нутрициология признаёт полноценную пищу, которая обеспечивает шесть функций организма: энергетическая — поддерживается за счёт углеводов, жиров и в меньшей степени — белков; пластическая — обеспечивает построение и обновление клеток и тканей. Поддерживается благодаря белкам, в меньшей степени — минеральным веществам, жирам, углеводам; биорегуляторная — сводится к участию в образовании ферментов и гормонов. Для её реализации необходимы белки и витамины; приспособительно-регуляторная — способствует нормальной деятельности важнейших систем организма (питание, выделение, терморегуляция). Поддерживается за счёт воды, пищевых волокон и др. нутриентов; защитно-реабилитационная — заключается в повышении устойчивости организма. Обеспечивается за счёт профилактических и лечебных свойств различных рационов питания; сигнально-мотивационная — сводится к возбуждению аппетита при употреблении пряностей и прочих вкусовых веществ.

Пищевой рацион человека постоянно должен включать более 600 нутриентов. Примерно 95 % из них обладают лечебно-профилактическими свойствами. От их содержания и соотношения зависят диетические качества продукта. При неполноценном питании нарушаются обмен веществ, функциональная способность пищеварительной, сердечно-сосудистой, нервной и других систем. По мнению известного учёного-медика проф. Л. Ф. Чеботарёва, питание является практически единственным средством, пролонгирующим видовую продолжительность жизни на 25–40 %.

Демографические проблемы, стрессовые нагрузки, ухудшение здоровья людей вызвали необходимость создания функциональных продуктов питания. Функцио-

нальные пищевые продукты — это любой модифицированный пищевой продукт или пищевой ингредиент, который может оказывать благотворное влияние на здоровье человека, помимо влияния традиционных питательных веществ, которые он содержит.

В соответствии с ГОСТ Р 52349 «Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения» функциональный пищевой продукт — это пищевой продукт, предназначенный для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми возрастными группами здорового населения, снижающих риск развития заболеваний, связанных с питанием, сохраняющий и улучшающий здоровье за счёт наличия в его составе физиологически функциональных ингредиентов.

Физиологически функциональный пищевой ингредиент — вещество или комплекс веществ животного, растительного, микробиологического, минерального происхождения или идентичные натуральным, а также живые микроорганизмы, входящие в состав функционального пищевого продукта в количестве от 10 % до 15 % от суточной физиологической потребности в расчёте на одну порцию продукта, обладающие способностью оказывать научно обоснованный и подтверждённый благоприятный эффект на одну или несколько физиологических функций, процессы обмена веществ в организме человека при систематическом употреблении содержащего их функционального пищевого продукта [13].

Благоприятные эффекты, которые могут оказывать физиологически функциональные ингредиенты в составе пищевого продукта на организм человека, специалисты связывают с различными видами физиологического воздействия: позитивное воздействие на метаболизм различных субстратов (сохранение энергетического баланса, поддержание массы тела, уровень глюкозы, инсулина и др.); защита против соединений, обладающих оксидантной активностью; позитивное воздействие на сердечно-сосудистую систему; позитивное воздействие на физиологию желудочно-кишечного тракта; позитивное влияние на состояние кишечной микрофлоры; физиологическое воздействие на состояние иммунной системы [14].

К физиологически функциональным пищевым ингредиентам относят пищевые волокна, витамины, минеральные вещества, полиненасыщенные жирные кислоты, пробиотики, пребиотики или синбиотики.

Обогащённый пищевой продукт — функциональный пищевой продукт, получаемый добавлением одного или нескольких функциональных ингредиентов к традиционным пищевым продуктам в количестве, обеспечивающем предотвращение или восполнение имеющегося в организме человека дефицита питательных веществ [15, 16]. В развитых странах обогащение (фортификация) пищевых продуктов является общепринятой практикой, а в некоторых из них обязательное обогащение ряда пищевых продуктов закреплено законодательными актами.

Анализ динамики потребления пищевых продуктов в РФ за последнее десятилетие показал, что доля функциональных продуктов в структуре рациона питания россиян возросла, и продолжает увеличиваться, что связано с популяризацией здорового питания [17–19].

Учёный Шюнеман Верена к функциональному питанию относит пищу, которая целенаправленно отвечает требованиям различных групп населения (дети, взрослые, пожилые, этнические группы). Гольдберг расширил понятие функционального питания и свёл его к трём основным положениям: функциональное питание должно составлять часть ежедневного рациона; компоненты пищи должны быть натуральными (природного происхождения); должны способствовать регулированию какой-либо функции организма.

Главным принципом создания функционального продукта питания нового вида является достижение максимально возможного уровня полноценности и гарантированной безопасности изделия [20–25]. Функциональное питание позволяет не только сохранить здоровье, но и в определенной мере заменить лекарственные препараты. При помощи профилактического питания можно снизить количество заболеваний, связанных со старением на 80 %, диабетом — на 50 %, сердца — на 25 %, органов зрения — на 20 %.

Разработка новых технологий биопродуктов с функциональными ингредиентами является перспективным и актуальным направлением молочной промышленности [26–28].

Целями Концепции государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 октября 2010 г. № 1873-р) являются: сохранение и укрепление здоровья населения; профилактика заболеваний, обусловленных неполноценным и несбалансированным питанием.

Основными задачами государственной политики в области здорового питания являются: развитие производства пищевых продуктов, обогащенных незаменимыми компонентами; продуктов функционального назначения, диетических (лечебных и профилактических) пищевых продуктов; разработка образовательных программ для различных групп населения по вопросам здорового питания; мониторинг состояния питания населения и др.

Основными направлениями реализации указанной Концепции в области здорового питания являются: разработка комплекса мероприятий, направленных на снижение распространенности заболеваний, связанных с питанием; разработка и внедрение единых форм государственной статистической отчетности о заболеваемости, связанной с нарушением питания, в том числе с анемией, недостаточностью питания, ожирением, болезнями органов пищеварения; разработка и внедрение программ государственного мониторинга питания и здоровья населения на основе проведения специальных ис-

следований индивидуального питания, включая вопросы безопасности и развития распространенных алиментарно-зависимых состояний; усиление пропаганды здорового питания населения, в том числе с использованием средств массовой информации.

Ожидаемыми результатами реализации указанной Концепции в области здорового питания являются: увеличение доли производства продуктов массового потребления, обогащенных витаминами и минеральными веществами, включая массовые сорта хлебобулочных изделий, а также молочные продукты, — до 40–50% общего объема производства; увеличение доли производства молочных и мясных продуктов со сниженным содержанием жира — до 20–30% общего объема производства; увеличение доли производства отечественного мясного сырья и продуктов его переработки — до 45–50% общего объема производства; повышение адекватной обеспеченности витаминами детей и взрослых — не менее чем на 70% и др.

Согласно Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации (Указ Президента Российской Федерации от 25 января 2010 г. № 120) основными направлениями развития пищевого производства являются: развитие фундаментальных и прикладных научных исследований по медико-биологической оценке качества и безопасности новых источников пищи и ингредиентов, внедрение инновационных технологий, включающих био- и нанотехнологии, технологии органического производства пищевых продуктов и продовольственного сырья, наращивание производства новых обогащенных, диетических, функциональных пищевых продуктов; разработка для населения образовательных программ по проблемам здорового питания как важнейшего компонента здорового образа жизни с привлечением средств массовой информации, создания специальных обучающих программ; разработка и реализация комплекса мер, направленных на сокращение потребления алкогольной и другой спиртосодержащей продукции.

Литература:

1. Ким, В. В., Харитонов Д. В., Щербакова Э. Г. Зарубежный опыт использования пребиотиков. Молочная промышленность. 2001. № 2. с. 31.
2. Остроумов, Л. А., Попов А. М., Постолова А. М. Функциональные продукты на основе молока и его производных. Молочная промышленность. 2003. № 9. с. 21–22.
3. Попова, М. А., Ребезов М. Б., Ахмедьярова Р. А., Косолапова А. С., Паульс Е. А. Перспективные направления производства кисломолочных продуктов, в частности йогуртов. Молодой ученый. 2014. № 9 (68). с. 196–200.
4. Асенова, Б. К., Амирханов К. Ж., Ребезов М. Б. Технология производства функциональных продуктов питания для экологически неблагоприятных регионов. Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства. 2013. № 1. с. 313–316.
5. Наумова, Н. Л., Ребезов М. Б. Микроэлементный статус челябинцев как обоснование развития производства обогащенных продуктов питания. Фундаментальные исследования. 2012. № 4–1. с. 196–200.
6. Ребезов, М. Б., Амирханов К. Ж., Асенова Б. К., Смольникова Ф. Х. Технология и рецептура печенья овсяного «Солнечное». Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 7 (105). с. 094–097.
7. Ребезов, М. Б., Наумова Н. Л., Хайруллин М. Ф., Альхамова Г. К., Лукин А. А., Изучение отношения потребителей к обогащенным продуктам питания. Пищевая промышленность. 2011. № 5. с. 13–15.
8. Ребезов, М. Б., Наумова Н. Л., Альхамова Г. К., Лукин А. А., Хайруллин М. Ф. Экология и питание. Проблемы и пути решения. Фундаментальные исследования. 2011. № 8–2. с. 393–396.
9. Ребезов, М. Б., Наумова Н. Л., Максимюк Н. Н., Зинина О. В., Залилов Р. В. О целесообразности обогащения кондитерских изделий микронутриентами. Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2011. № 4 (9). с. 70–75.
10. Тупиков, В. А., Наумова Н. Л., Ребезов М. Б. Элементный состав волос как отражение экологической ситуации. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. 2012. № 21 (280). с. 119–122.
11. Голуб, О. В., Жукова О. В., Маюрникова Л. А. Состояние и проблемы рынка продуктов для профилактики железодефицита. Практический маркетинг. 2006. № 11. с. 25–28.
12. Альхамова, Г. К. Перспективы развития рынка творожных продуктов с функциональными свойствами. Современные проблемы науки и образования. 2011. № 5. с. 60.
13. Наумова, Н. Л., Ребезов М. Б., Варганова Е. Я. Функциональные продукты. Спрос и предложение. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2012. 78 с.
14. Кочеткова, А. А., Колеснов А. Ю. и др. Современная теория позитивного питания и функциональные продукты. Пищевая промышленность. 1999. № 4. с. 7–10.
15. Ребезов, М. Б., Наумова Н. Л., Кофанова М. Ю., Выдрина Н. В., Демидов А. В. О возможности обогащения хлебобулочных изделий функциональными добавками. Техника и технология пищевых производств. 2012. Т. 1. № 24. с. 55А–59.

16. Ребезов, М.Б., Наумова Н.Л., Альхамова Г.К., Кожевникова Е.Ю., Сорокин А.В. Конъюнктура предложения обогащенных молочных продуктов на примере Челябинска. Молочная промышленность. 2011. №8. с. 38–39.
17. Альхамова, Г.К., Ребезов М.Б., Амерханов И.М., Мазаев А.Н. Анализ потребительских предпочтений при выборе творожных продуктов. Молодой ученый. 2013. №3. с. 13–16.
18. Наумова, Н.Л., Ребезов М.Б., Аксенова М.О., Доронина А.С. О потребительских предпочтениях продукции масложировой отрасли. Масложировая промышленность. 2012. №2. с. 12–14.
19. Ребезов, М.Б., Наумова Н.Л., Комаров С.А., Залилов Р.В., Зинина О.В. Анализ рынка функциональных безалкогольных продуктов (на примере города Челябинска). Пиво и напитки. 2011. №4. с. 4–6.
20. Ребезов, М.Б., Альхамова Г.К., Наумова Н.Л. Сроки хранения национального творожного продукта. Молочная промышленность. 2011. №11. с. 66–67.
21. Белокаменская, А.М., Ребезов М.Б., Мазаев А.Н., Ребезов Я.М., Максимюк Н.Н., Асенова Б.К. Исследование пищевых продуктов и продовольственного сырья на содержание ртути атомно-абсорбционным методом. Молодой ученый. 2013. №10. с. 98–101.
22. Попова, М.А., Ребезов М.Б., Гаязова А.О., Лукиных С.В. Оценка качества и безопасности разработанного йогурта. Молодой ученый. 2014. №10 (69). с. 199–202.
23. Боган, В.И., Ребезов М.Б., Гайсина А.Р., Максимюк Н.Н., Асенова Б.К. Совершенствование методов контроля качества продовольственного сырья и пищевой продукции. Молодой ученый. 2013. №10. с. 101–105.
24. Белокаменская, А.М., Ребезов М.Б., Мазаев А.Н., Ребезов Я.М., Зинина О.В. Применение физико-химических методов исследований в лабораториях Челябинской области. Молодой ученый. 2013. №4. с. 48–53.
25. Ребезов, М.Б., Белокаменская А.М., Зинина О.В., Наумова Н.Л., Максимюк Н.Н., Соловьева А.А., Солнцева А.А. Контроль качества результатов исследований продовольственного сырья и пищевых продуктов на содержание свинца. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2012. Т. 2. №1. с. 157–162.
26. Альхамова, Г.К., Максимюк Н.Н., Наумова Н.Л., Амерханов И.М., Зинина О.В., Залилов Р.В., Ребезов М.Б. Новые творожные изделия с функциональными свойствами. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2011. 94 с.
27. Губер, Н.Б., Ребезов М.Б., Топурия Г.М. Инструменты снижения рисков при реализации инновационных проектов в сфере продуктов питания животного происхождения. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2014. Т. 8. №1. с. 156–159.
28. Догарева, Н.Г., Стадникова С.В., Ребезов М.Б. Создание новых видов продуктов из сырья животного происхождения и безотходных технологий их производства. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). 2013. с. 945–953.

Функциональные ингредиенты в молочных продуктах

Альхамова Гузель Кирамовна, кандидат технических наук, старший преподаватель;

Мазаев Алексей Николаевич, аспирант;

Шель Иван Андреевич, магистрант;

Прохасько Любовь Савельевна, кандидат технических наук, доцент;

Попова Марина Алексеевна, магистрант;

Уварова Вера Михайловна, магистрант

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (г. Челябинск)

В процессе конструирования функциональных продуктов питания, как правило, традиционные пищевые продукты в первую очередь обогащают теми ингредиентами, дефицит которых наиболее реален в той или иной местности [1–5]. При разработке и создании продуктов функционального назначения необходимо изучить химический состав сырья, пищевую ценность, специальные приёмы технологической обработки [6–14].

По теории Д. Поттера в качестве функциональных ингредиентов эффективно используются следующие виды:

пищевые волокна (растворимые и нерастворимые); витамины (А, группа В, D и т.д.); минеральные вещества (кальций, железо); полиненасыщенные жиры (растительные масла, рыбий жир, ω -3- и ω -6-жирные кислоты); антиоксиданты: β -каротин, витамин С (аскорбиновая кислота) и витамин Е (α -токоферол); пробиотики (препараты живых микроорганизмов); пребиотики (олигосахариды как субстрат для полезных бактерий) [15–17].

Разработаны технологии с использованием функциональных ингредиентов на производство групп молочных

Таблица 1. Степень удовлетворения суточной потребности организма человека в макронутриентах и макроэлементах

Показатели	Суточная потребность		Содержание в 100 г творожного продукта	Степень удовлетворения, %	
	для взрослых	для детей старше года		для взрослых	для детей старше года
Белок животный, г/сутки	29–58,5	21,6–52,2	22,9	52,3	62,0
Углеводы, г/сутки	257–586	170–420	10,5	2,5	3,6
Жиры, г/сутки	60–154	40–97	0,5	0,5	0,6
Кальций, мг/сутки	1000–1200	400–1200	480	43,6	60,0
Фосфор, мг/сутки	800	300–1200	340	42,5	45,3
Калий, мг/сутки	2500	400–2500	300	12,0	18,2

продуктов, предназначенных для питания различных категорий населения: с нарушенным обменом веществ — низкокалорийные продукты, обогащённые подсластителями; не переносящих лактулозу — продукты безлактозные; с заболеваниями желудочно-кишечного тракта — продукты с лактулозой; с заболеваниями сердечно-сосудистой системы — продукты, обогащённые природными антиоксидантами; для повышения сопротивляемости организма различным заболеваниям — продукты, обогащённые β-каротином и поливитаминными премиксами; для профилактики йододефицитных заболеваний — молочные продукты, обогащённые йодказеином; для поддержания костной структуры организма — продукты, обогащённые кальцием [18].

Обогащённые молочные продукты представлены двумя основными подгруппами: ферментированные молочные продукты, содержащие живые микроорганизмы пробиотического действия (лакто- и бифидобактерии); молоко и ферментированные молочные продукты, обогащённые витаминными, минеральными веществами, их премиксами и пищевыми волокнами.

Созданием молочных продуктов лечебной и профилактической направленности наиболее широко занимаются отраслевые институты Россельхозакадемии, специалисты

учебных отраслевых вузов, предприятий молочной отрасли [19, 20].

Перед нами поставлена задача — изучить удовлетворение суточной потребности в макронутриентах и минеральных веществах.

Макронутриенты (белки, жиры и углеводы) обеспечивают пластические, энергетические и иные потребности организма человека. Минеральные вещества играют важную роль в различных обменных процессах организма человека: выполняют пластическую функцию, участвуют в построении костной ткани, регуляции водно-солевого и кислотно-щелочного равновесия [21]. В таблице представлены результаты исследований удовлетворения суточной потребности организма человека в макронутриентах и макроэлементах (Са, К, Р) при потреблении 100 г творожного продукта «Кызыл эремсек».

Расчёт показал, что 100 г творожного продукта «Кызыл эремсек» удовлетворяет:

- для взрослых 52,3% от суточной потребности животного белка, 2,5% — углеводов, 0,5% — жиров, 43,6% — кальция, 42,5% — фосфора, 12,0% — калия;
- для детей старше года 62,0% от суточной потребности белка, 3,6% — углеводов, 0,6% — жиров, 60,0% — кальция, 45,3% — фосфора, 18,2% — калия.

Литература:

1. Наумова, Н.Л., Ребезов М.Б. Микроэлементный статус челябинцев как обоснование развития производства обогащенных продуктов питания. *Фундаментальные исследования*. 2012. №4—1. с. 196—200.
2. Тупиков, В.А., Наумова Н.Л., Ребезов М.Б. Элементный состав волос как отражение экологической ситуации. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура*. 2012. №21 (280). с. 119—122.
3. Асенова, Б.К., Амирханов К.Ж., Ребезов М.Б. Технология производства функциональных продуктов питания для экологически неблагоприятных регионов. *Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства*. 2013. №1. с. 313—316.
4. Догарева, Н.Г., Стадникова С.В., Ребезов М.Б. Создание новых видов продуктов из сырья животного происхождения и безотходных технологий их производства. В сборнике: *Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием)*. 2013. с. 945—953.
5. Ребезов, М.Б., Наумова Н.Л., Хайруллин М.Ф., Альхамова Г.К. Лукин А.А., Изучение отношения потребителей к обогащенным продуктам питания. *Пищевая промышленность*. 2011. №5. с. 13—15.
6. Асенова, Б.К., Ребезов М.Б., Топурия Г.М., Топурия Л.Ю., Смольникова Ф.Х. Контроль качества молока и молочных продуктов. Алматы: Халықаралық жазылым агентігі, 2013. 212 с.

7. Кондратьева, А. В., Ребезов М. Б., Мазаев А. Н., Богатова О. В. Управление качеством на молокоперерабатывающих предприятиях. Молодой ученый. 2014. № 11 (70). с. 55–59.
8. Попова, М. А., Ребезов М. Б., Гаязова А. О., Лукиных С. В. Оценка качества и безопасности разработанного йогурта. Молодой ученый. 2014. № 10 (69). с. 199–202.
9. Ребезов, М. Б., Мирошникова Е. П., Альхамова Г. К., Наумова Н. Л., Хайруллин М. Ф., Залилов Р. В., Зинина О. В. Методы исследований свойств сырья и молочных продуктов. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2011. 58 с.
10. Белокаменская, А. М., Ребезов М. Б., Мазаев А. Н., Ребезов Я. М., Максимюк Н. Н., Асенова Б. К. Исследование пищевых продуктов и продовольственного сырья на содержание ртути атомно-абсорбционным методом. Молодой ученый. 2013. № 10. с. 98–101.
11. Боган, В. И., Ребезов М. Б., Гайсина А. Р., Максимюк Н. Н., Асенова Б. К. Совершенствование методов контроля качества продовольственного сырья и пищевой продукции. Молодой ученый. 2013. № 10. с. 101–105.
12. Ребезов, М. Б., Белокаменская А. М., Зинина О. В., Наумова Н. Л., Максимюк Н. Н., Соловьева А. А., Солнцева А. А. Контроль качества результатов исследований продовольственного сырья и пищевых продуктов на содержание свинца. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2012. Т. 2. № 1. с. 157–162.
13. Ребезов, М. Б., Зыкова И. В., Белокаменская А. М., Ребезов Я. М. Контроль качества результата анализа при реализации методик фотоэлектрической фотометрии и инверсионной вольтамперометрии в исследовании проб пищевых продуктов на содержание мышьяка. Вестник Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. 2013. Т. 2. № 71. с. 43–48.
14. Ребезов, М. Б., Альхамова Г. К., Наумова Н. Л. Сроки хранения национального творожного продукта. Молочная промышленность. 2011. № 11. с. 66–67.
15. Альхамова, Г. К. Перспективы развития рынка творожных продуктов с функциональными свойствами. Современные проблемы науки и образования. 2011. № 5. с. 60.
16. Наумова, Н. Л., Ребезов М. Б., Варганова Е. Я. Функциональные продукты. Спрос и предложение. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2012. 78 с.
17. Ребезов, М. Б., Наумова Н. Л., Альхамова Г. К., Кожевникова Е. Ю., Сорокин А. В. Конъюнктура предложения обогащенных молочных продуктов на примере Челябинска. Молочная промышленность. 2011. № 8. с. 38–39.
18. Зобкова, З. С. Цельномолочные продукты, обогащённые функциональными ингредиентами и пищевыми добавками. Молочная промышленность. 2007. № 10. с. 75–76.
19. Альхамова, Г. К., Максимюк Н. Н., Наумова Н. Л., Амерханов И. М., Зинина О. В., Залилов Р. В., Ребезов М. Б. Новые творожные изделия с функциональными свойствами. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2011. 94 с.
20. Попова, М. А., Ребезов М. Б., Ахмедьярова Р. А., Косолапова А. С., Паульс Е. А. Перспективные направления производства кисломолочных продуктов, в частности йогуртов. Молодой ученый. 2014. № 9 (68). с. 196–200.
21. Горбатова, К. К. Биохимия молока и молочных продуктов. СПб.: ГИОРД, 2001. 320 с.

Жидкостекольные композиты специального назначения

Антонова Елена Александровна, студент;

Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Рассматриваются композиты для защиты от ионизирующего излучения на основе отходов стекольной промышленности. Определяются рецептурно-технологические параметры с использованием методов планирования эксперимента.

Ключевые слова: защита от радиации, жидкостекольные композиты, состав, рецептура, свойства.

В ядерной энергетике в основном используются бетоны на основе минеральных вяжущих с тяжелыми наполнителями. Рассматривалась возможность использования композитов на основе жидкого стекла с традиционными наполнителями и заполнителями: кварцевого песка, гранита, базальта и др. Однако они обладают малой плотностью, что можно устранить при использовании в качестве наполнителя отходов производства стекла (содержит до 70% оксида свинца). Идея создания таких материалов связана с именем А. П. Прошина [1]. В предлагаемых ниже материалах использовались: в качестве связующего — натриевое жидкое стекло (силикатный модуль $m=2,81$; содержит SiO_2 — 30,2%; Na_2O — 11,1%; со свойствами сильной щелочи); отвердителя — Na_2SiF_6 и K_2SiF_6 (технический порошок); наполнителя — отходы производства стекла $T\Phi-110$ ($\rho_0 = 5100 \text{ кг/м}^3$; состав по массе: Al_2O_3 — 0,3, Na_2O — 0,5, K_2O — 1,27,

SiO_2 — 27, PbO — 70,9). Вводились легирующие добавки: оксид свинца ($\rho_0 = 9500 \text{ кг/м}^3$); барит $BaSO_4$ ($\rho_0 = 4500 \text{ кг/м}^3$; удельная поверхность $170\text{--}180 \text{ м}^2/\text{кг}$). Наполнитель, ускоритель твердения и добавки тщательно перемешивались, затем вводилось жидкое стекло при дополнительном перемешивании (3–5 мин) до однородности смеси. Свойства композитов изучались на образцах-цилиндрах (диаметр — 30 мм, высота — 20–50 мм), призмах (40×40×60 мм) по традиционным методикам после хранения образцов в течение 28 суток в естественных условиях. Удельную поверхность определяли с использованием ПСХ–4; плотность жидкого стекла — ареометра при температуре 20°C; содержание Na_2O , SiO_2 ; плотность; прочность композита — по известным методикам; сопротивление удару — на копровой установке; радиационную стойкость (изменение прочности образцов на сжатие при поглощенной дозе γ -излучения) — на установке ГУРХ-1000. Линейный коэффициент ослабления γ -излучений определяли облучением материала радиоактивным источником Cs^{137} с поправками на непараллельность пучка. Регистрация осуществлялась сцинтилляционным γ -детектором на основе кристалла NaI и фотоумножителя ФЭУ–85. Коэффициент ослабления γ -излучения определяли по интенсивности пучка γ -квантов от источника без образца и после прохождения через образец с учетом фона [2].

Деформационные свойства определялись внедрением конусообразного индентора; линейная усадка — с использованием ИЗА-2; водопоглощение и водостойкость — по известным методикам. При структурном анализе получались рентгенограммы на дифрактометре ДРОН-2; использовался метод инфракрасной спектроскопии (диапазон частот: 400–4000 см^{-1} ; идентификация спектрального состава — по спектрам поглощения).

Для выбора гранулометрического состава отходов стекла ТФ-110 в композите определялись функции чувствительности, полученные методами математического планирования эксперимента [3]:

$$\frac{\partial Y}{\partial x_1} = 12,2 - 7,18x_4 + 2,8x_2x_4 + 2,8x_2x_3x_4,$$

$$\frac{\partial Y}{\partial x_2} = 2,8x_4 + 2,8x_1x_4 + 2,8x_3x_4 + 2,8x_1x_3x_4,$$

$$\frac{\partial Y}{\partial x_3} = -3,4x_4 + 2,8x_2x_4 + 2,8x_1x_2x_4,$$

$$\frac{\partial Y}{\partial x_4} = 7,2x_1 + 2,8x_2 - 3,4x_3 + 2,8x_1x_2 + 2,8x_2x_3 + 2,8x_1x_2x_3;$$

Y — плотность композита; $x_1 = 0,63\text{...}1,25$, $x_2 = 0,315\text{...}0,63$, $x_3 = 0,14\text{...}0,315$, $x_4 < 0,14$, — процентное содержание заполнителей с указанными диаметрами в мм. Адекватность проверялась по критериям Фишера и Стьюдента при надежности — 0,95. В результате оптимизации был получен гранулометрический состав по фракциям: $x_1 = 53,3\%$, $x_2 = 26,7\%$, $x_3 = 13,3\%$, $x_4 = 6,7\%$.

В результате исследований защитных свойств относительно γ -излучения получен композит с параметрами:

- линейный коэффициент ослабления γ -излучения — $0,3 \text{ см}^{-1}$ при энергии фотонов $0,662 \text{ МэВ}$;
- макроскопическое сечение выведения нейтронов деления — до $0,093 \text{ см}^{-1}$;
- плотность — 4130 кг/м^3 ;
- твердость — 400 МПа;
- модуль деформации — 35000 МПа;
- модуль упругости — 39000 МПа;
- коэффициент теплопроводности — $0,42 \text{ Вт/м}^0\text{К}$;
- водопоглощение — 1,5% (после трехмесячного пребывания образцов в воде);
- коэффициент водостойкости — до 0,91;
- температура размягчения — 600°C ;
- пористость — до 7%.

Композит содержит (по массе):

- жидкое стекло — 7,94%;
- наполнитель — 79,37%;
- ускоритель твердения Na_2SiF_6 — 0,79%;
- оксид свинца — 11,9%;
- В: Н по массе — 1:11,5;
- добавка от массы наполнителя — 15%

(давление прессования — 50 МПа).

Наблюдалось повышение твердости до поглощенной дозы 3,6 МГр, а при последующем увеличении дозы до 8,4 МГр — понижение твердости до 40%; снижение прочности на сжатие после поглощенной дозы γ -облучения до 8,4 МГр — до 20%. Образование новых кристаллических фаз по данным рентгеновского анализа при γ -облучения не было

обнаружено. Процесс кристаллизации происходил медленно; преобладали в структуре композита аморфные фазы даже по истечении двух лет. Данные инфракрасной спектроскопии показали уменьшение количества воды в композитах с возрастанием поглощенной дозы облучения (с 2,5 МГр); данные термического анализа показали устойчивость композита к γ -облучению.

Опытная эксплуатация композиционного материала показала его эффективность при защите конструкций от ионизирующих излучений.

Литература:

1. Прошин, А. П. и др. Разработка и управление качеством строительных материалов с регулируемой структурой и свойствами для защиты от радиации // Идентификация систем и задачи управления Sicproф 03: Труды II Международной конференции. — М.: ИПУ РАН. 2003. — с. 2437–2460. ISBN 5–201–14948–0.
2. Соломатов, В. И. и др. Композиционные материалы на основе жидкого стекла для защиты от радиации // Материалы научно-практической конференции «Долговечность строительных материалов и конструкций». — Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. — 2000. — 148 с.
3. Планирование эксперимента. Обработка опытных данных: монография/И. А. Гарькина [и др.]; под ред. проф. А. М. Данилова. — М.: Палеотип, 2005. — 272 с.

Определение параметров привода с упругими связями

Гарькин Игорь Николаевич, аспирант;

Гарькина Ирина Александровна, доктор технических наук, профессор;

Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Решением задачи идентификации определяются параметры привода с упругими связями. Дается методика построения динамической модели сложной колебательной управляемой модели. Определяются коэффициенты жесткости и демпфирования привода.

Ключевые слова: *объекты на подвижном основании, управление, моделирование, синтез, оптимизация упруго-вязких связей.*

Во многих практических случаях определение параметров динамической системы, в том числе и параметров привода представляет значительные трудности. Ниже предлагается комбинированный способ определения параметров сложных колебательных систем, в основе которого лежит сравнение операторов системы, полученных по результатам нормальной эксплуатации и решением задач идентификации в узком смысле (по заданной динамической модели).

Решение задач идентификации предполагает нахождение приближенного оператора в системе по синхронным изменениям входной и выходной величин в процессе нормальной эксплуатации. Но при этом имеет место неоднозначность динамической модели системы, что не позволяет при необходимости осуществить ее доработку, то есть решить задачу ее синтеза. В связи с этим представляется целесообразным решение одновременно с общей задачей идентификации задачи идентификации в узком смысле.

Предлагается следующая методика построения динамической модели объекта:

- определение спектрального состава ошибки системы по результатам нормальной эксплуатации (в том числе, вибрационной карты конструктивных элементов);
- определение собственных частот колебаний конструктивных элементов объекта на основе поверочных расчетов на жесткость, проведенных на этапе проектирования;
- выделение подсистем объекта, собственные частоты которых лежат в спектральном диапазоне ошибки;
- построение динамической модели.

Влияние конструктивных элементов на точность управления, особенно по скорости, требует значительных усилий для систем, работающих в области резонансных частот. Поэтому многое определяется интуицией проектировщика в процессе настройки системы управления [1...5].

Для иллюстрации определим параметры упругих связей привода системы, динамическая модель которой приводится к случаю стабилизации объекта на подвижном основании.

Линеаризованные уравнения движения системы в форме Лагранжа имеют вид:

$$M \ddot{x} + Md\ddot{\psi} = -2c \left[1 - \frac{l_n}{l_p^3} (l_p^2 - n^2) \right] \dot{x} - 2b \frac{n^2}{l_p^2} \dot{x} + 2cn^2 \frac{l_n \sqrt{l_p^2 - n^2}}{l_p^3} \psi + 2bn^2 \frac{\sqrt{l_p^2 - n^2}}{l_p^2} \psi,$$

$$Md \ddot{x} + (I_0 + Md^2) \ddot{\psi} + I_T \ddot{\phi} + I_P \ddot{\chi} = 2cn^2 \frac{l_n \sqrt{l_p^2 - n^2}}{l_p^3} x + 2bn^2 \frac{\sqrt{l_p^2 - n^2}}{l_p^2} \dot{x} - \left[2cn^2 \frac{l_n (l_p^2 - n^2)}{l_p^3} + Mgd \right] \psi - 2bn^2 \frac{l_p^2 - n^2}{l_p^2} \psi,$$

$$I_T (\ddot{\psi} + \ddot{\phi}) = c_{\Pi} \left(\frac{\chi}{l} - \phi \right) + b_{\Pi} \left(\frac{\dot{\chi}}{l} - \dot{\phi} \right),$$

$$I_{\Pi} (\ddot{\psi} + \ddot{\phi}) = k_{\mathbf{M}} u - F \dot{\chi} - \frac{c_{\Pi}}{i} \left(\frac{\chi}{i} - \phi \right) - \frac{b_{\Pi}}{i} \left(\frac{\dot{\chi}}{i} - \dot{\phi} \right).$$

Добавив уравнение усилителя системы стабилизации

$$T \dot{u} + u = -k(\chi + \phi)$$

к системе уравнений, получим замкнутую систему уравнений движения.

Приняты обозначения:

ψ — абсолютный угол поворота платформы,

χ — угол поворота ротора двигателя относительно платформы,

ϕ — угол поворота объекта относительно платформы,

x, y — декартовы координаты точки A платформы (лежит на оси симметрии),

M — масса всей системы,

d — расстояние от центра тяжести системы до точки A ,

c, b — коэффициенты жесткости и демпфирования нитей соответственно,

c_{Π}, b_{Π} — коэффициенты жесткости и демпфирования привода соответственно,

l_n, l_p — длины нитей соответственно натуральная и в положении равновесия,

I_0, I_T, I_P — моменты инерции соответственно всей системы относительно оси, проходящей через ее центр тяжести: объекта относительно оси вращения и ротора двигателя с приведенными к нему моментами инерции элементов редуктора;

$k_{\mathbf{M}}$ — крутизна моментной характеристики двигателя,

F — коэффициент индуктивного сопротивления двигателя,

k, T — соответственно коэффициент усиления и постоянная времени усилителя,

i — передаточное отношение редуктора.

Проиллюстрируем решение задачи идентификации привода при известных параметрах привода:

$$M = 546 \text{ кг} \cdot \text{с}^2 / \text{м}; d = 3,43 \text{ м}, c = 1,1 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{м}, b = 10^2 \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{м}, I_0 = 2,23 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2, I_T = 2,2 \cdot 10^2 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2,$$

$$I_{\delta} = 1,53 \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2, i = 3,7 \cdot 10^5, l_n = 68,8 \text{ м}, l_p = 69 \text{ м}, n = 1 \text{ м}, k_{\mathbf{M}} = 1,65 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{в},$$

$$F = 6,6 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с} / \text{рад}, k = 4 \cdot 10^3 \text{ в} / \text{рад}, T = 3 \cdot 10^{-2} \text{ с}. \text{ При значениях параметров}$$

$c_{\Pi} = 1,88 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{рад}, b_{\Pi} = 100 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с} / \text{рад}$ система уравнений с хорошей точностью описывает работу привода. При этом в качестве входной величины принимается угловая скорость ротора двигателя, приведенная к выходному валу редуктора $\frac{\chi}{i}$, а выходной — абсолютная угловая скорость объекта. Колебания объекта на собственной частоте

$f_0 = 4,5 \text{ гц}$ оказывает существенное влияние на ошибку системы стабилизации по скорости. Увеличение коэффициентов жесткости и демпфирования привода (в реализуемых пределах) существенно уменьшает влияние упругости привода на ошибку системы.

Предложенная методика легко адаптируется к исследованию подъемно-транспортных средств.

Литература:

1. Будылина, Е. А., Гарькина И. А., Данилов А. М., Махонин А. С. Основные принципы проектирования сложных технических систем в приложениях/Молодой ученый. — №5. 2013. — с. 42–45.
2. Гарькина, И. А., Данилов А. М., Домке Э. Р. Промышленные приложения системных методологий, теорий идентификации и управления/Вестник МАДИ. — 2009. — №2 (17). — с. 77–82.
3. Будылина, Е. А., Гарькина И. А., Данилов А. М. Моделирование с позиций управления в технических системах/Региональная архитектура и строительство. — 2013. — №2 (16). — с. 138–142.
4. Гарькина, И. А., Данилов А. М. Управление в сложных технических системах: методологические принципы управления/Региональная архитектура и строительство. — 2012. — №1 (12). — с. 39–43.
5. Будылина, Е. А., Гарькина И. А., Данилов А. М. Приближенные методы декомпозиции при настройке имитаторов динамических систем/Региональная архитектура и строительство. — 2013. — №3 (17). — С. 150–156.

Модель реконструкции 3D-сцен с учетом эпиполярных ограничений

Гошин Егор Вячеславович, аспирант

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва

Работа посвящена задаче реконструкции трехмерных сцен по стереоизображениям. Предложена модель сопоставления изображений с учетом эпиполярных ограничений, которая позволяет избежать процедуры ректификации, вносящей дополнительные искажения.

Ключевые слова: модель, стереоизображения, эпиполярная геометрия

Задачей настоящей работы является построение модели реконструкции 3D сцен, позволяющей избежать проективных преобразований стереоизображений до начала этапа поиска соответствующих точек. Данная модель является обобщением методов и алгоритмов, предложенных автором в работах [1–4]. Эта модель должна предусматривать возможность поиска соответствующих точек непосредственно на исходных стереоизображениях. Построение такой модели связано с двумя принципиально важными аспектами проблемы.

Эпиполярные линии на стереоизображениях описываются уравнением прямой, поэтому координаты соответствующих точек на них — вещественные числа. В то же время соответствующие фрагменты на стереоизображениях характеризуются функциями распределения яркости на дискретном множестве отсчетов изображений и могут быть определены лишь с точностью до величины межпиксельного расстояния. В связи с указанной проблемой в рамках общей модели учета эпиполярных ограничений возникают следующие две задачи.

1. Разработка метода и численного алгоритма поиска соответствующих фрагментов с дискретными отсчетами яркостей изображений на стереоизображениях с использованием множества заданных на эпиполярных прямых точек, имеющих вещественные координаты.

2. Разработка и исследование вычислительной схемы поиска соответствующих фрагментов в некоторой окрестности эпиполярной линии путем учета близости этого фрагмента к ней.

В первом случае мы предполагаем реализацию схемы, в которой сначала задается некоторое множество точек с вещественными координатами на эпиполярных прямых, и для этих точек подбираются наиболее подходящие соответствующие фрагменты изображений с использованием специально формируемых для этой цели дескрипторов. Во втором случае наиболее «похожие» соответствующие фрагменты подбираются в некоторой окрестности эпиполярных линий с учетом их близости к эпиполярным линиям.

В обоих случаях для реализации указанных схем учет эпиполярных ограничений должна быть известна фундаментальная матрица. Если известны параметры камер, фундаментальная матрица может быть вычислена точно. Если параметры камер не известны, эта матрица может быть оценена по соответствующим точкам на этих же стереоизображениях.

Общая модель реконструкции трехмерных сцен с учетом эпиполярных ограничений строится следующим образом. Предполагается, что заданы два стереоизображения: $I(u, v)$, $I'(u', v')$ заданных размеров. Каждый отсчет (пиксел) изображения имеет целочисленные координаты u и v и характеризуется значением яркости. Для указанной пары изображений считаются известными (заданными):

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 12–07–00581, № 13–07–12030 офи_м, № 13–07–13166).

1) Фундаментальная матрица F (или уравнения эпиполярных линий) и определяемые ими допустимые множества точек $\Theta = \{(u, v)\}$, $\Theta' = \{(u', v')\}$, среди которых ищутся соответственные, где u , v , u' и v' — координаты этих точек.

2) Правило формирования окрестностей (фрагментов изображений) $D(u, v)$ и $D'(u', v')$ для точек (u, v) , (u', v') из допустимого множества в виде множества целочисленных отсчетов и критерий близости

$$J(u, v, D(u, v), u', v', D'(u', v')) \quad (1)$$

этих фрагментов.

Задача сопоставления изображений состоит в поиске соответствующей точки (\hat{u}', \hat{v}') для точки (u_0, v_0) путем решения задачи минимизации:

$$(\hat{u}', \hat{v}') : Q(\hat{u}', \hat{v}') = \min_{(u', v') \in \Theta'} Q(u', v'), \quad (2)$$

где

$$Q(u', v') = J(u_0, v_0, D(u_0, v_0), u', v', D'(u', v')). \quad (3)$$

Эта модель может иметь различные формы в зависимости от способа реализации п. 1 и 2 модели. Рассмотрим некоторые частные случаи реализации эпиполярных ограничений.

Основное эпиполярное ограничение записывается в виде равенства (4)

$$\mathbf{m}' \mathbf{F} \mathbf{m} = 0. \quad (4)$$

Это соотношение можно также представить в виде:

$$d(\mathbf{m}', \mathbf{l}') = 0, \quad (5)$$

где $d(\mathbf{m}', \mathbf{l}')$ — расстояние от точки (u', v') до эпиполярной прямой \mathbf{l}' , соответствующей точке \mathbf{m} :

$$d(\mathbf{m}', \mathbf{l}') = \frac{au' + bv' + c}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (6)$$

(здесь \mathbf{l}' представлена как $ax' + by' + c = 0$). Учет эпиполярных ограничений может быть осуществлен, по крайней мере, двумя различными способами.

Ограничение в виде равенства:

$$d(\mathbf{m}', \mathbf{l}') = 0. \quad (7)$$

Это равенство накладывает строгое условие на соблюдение эпиполярных ограничений. В большинстве случаев, данное требование может быть выполнено только в случае вещественных координат сопоставляемых точек. Кроме того, фундаментальная матрица в этом случае должна быть вычислена точно.

Ограничение в виде неравенства:

$$d(\mathbf{m}', \mathbf{l}') < T. \quad (8)$$

Это ограничение создает «полосу» вдоль эпиполярной линии, внутри которой может быть найдена соответственная точка. Этот способ учета эпиполярных ограничений требует выбора порога, что может представлять некоторые трудности.

Эпиполярные ограничения могут также задаваться в виде требования близости к эпиполярной линии. Учет этих требований может быть реализован, например, в виде весового коэффициента штрафа:

$$\forall d(\mathbf{m}'_1, \mathbf{l}') > d(\mathbf{m}', \mathbf{l}') : J(u_0, v_0, u', v', d(\mathbf{m}'_1, \mathbf{l}')) > J(u_0, v_0, u', v', d(\mathbf{m}', \mathbf{l}')). \quad (9)$$

В этом случае величина критерия зависит от величины расстояния от точки до эпиполярной линии. При этом зависимость должна быть монотонно возрастающей. В данном случае наиболее подходящей является форма записи эпиполярного ограничения в виде соотношений (5), (6). В этом представлении величина «невязки» не зависит от абсолютных координат выбранных точек, в отличие от исходного способа записи (4).

Вид используемого критерия и способы реализации эпиполярных ограничений, в свою очередь, определяют способ восстановления трехмерной модели. Далее рассмотрим два способа определения координат точек сцены в рамках предложенной модели. Вначале рассмотрим случай, когда соответствующие точки \mathbf{m} и \mathbf{m}' на стереопаре изображений левого и правого вида соответственно точно принадлежат эпиполярным линиям. Ясно, что при этом их координаты, скорее всего, будут вещественными (не целыми) числами.

Рассмотрим первый вариант учета эпиполярных ограничений, когда для заданных точно на эпиполярных прямых точек подбираются наиболее похожие дискретные окрестности. Для начала формально запишем все элементы метода, входящие в предложенную модель.

1) Множества сопоставляемых точек $\Theta = \{(u, v)\}$ и $\Theta' = \{(u', v')\}$ представляют собой набор точек, выбранных с фиксированным шагом на соответствующих эпиполярных линиях. Множество эпиполярных линий задается таким образом, чтобы получить «облако» точек восстанавливаемой сцены с требуемым разрешением.

2) В качестве окрестности для каждой вещественной точки $D(u_0, v_0)$ выбираются вершины единичного квадрата, внутрь которого попадает эта точка.

3) В качестве дескриптора выступает интерполированная яркость и интерполированные градиенты по направлениям, рассчитанные по окрестности выбранной точки.

4) Критерий качества $J(u_0, v_0, D(u_0, v_0), u', v', D'(u', v'))$ задается в виде нормы разности соответствующих дескрипторов по сопоставляемым точкам и соседним с ними, расположенным на той же эпиполярной прямой.

5) Эпиполярные ограничения в задаче минимизации учитываются в виде равенства (7), т. е. соответствия устанавливаются только между точками, расположенными на соответствующих эпиполярных прямых.

Вычислительный алгоритм, выполняемый при указанных условиях, реализован и исследован в работах автора [1–3].

В ситуации, когда направления эпиполярных линий примерно одинаковы, что характерно, например, для космических стереоизображений, более подходящим является второй способ учета эпиполярных ограничений. При этом принимаются во внимание следующие условия.

1) Множество сопоставляемых точек $\Theta = \{(u, v)\}$ и $\Theta' = \{(u', v')\}$ представляет собой множество дискретных отсчетов на изображениях в окрестностях эпиполярных линий, определяемых неравенством (8).

2) В качестве сопоставляемого фрагмента изображения $D(u_0, v_0)$ для точки (u_0, v_0) принимается область вокруг этой точки с заданными фиксированными размерами и формой.

3) Дескриптором для точки (u_0, v_0) является множество значений яркостей отсчетов из области $D(u_0, v_0)$ в окрестности этой точки.

4) Критерий $J(u_0, v_0, D(u_0, v_0), u', v', D'(u', v'), F)$ представляет собой меру сходства двух фрагментов, которая учитывает значения координат, интенсивностей отсчетов, а также близость точки к соответствующей эпиполярной линии.

В условиях 1 и 4 содержатся эпиполярные ограничения, задаваемые соотношением (8), а также накладывается требование близости к эпиполярной линии. Вычислительный алгоритм, соответствующий указанным условиям, исследован автором в работе [4].

Использование предложенной модели реконструкции позволяет избежать применения в явном виде ректификации и связанных с ней искажений изображений. Вместе с тем, эпиполярные ограничения, задающие решение в одной плоскости позволяют получить достаточно высокое качество реконструкции сцены

Автор выражает благодарность научному руководителю, д. т. н., профессору Фурсову В. А. за помощь при подготовке настоящей работы и ряд важных замечаний.

Литература:

1. Гошин, Е. В. Реконструкция 3D-сцен на пучках эпиполярных плоскостей стереоизображений/В. А. Фурсов, С. А. Бибииков, Е. В. Гошин // Мехатроника, Автоматизация, Управление — М., №9 (150), 2013. — С. 19–24.
2. Гошин, Е. В. Реконструкция 3D-сцен по неректифицированным стереоизображениям с прореживающей фильтрацией/В. А. Фурсов, Е. В. Гошин // «Известия Самарского научного центра РАН» — М., №9 (150), 2013. — С. 19–24.
3. Goshin Ye.V. 3D Scene Reconstruction From Unrectified Stereo Images/V.A. Fursov, Ye.V. Goshin // 11th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-11–2013). — 2014. — с. 190–193.
4. Гошин, Е. В. Информационная технология реконструкции цифровой модели местности по стереоизображениям/В. А. Фурсов, С. А. Бибииков, Е. В. Гошин // Компьютерная оптика — Самара, Том 38, №2, 2014.. — С. 19–24

История одного радиоприемника

Гумерова Диана Дамилевна, студент

Тобольская государственная социально-педагогическая академия им. Д. И. Менделеева

Задача моего исследования заключается в том, чтобы проследить историю развития радиовещания СССР на основе истории приемника ТПС-58 и его значение в жизни людей.

В первые же годы существования советской власти основоположники и руководители советского государства В. И. Ленин и И. В. Сталин оценили громадное значение радио для широкой пропаганды идей коммунизма. Этим объясняется то исключительное внимание и постоянная поддержка, которые они оказывали развитию радиовещания и отечественной радиотехники. Страна лежала в руинах после Первой мировой войны. Россия была очень отсталой страной, специалистов и технической культуры почти не было.

Производства радиотехники вообще не было. Правительство поставило задачу: в кратчайшее сроки охватить радиовещанием всю страну. Задача была почти неразрешимой. Советские радиоспециалисты первыми в мире применили проводную радиофикацию типа радиоприемник — трансляционный узел как самый оптимальный и недорогой вариант, и, как оказалось, не ошиблись. Непомерными усилиями советских инженеров уже к 1928 году насчитывалось 22 тыс. радиотрансляционных точек. В 1940 году уже существовало 6 млн. радиоточек советского производства. Понять эту историю создания советского радиовещания можно, рассматривая историю приемника ТПС-58, которую восстановили студенты ТГСПА.

Разработать свою техническую базу было очень сложно, поэтому в конце 1920-х просто начали копировать американские приемники фирмы VCA Victor. Работы

велись кустарным способом. Выпускали копии американских ламп. По этому случаю был даже международный скандал. Вскоре был подписан договор о технической помощи. Основной составляющей этого договора была помощь в производстве современных радиоламп. Договор с фирмой RCA предусматривал обучение наших инженеров, поэтому последующую модернизацию и реконструкцию аппарата производили только наши инженеры. В дальнейшем, к 1938 году, была разработана и внедрена целая серия ламп, таких как на RCA, Ken-Rad, Tung-Sol. В приемниках более позднего типа применены лампы 6Ф8, 6К7, 6П3, 6Е5 и др. С их помощью были конструированы бытовые радиоприемники и переносные радиостанции. Советские ученые разработали 6-ламповый и 9-ламповый приемники. За их основу были взяты наиболее современные модели образцов 1936 г. — RCA — 6Т2 для будущего 6Н1.

Из этих радиоприемников и создавались базовые радиоузлы. Первым стал приемник СВД-1 (Супергедеродин всеволновый с динамиком). Это был приемник для состоятельных потребителей и номенклатуры в хорошем корпусе (6Н-1, 9Н-4). Приемник обладал очень хорошими техническими характеристиками и технологичностью производства. Наши инженеры вначале упростили радиоприемник, также приспособили для массового производства и военной промышленности под маркой целой серии ТМ-1, ТМ-7, ТМ-8. В тяжелые военные годы эти радиоприемники сослужили хорошую службу. Они также приспособлялись для пехоты (Р13), танков и самолетов (тип КС-2, МУСС-1), а для радиостанций разбирались и приспособлялись радиолампы. Существует



Рис. 1. Приемник ТПС-58



Рис. 2. Американский приемник RCA 6T2



Рис. 3. Советский приемник 6Н-1

приказ от 15 декабря 1941 г. Народного комиссара электропромышленности, который гласит: «...организовать производство полевых радиостанций РБ из деталей приемника 6Н-1... в количестве 600 шт. на заводе №6 и 250 шт. на заводе №197 ...» В блокадном Ленинграде радиолюбители из сданных жителями приемников 6Н-1 создавали радиостанцию для военных типа РЛ-6. В основе всех созданных аппаратов были 6Н-1 (лампы, радиодетали, шасси). Также вещание, созданное на основе этих радиоприемников, оставалось единственным средством оповещения населения об авиационных налетах и основным источником информации о положении на фронтах, международной ситуации, внутренней жизни страны, а музыкальные и литературно-художественные передачи помогали укреплять душевное состояние людей. Уже после службы на войне они возвращались в мирную жизнь. Немного измененная СВД стала ПТС-47. Изменился корпус и шкала. В 1947 г. Создается радиозавод в Петропавловске, первое, что он осваивает, — ту же базовую 6Н-1, под маркой УТС48.

В процессе модернизации в послевоенное время появился усовершенствованный ТПС-54, далее десятиламповый трансляционный приемник ТПС-58. Основным его предназначением было осуществление приема удаленных радиостанций и дальнейшая их трансляция в сети

абонентского проводного вещания населенных пунктов или предприятий, озвучивание территорий, парков, санаторий, также он широко применялся на радиоузлах железнодорожных составов.

В середине 1970-х годов эпоха лампового радиоэфира подошла к своему завершению. Хотя и век его был не так долог, можно отметить, что вклад ламповых трансляционных приемников был огромный, среди них патриарх — созданная американской фирмой RCA, доведенная до совершенства советскими инженерами модель 6Н-1, она же RCA-140 фирмы «VICTOR», служившая большую службу долгое время учебным пособием для будущих радиоинженеров. И сегодня ее правнук, ТПС-58, продолжает службу как музейный экспонат и действующий учебник для сегодняшних студентов. Такова история и тяжелая служба одного забытого радиоприемника. История этого аппарата отражает историю СССР, становления его индустрии и технологии. Это поиск хорошего аппарата, изучение его устройства, обучение на его основе своих специалистов и доведение его до совершенства. Так СССР учился, создавал, побеждал и в чем-то опережал мировые технологии. Показательно в этом отношении высказывание современного геолога А.Е. Ферсмана: «Нет пределов фантазии, нет границ проникновения разума, нет пределов технической мощи, побеждающей природу»

Литература:

1. Клоков, И. В. Боевая вахта связистов. — Электросвязь, 1975, №5

2. Электросвязь: ежемесячный научно-технический журнал по проводной и радиосвязи, телевидению, радиовещанию

Требования к процессу транспортирования мясной продукции и сырья для их производства

Дуць Анна Олеговна, магистрант;

Ребезов Ярослав Максимович, магистрант;

Губер Наталья Борисовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (г. Челябинск)

Зинина Оксана Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова (Челябинская обл.)

Разработка новых мясных продуктов должна удовлетворять потребностям и ожиданиям потребителей, соответствовать утвержденным показателям качества и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов [1–13]. На кафедре прикладной биотехнологии ЮУрГУ проводятся исследования по направлению «Мясные сэнки» [14–27].

Требования к процессу транспортирования мясных сэнков и сырья для их производства регламентированы ТР ТС 034/2013 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции» и ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции».

Перевозка (транспортирование) пищевой продукции осуществляется транспортными средствами соответствии с условиями перевозки (транспортирования), установленными изготовителями такой продукции, а в случае их отсутствия — в соответствии с условиями хранения пищевой продукции, установленными изготовителем такой продукции. Конструкция грузовых отделений транспортных средств и контейнеров должна обеспечивать защиту пищевой продукции от загрязнения, проникновения животных, в том числе грызунов и насекомых, проведение очистки, мойки, дезинфекции.

Грузовые отделения транспортных средств, контейнеры и емкости, используемые для перевозки (транспортирования) пищевой продукции, должны обеспечивать возможность поддержания условий перевозки (транспортирования) и (или) хранения пищевой продукции. Транспортные средства и/или контейнеры, предназначенные для перевозки продуктов убоя и мясной продукции, должны содержаться в чистоте, проходить санитарную обработку, согласно утвержденному графику санитарной обработки в рамках производственного контроля, быть в исправном состоянии. Поверхности транспортных средств и/или контейнеров, которые непосредственно контактируют с продукцией, должны быть выполнены из водонепроницаемых, неабсорбирующих, моющихся и нетоксичных материалов, а также должны конструк-

тивно обеспечивать эффективную защиту продукции от загрязнения и допускать регулярную санитарную обработку и дезинфекцию. Внутренняя поверхность грузовых отделений транспортных средств и контейнеров должна быть выполнена из моющихся и нетоксичных материалов. При перевозке туш, полутуш и четвертей туши транспортные средства и/или контейнеры должны быть оборудованы средствами для возможности их вертикальной перевозки, установленными на высоте, исключающей соприкосновение туш, полутуш и четвертей туши с полом.

Допускается использование транспортных средств и контейнеров, прошедших санитарную обработку и дезинфекцию, для перевозки продуктов убоя и мясной продукции после перевозки в них животных или любого другого груза. Транспортные средства и/или контейнеры, предназначенные для перевозки продуктов убоя и мясной продукции, должны быть оборудованы средствами, позволяющими соблюдаться установленный температурно-влажностный режим, а так же средствами для записи температур. Грузовые отделения транспортных средств и контейнеры должны подвергаться регулярной очистке, мойке, дезинфекции с периодичностью, необходимой для того, чтобы грузовые отделения транспортных средств и контейнеры не могли являться источником загрязнения продукции. Вода, используемая для мойки внутренних поверхностей грузовых отделений транспортных средств и контейнеров, должна соответствовать требованиям к питьевой воде, установленным законодательством государств-членов Таможенного союза.

В соответствии с ТР ТС 021/2011 не допускается совместная перевозка в одном транспортном средстве и/или контейнере: продуктов убоя и мясной продукции с иной пищевой продукцией и грузами; продуктов убоя и мясной продукции различного термического состояния; продуктов убоя, мясной продукции с продуктами, предназначенными для производства технической продукции (шкура, кость и др.).

Не допускается перевозка продуктов убоя и мясной продукции навалом без использования транспортной

или потребительской тары. После окончания процесса перевозки транспортное средство и/или контейнер необходимо подвергать санитарной обработке и/или дезинфекции (при необходимости). Лица, участвующие в процессе перевозки продуктов убоя и мясной продукции должны проходить предварительные (при поступлении на работу) и периодические (в течение трудовой деятельности) медицинские осмотры в порядке, установленном законодательством сторон.

Охлажденные пищевые продукты убоя (для производства мясных снежков) перевозятся при температуре от 0 °С до плюс 4 °С, замороженные — от минус 1 °С до минус 3 °С, замороженные — не выше минус 8 °С. Не допускается хранение охлажденной, замороженной и замороженной продукции в неохлаждаемых помещениях до погрузки в транспортное средство и/или контейнер. При хранении мясных снежков должны соблюдаться условия хранения и срок годности, установленные изготовителем. Установ-

ленные изготовителем условия хранения должны обеспечивать соответствие пищевой продукции требованиям настоящего технического регламента и технических регламентов Таможенного союза на отдельные виды пищевой продукции.

Мясные снежки, находящиеся на хранении, должны сопровождаться информацией об условиях хранения, сроке годности. При реализации мясных снежков должны соблюдаться условия хранения и сроки годности, установленные ее изготовителем. В случае если осуществляется реализация мясных снежков, неупакованных в потребительскую упаковку или часть информации о которой размещена на листках или вкладышах, прилагаемых к упаковке, продавец обязан довести информацию о такой продукции до потребителя.

Выполнение требований ТР ТС способствует обеспечению реализации потребителям соответствующей требованиям безопасности продукции.

Литература:

1. Губер, Н. Б., Ребезов М. Б., Асенова Б. К. Перспективные способы разработки мясных биопродуктов. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2014. Т. 2. № 1. с. 72–79.
2. Губер, Н. Б., Ребезов М. Б., Топурия Г. М. Минимизация рисков при внедрении технологических инноваций в мясной промышленности (на примере Южного Урала). Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2014. Т. 8. № 2. с. 180–188.
3. Губер, Н. Б., Ребезов М. Б., Топурия Г. М.. Инструменты снижения рисков при реализации инновационных проектов в сфере продуктов питания животного происхождения. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2014. Т. 8. № 1. с. 156–159.
4. Белокаменская, А. М., Ребезов М. Б., Мухамеджанова Э. К. Подбор современного оборудования для определения токсичных элементов с целью обеспечения качества испытаний. Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства. 2013. № 1. с. 292–296.
5. Ребезов, М. Б., Амерханов И. М., Альхамова Г. К., Етимбаева Р. Р. Конъюнктура предложения мясных продуктов «Халяль» на примере города Челябинска. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 77. с. 915–924.
6. Ребезов, М. Б., Наумова Н. Л., Хайруллин М. Ф., Альхамова Г. К., Лукин А. А. Изучение отношения потребителей к обогащенным продуктам питания. Пищевая промышленность. 2011. № 5. с. 13–15.
7. Ребезов, М. Б., Зинина О. В., Максимюк Н. Н., Соловьева А. А. Использование животных белков в производстве мясопродуктов. Вестник Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. 2014. № 76. с. 51–53.
8. Ребезов, М. Б., Зыкова И. В., Белокаменская А. М., Ребезов Я. М. Контроль качества результата анализа при реализации методик фотоэлектрической фотометрии и инверсионной вольтамперометрии в исследовании проб пищевых продуктов на содержание мышьяка. Вестник Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. 2013. Т. 2. № 71. с. 43–48.
9. Соловьева, А. А., Зинина О. В., Ребезов М. Б., Лакеева М. Л., Гаврилова Е. В. Актуальные биотехнологические решения в мясной промышленности. Молодой ученый. 2013. № 5. с. 105–107.
10. Асенова, Б. К., Амирханов К. Ж., Ребезов М. Б. Технология производства функциональных продуктов питания для экологически неблагоприятных регионов. Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства. 2013. № 1. с. 313–316.
11. Ребезов, М. Б., Белокаменская А. М., Зинина О. В., Наумова Н. Л., Максимюк Н. Н., Соловьева А. А., Солнцева А. А. Контроль качества результатов исследований продовольственного сырья и пищевых продуктов на содержание свинца. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2012. Т. 2. № 1. с. 157–162.
12. Лукиных, С. В., Ребезов М. Б., Косолапова А. С., Ахмедьярова Р. А., Паульс Е. А. Исследование рынка производства продуктов из мяса птицы. Молодой ученый. 2014. № 9. с. 175–178.
13. Белокаменская, А. М., Ребезов М. Б., Мазаев А. Н., Ребезов Я. М., Зинина О. В. Применение физико-химических методов исследований в лабораториях Челябинской области. Молодой ученый. 2013. № 4. с. 48–53.

14. Дуць, А. О., Полтавская Ю. А., Губер Н. Б., Хайруллин М. Ф., Асенова Б. К. Качество как основа конкурентоспособности мясопродуктов. Молодой ученый. 2013. № 10. с. 131–134.
15. Дуць, А. О., Ребезов М. Б., Ребезов Я. М., Ковтун М. А., Зинина О. В. Разработка «Дома качества» для производства мясных снежков. Молодой ученый. 2014. № 9. с. 135–139.
16. Дуць, А. О., Ребезов Я. М., Губер Н. Б., Ковтун М. А., Асенова Б. К., Окрусханова Э. К., Азильханов А. С. Разработка программы испытаний и контроля качества мясных снежков. Молодой ученый. 2014. № 8. с. 166–169.
17. Дуць, А. О., Ребезов Я. М., Ковтун М. А., Губер Н. Б., Зинина О. В. Мясные снежки (исторические аспекты). Молодой ученый. 2014. № 8. с. 170–172.
18. Полтавская, Ю. А., Ребезов М. Б., Соловьева А. А., Тарасова И. В., Зинина О. В., Асенова Б. К. Применение стартовых культур в мясоперерабатывающей промышленности. Молодой ученый. 2014. № 8. с. 229–232.
19. Ребезов, М. Б., Топурия Г. М., Асенова Б. К. Виды опасностей во время технологического процесса производства сыровяленых мясопродуктов и предупреждающие действия (на примере принципов ХАССП). Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2014. Т. 2. № 1. с. 60–66.
20. Ребезов, М. Б., Хайруллин М. Ф., Зинина О. В., Дуць А. О., Соловьева А. А., Солнцева А. А., Варганова Е. Я., Аксенова М. О. Установление сроков хранения мясных снежков. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 77. с. 403–412.
21. Ребезов, Я. М., Дуць А. О., Ребезов М. Б., Ковтун М. А., Асенова Б. К., Окрусханова Э. К., Азильханов А. С. Оценка соответствия разработанного мясопродукта (мясные снежки) требованиям безопасности. Молодой ученый. 2014. № 8. с. 238–243.
22. Способ изготовления мясных снежков (варианты). Хайруллин М. Ф., Ребезов М. Б., Лукин А. А., Зинина О. В., Наумова Н. Л., Лакеева М. Л., Максимюк Н. Н., Дуць А. О., Ребезов Я. М.. Патент на изобретение RUS 247052907.07.2011
23. Способ производства деликатесного продукта. Хайруллин М. Ф., Лукин А. А., Ребезов М. Б. Патент на изобретение RUS 244770216.06.2010.
24. Хайруллин, М. Ф., Дуць А. О. Изучение существующих аналогов и создание модели перспективного биомясопродукта «Мясные снежки». Молодой ученый. 2013. № . с. 26–28.

Detection and removal of spikes present in synchronized phasor measurements

Иванов Игорь Евгеньевич, инженер

Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

Igor Ivanov, engineer

Ivanovo State Power University (Ivanovo, Russia)

The author describes a technique aimed at the automatic removal of spikes from current and voltage measurements sourced from phasor measurement units. The developed algorithm has been tested on both simulated and real signals, and the obtained results clearly show its effectiveness.

Key words: *phasor measurement unit, synchronized phasor measurements, synchronization error, spike, median filter, normal distribution, standard deviation, median absolute deviation.*

Introduction. Synchronized phasor measurements of currents and voltages on high voltage transmission lines have become one of the most attractive technologies in electrical power systems worldwide. They can potentially be utilized for a variety of applications such as advanced power system monitoring, adaptive relay protection, and automatic voltage regulation, just to name a few [1–3]. Developed in early 1980s [4], phasor measurement units (PMUs) are now increasingly being used in different parts of the world [5].

Although the technology has already received significant attention, and even more applications of it will probably be suggested in the coming years, there are serious challenges

that need to be addressed before synchronized measurements can be utilized to their full potential. Some of the issues include developing a strategy for optimal placement of PMUs in power systems, processing and transferring a large amount of data in real time, and improving the PMU performance under transients or off-nominal frequencies [5, 6]. Another important problem is timing accuracy. The very name of the technology (and its key feature leading to the many applications mentioned above) suggests that phasor measurements should be taken synchronously. In other words, a very precise time stamp should be assigned to every captured phasor. Modern satellite-synchronized clocks can provide

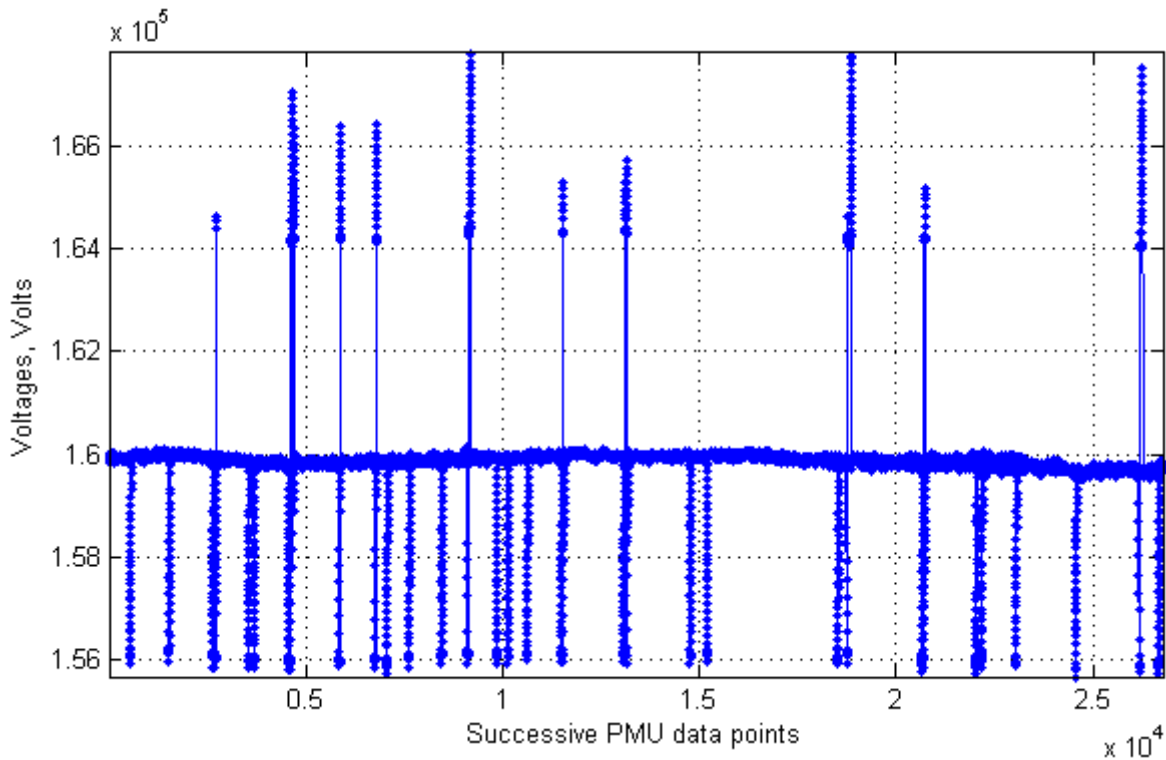


Fig. 1. A signal with many spikes sourced from a PMU

± 100 ns accurate time signals [7]. However, various communication problems could appear resulting in synchronization errors [8]. Obviously, bad synchronization ruins many advantages of the new technology over traditional measurements. Along with synchronization problems, PMUs could have firmware issues. A good thing is that these problems are often temporary. They reveal themselves as spikes on a plot of a voltage or current signal measured by a PMU. Spikes are groups of points (successive measurements) that clearly stand out against the bulk of the other points (Fig. 1). The rest of the paper describes an algorithm developed by the author in order to detect such spiky parts and cut them off from PMU measurements.

Proposed algorithm for spike detection and removal.

The idea is based on computing all signal changes from one measurement to another, and deciding if a specific change was likely to have been caused by a synchronization error or another issue rather than by a power system change of state. In a steady state, voltages and currents usually change in a smooth way so we would not expect to find a sudden «jump». As can be seen in Fig. 1, the data points are concentrated around the value of $1.6 \cdot 10^5$ Volts most of the time. This means that signal point-to-point changes i. e. the gaps between any two adjacent points (which will be referred to as «fluctuations») are expected to take on a rather narrow set of values. In order to decide whether a fluctuation is reliable enough, some criterion should be specified. Based on that criterion, a particular fluctuation can then be compared to what is considered «normal» signal behavior. The author has suggested using either the mean or the median of the absolute values of all calcu-

lated fluctuations. Both are common estimators of statistical properties of a large set of data. The mean or the median is then multiplied by a coefficient greater than 1 to set a threshold separating «normal» and suspicious fluctuations.

In order to obtain a good estimate of a typical fluctuation, a relatively large amount of data (at least several thousand points) has to be processed. Otherwise, statistical analysis may not be as correct, which could result in either not detecting spikes well or filtering out too many «good» measurements. It should be noted that even if we deal with a large array of data, there is no guarantee that all outliers will be detected and removed with 100% accuracy unless all such points clearly stand out against the other data, most importantly, from a mathematical viewpoint. However, the proposed technique allows rejecting most of the outliers in a given signal provided that a proper threshold is chosen. Some comments on how to select a threshold are presented in this paper as well.

A flow chart representing the main steps of signal processing according to the developed algorithm is shown in Fig. 2. We will now discuss some of those steps by referring to the numbered flow chart blocks (see Fig. 2).

The first step (**block 1** in Fig. 2) is passing the signal through a median filter to remove the very first spike if it happens to be at the beginning of the data set. A proper reference is needed for our core algorithm (**block 5** in Fig. 2) from the very beginning so the first point must be a «normal» measurement, not an outlier. Since there is no guarantee the signal starts with a «good» element, the only possible way to set a reference is smoothing out the signal beginning with

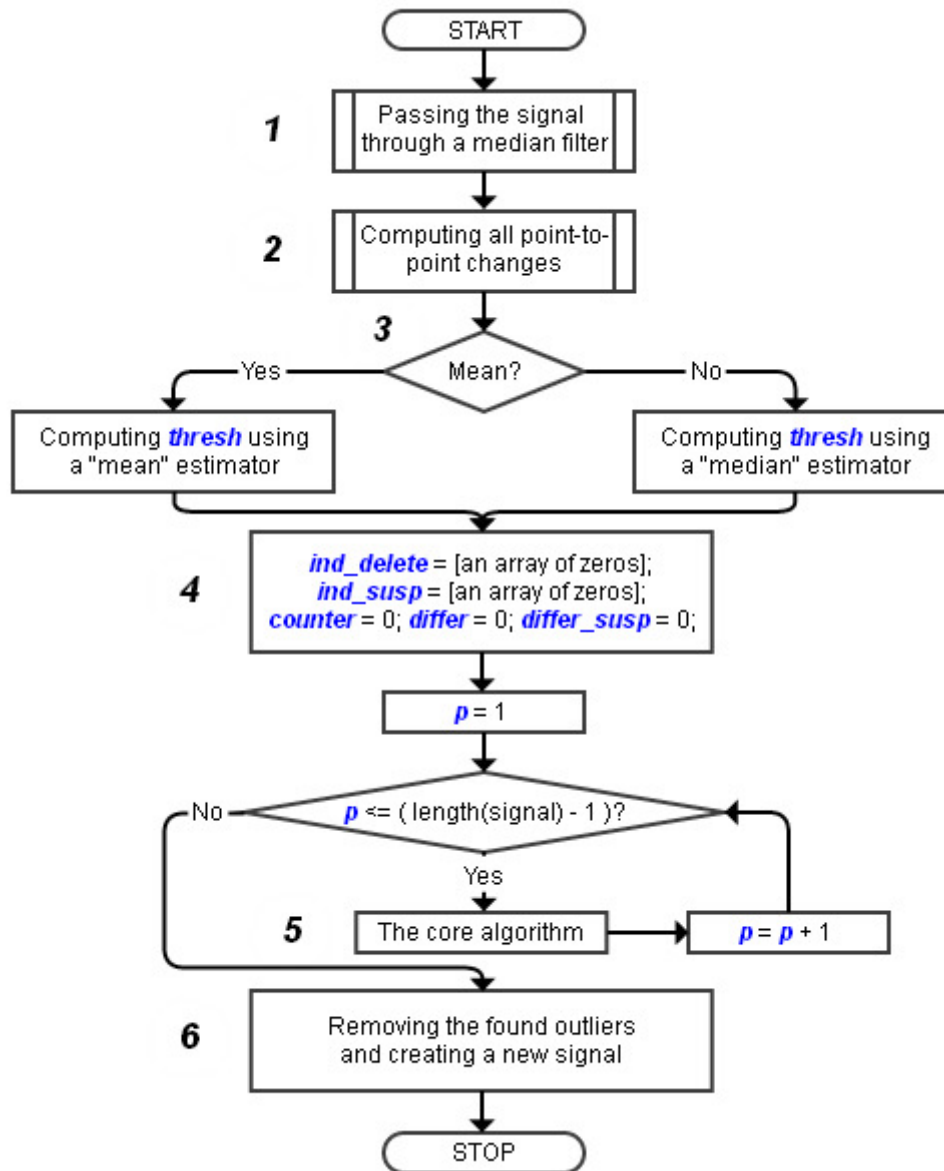


Fig. 2. A flow chart representing the main signal processing steps taken by the developed procedure for spike detection and removal

a median filter. Such filters are particularly effective at and often used for removing impulse noise from experimental data [9, 10]. Note that we cannot just pass a signal through a median filter to achieve our goal of spike detection and removal: along with removing the spiky parts, the filter would also modify all the «good» points. We should therefore do the following:

a) apply a long enough median filter to the whole signal. The filter length should be equal to $(2 \cdot N + 1)$, where «N» is the maximum expected duration of a typical spike;

b) replace the first $(N + 1)$ points in the original signal with those outputted by the median filter; as a result, the first point in the new signal should be safe enough to start looking for spikes from;

c) after the whole signal has been processed, the first $(N + 1)$ points should be cut off, as those points did not belong to the original signal.

As can be seen, we sacrifice the signal beginning to ensure a good performance of the developed spike removal algorithm. Based on some analysis of a large set of real data taken from PMUs, we can conclude that a spike usually lasts for less than 200 successive points, which covers several seconds of measurements with a sampling rate of 30 points per second. At the same time, signals that have been analyzed contain more than 20,000 samples (hereafter the terms «point», «measurement», «sample», and «element» will be used interchangeably). Therefore we do not lose much of the original information anyway.

Block 2 in Fig. 2 represents a call to a subroutine computing all fluctuations i. e. the differences between every two adjacent points. The procedure is straightforward and does not require additional comments.

Conditional block 3 allows the user to select the estimator which will be utilized to analyze all the fluctuations

and decide whether a specific fluctuation is «normal» or not. As stated earlier, the threshold «*thresh*» is either the mean or the median of the absolute values of all the calculated fluctuations multiplied by a coefficient greater than 1. It is suggested that the median be used most of the time, as a median estimator is known for its robustness in the presence of outliers. The median is not as sensitive to outliers in the data compared with the mean value. For us, this means the median will tolerate many spikes in a signal without significantly changing «*thresh*». However, the developed procedure includes the mean estimator as an option.

Block 4 is where the initialization of some variables relevant to the main algorithm (**block 5**) takes place. Let us describe the meanings of those variables.

Whenever a big fluctuation is found (greater than «*thresh*»), it is not necessarily an indicator of an outlier. Although currents and voltages generally change in a smooth way, they could sometimes experience a bigger «jump», or a transition to another level, after which the signal goes smoothly for a long time again. An example of such behavior is shown in Fig. 3. It is therefore necessary to distinguish a real spike from a sudden change of the power system state leading to the signal «jumps». To cope with this issue, the developed procedure analyzes the length of the suspicious signal part. If it is long enough (longer than the length of a typical spiky part), it will not be cut off from the signal.

One more complication has to be addressed: there could be outliers inside a suspicious group of points. If the group does not get removed from the signal, any spikes found

within the group must be filtered out. This brings us to the necessity of keeping track of two types of element indices: «*ind_delete*» for the elements to be rejected without hesitation, and «*ind_susp*» for the elements to be removed from a suspicious group of points if the group is not considered as a spike because of its long duration. The «*counter*» variable counts the number of suspicious points in succession. The other two variables in **block 4** (Fig. 2) have the following meanings: «*differ*» is the difference between a point inside a suspicious group and the last accepted point which does not belong to the suspicious group (a «global» difference), and «*differ_susp*» is the difference between a point inside a suspicious group and the last point in the same group that will be kept if the whole group is not rejected, which is only possible if its length exceeds that of a typical spike (a «local» difference).

In **block 6**, all the found spikes get cut off along with the first $(N + 1)$ points, and a spike-free signal (which is always shorter than the original signal) is created.

Let us now outline what happens in the main part of the proposed algorithm (**block 5** in Fig. 2). A flow chart showing the sequence of actions hidden by **block 5** is presented in Fig. 4.

In **block 7** (Fig. 4), the «global» difference is updated so we know the gap between a current point and the last accepted measurement.

Conditional block 8 compares the absolute value of the «global» difference with the threshold. If the former is greater than the latter, a point in a suspicious group is being pro-

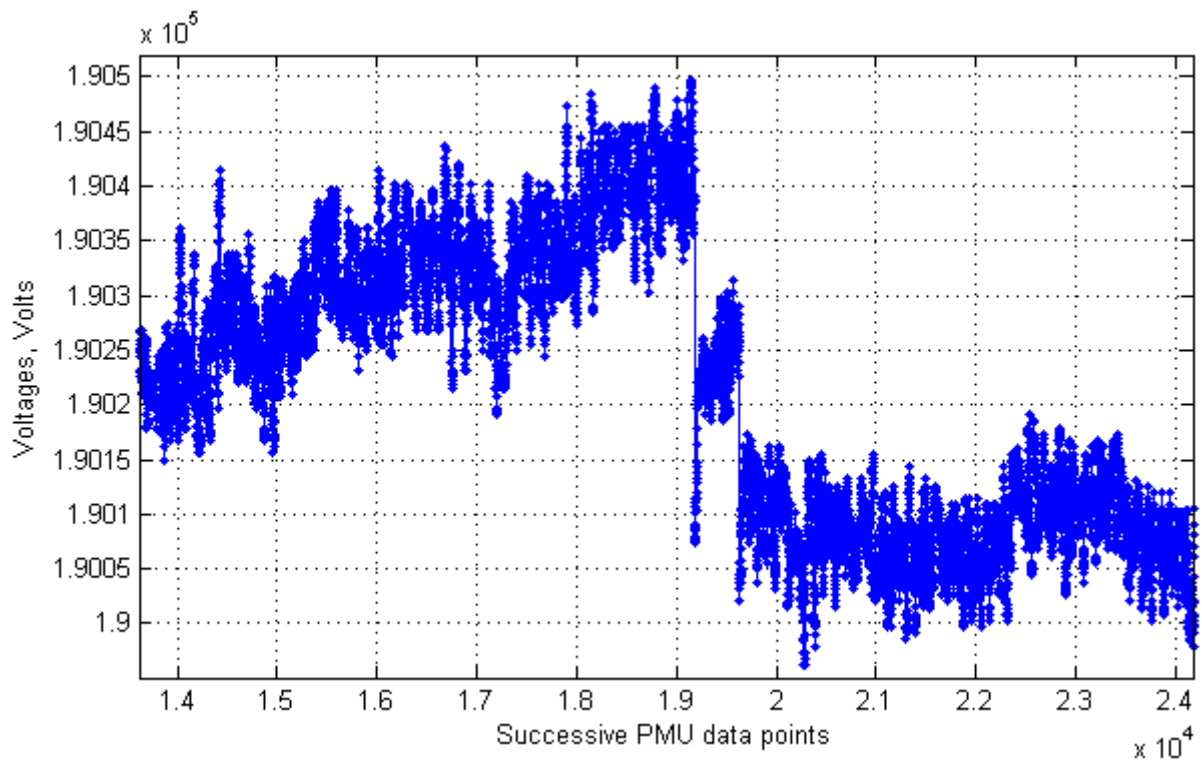


Fig. 3. An example of a «jump» in a voltage signal representing a transition to a new level

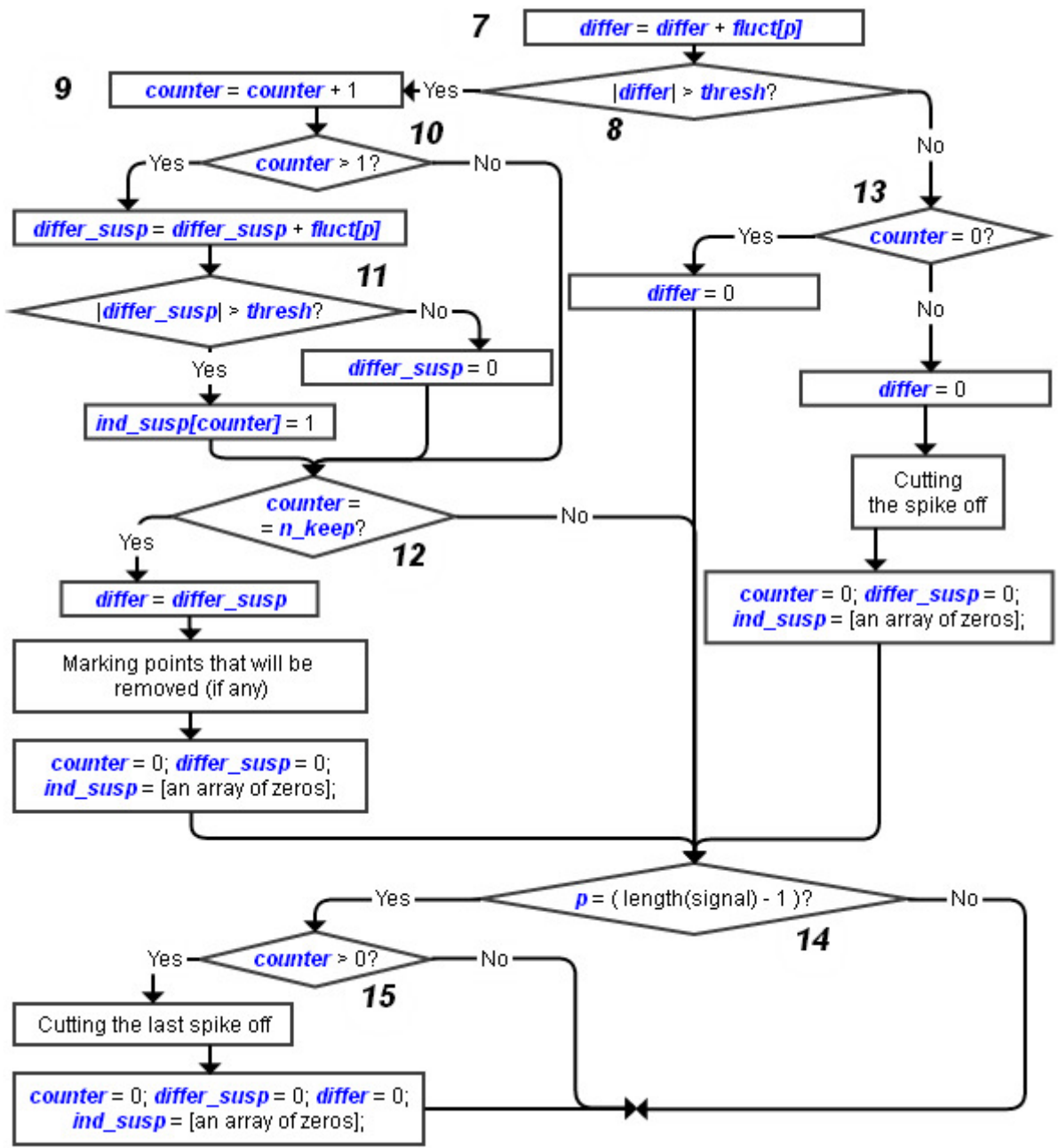


Fig. 4. A flow chart of the core of the proposed technique for spike detection and removal

cessed. After updating the counter in **block 9**, another decision is to be made. If «counter» is greater than 1 (**block 10**), the suspicious group was detected at an earlier iteration so we can now update the «local» difference and look for outliers within such a group. If the «local» difference «differ_susp» happens to be greater than the threshold (**conditional block 11**), the end point corresponding to the considered fluctuation «fluct [p]» will definitely be removed from the signal. If the condition is false, the local difference is set back to zero, and the mentioned end point will be a new reference at the next iteration provided that the algorithm goes through the same branches.

Block 12 checks whether the counter has reached «n_keep» — the minimum number of elements following one another, in which case the current suspicious group will not

be considered as a spike. The parameter «n_keep» should be set greater than the length of a typical spike. If the condition in **block 12** is true, we update the «global» difference, mark the spikes found in the suspicious group, as well as set «counter», «differ_susp», and «ind_susp» back to zeros. Note that «differ» in this case is not assigned a value of zero. Instead, we take into account that several last samples (or the very last one) in the suspicious group might be regarded as outliers, which means they will be removed while the other points in the group kept. The «global» difference in such a situation must inherit the current value of the «local» difference.

The condition in **block 13** is checked if the «global» difference «differ» is not greater than the threshold (**block 8**). This means either that a new suspicious group of points has not

yet been found, or that the end of a spike has been detected. If the former is true («*counter*» equals zero), we simply set the «global» difference to zero so we can get the correct reference before going to the next fluctuation. If «*counter*» is at least one, the most recently found suspicious group was indeed a spike so the indices of the elements making up the spike will be recorded in order to cut the spike off from the signal. The parameters «*differ*», «*differ_susp*», «*counter*», and «*ind_susp*» are set back to zeros.

The very last fluctuation has to be analyzed separately (**conditional block 14**). Otherwise, the last spike will not be filtered out. If «*counter*» is not equal to zero (**block 15**), both of the following statements are true: 1) the algorithm has been processing a suspicious group of points; 2) «*counter*» has not reached «*n_keep*». The last suspicious group is therefore considered as a spike and should be removed from the signal.

Simulations and results. This section presents some case studies showing the effectiveness of the proposed technique for spike detection and removal. The algorithm of Fig. 2 and 4 has been implemented in MATLAB as a set of m-files.

In order to verify the algorithm before applying it to measurements outputted by PMUs, the author came up with a test signal containing both spikes (should be cut off) and abrupt transitions (should be retained). The signal consists of 200 samples, most of which are pseudorandom numbers generated from the uniform distribution on the interval $[-0.5, 0.5]$. All the signal elements from 1 to 200 are presented in Table 1. The generated random numbers are called «*rand*» without specifying the exact values.

Assuming that a spike cannot last longer than 10 samples, we set «*n_keep*» (see **block 12** in Fig. 4) equal to

10. The most important decision is selecting an estimator and a threshold that will allow the algorithm to remove the spiky parts effectively while keeping most (if not all) of the «good» points. As previously mentioned, the median estimator is generally preferable to the mean one. A proper threshold should usually be several times greater than the median of the absolute values of all computed fluctuations. For our basic test signal with the elements shown in Table 1, a threshold equal to five times the median works well. For a real signal sourced from a PMU and containing thousands of samples, the use of statistics becomes more effective, which makes it easier to choose a good enough threshold. Let us discuss this in more detail later.

Fig. 5 shows the result of applying the developed algorithm to the test signal. As can be seen from the figure, the algorithm has successfully detected all the outliers which were deliberately put into the signal. The bold lines indicate the new connections after removing the spikes. Certainly, the improved signal will contain fewer points than the original one. Note that the first 11 points are discarded anyway, which is clearly shown in Fig. 5. The reason for such a result, as explained earlier, is that the first $(N + 1)$ points (with «*N*» equal to 10 in this case) are replaced by those outputted by a median filter (see **block 1** in Fig. 2).

A more interesting example is presented in Fig. 6. Here, we insert 20 more points in our basic test signal (Table 1). A set of values $\{7.1, 7, 4.2, 2.3, 2, 1.7\}$ goes to the beginning of the signal while a set $\{4, 4.2, 4.4, 4.6, 4.8, -3, 5, 5.2, 5.4, -4, -3.75, -3.5, -3.25, -3\}$ is appended to the end of it. As shown in Fig. 6, all the outliers, including those at the left and right borders, have been found.

Table 1. The elements of a basic test signal created in order to verify the proposed algorithm

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
rand + 1										3.5	3.8	4.1	rand + 4	3.3	1.3	rand + 1				
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
rand + 1																				
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	
rand + 1																				
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	
rand + 1		-9	-8.5	-8	-2	0.5	-0.1	rand - 4		-12	rand - 4			-6.5	-7.3	rand - 4				
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	
rand - 4																				
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	
-3	-3.1	-3.2	-3.3	rand - 4																
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	
rand - 4																				
141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	
rand - 4									-6	-5.9	rand - 4									
161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	
rand - 4										rand					4	rand				
181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	
3.5	4.5	rand												-5	rand					

The developed technique has also been tested on a variety of real current and voltage signals acquired from PMUs. As an example, let us consider the imaginary part of a current signal measured in phase A on a 345 kV transmission line. The original signal supplied to our algorithm is comprised of 26,772 samples. Based on some analysis of a large amount of different signals measured on the same line, we came to the conclusion that a spike cannot last for more than 200 sam-

ples so «*n_keep*» (see **block 12** in Fig. 4) was set equal to 200.

Since the signal is relatively long, some useful statistics can be derived. It turns out that point-to-point differences (fluctuations) in this and many other signals measured by PMUs have a distribution close to normal (Gaussian) if the biggest fluctuations are not taken into consideration. The standard deviation of normally distributed data can be esti-

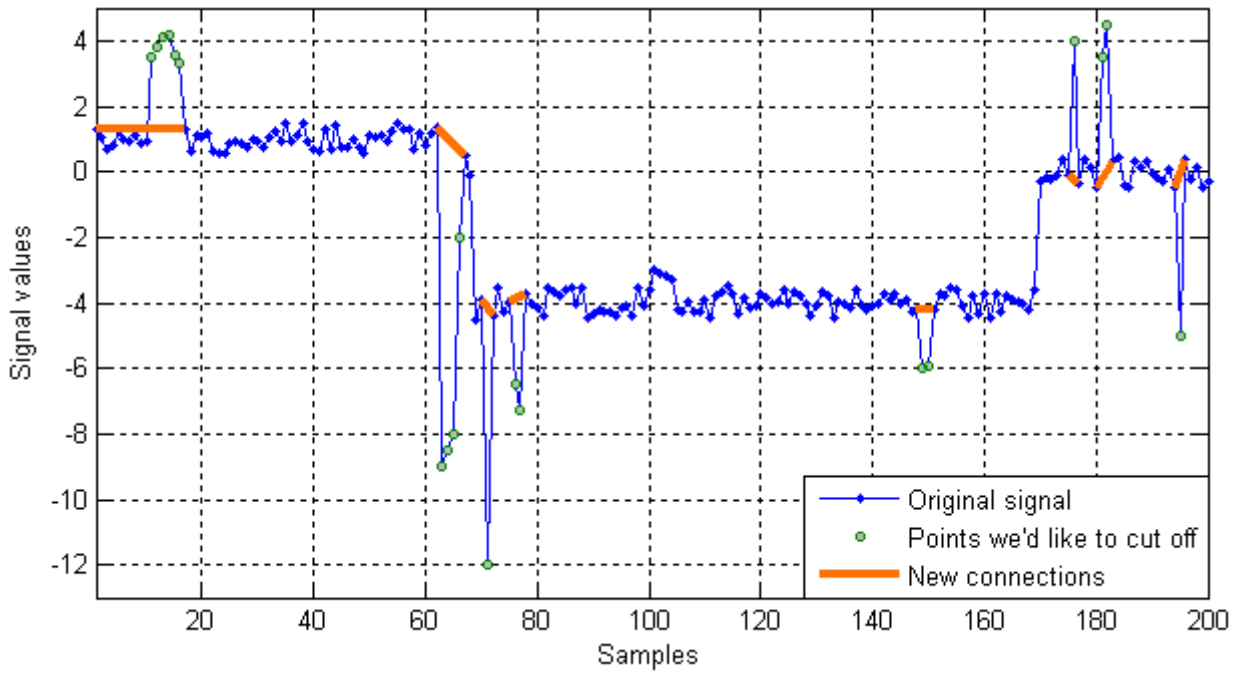


Fig. 5. An illustration of the algorithm performance for the test signal of Table 1

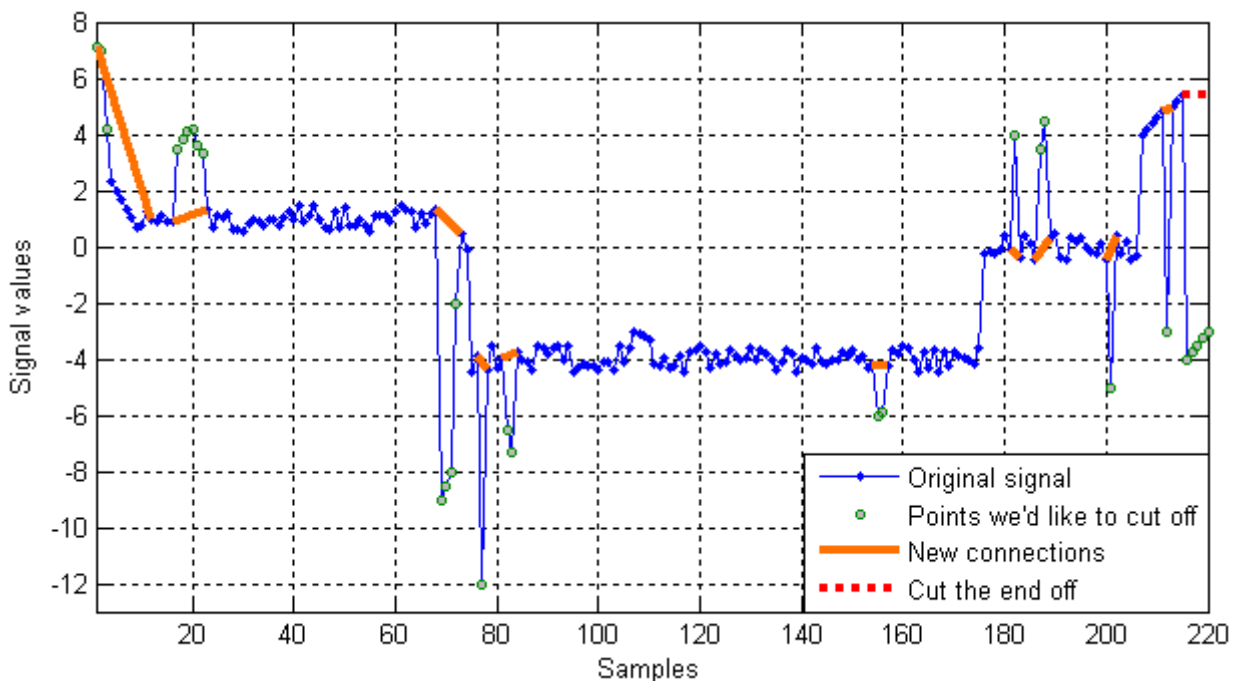


Fig. 6. An illustration of the algorithm performance for an extended test signal with spikes at the beginning and end

mated using the median absolute deviation (MAD) multiplied by a constant scale factor equal to 1.4826 [11]. This estimator is known to be resilient to outliers in the data, which is typical of median-based estimators. Let us estimate the standard deviation of all fluctuations for our signal through the MAD, and then discard all of the fluctuations that are three or more standard deviations away from the mean. The remaining fluctua-

tions (96.3% of the total amount) will have a nearly normal distribution (Fig. 7). That is confirmed by the kurtosis and skewness values equal to 3.23 and 0.08, respectively.

This last example shows that fluctuations derived from steady state PMU measurements can be assumed to have a distribution close to Gaussian. Such a conclusion makes it easy enough to choose a threshold for our spike removal algo-

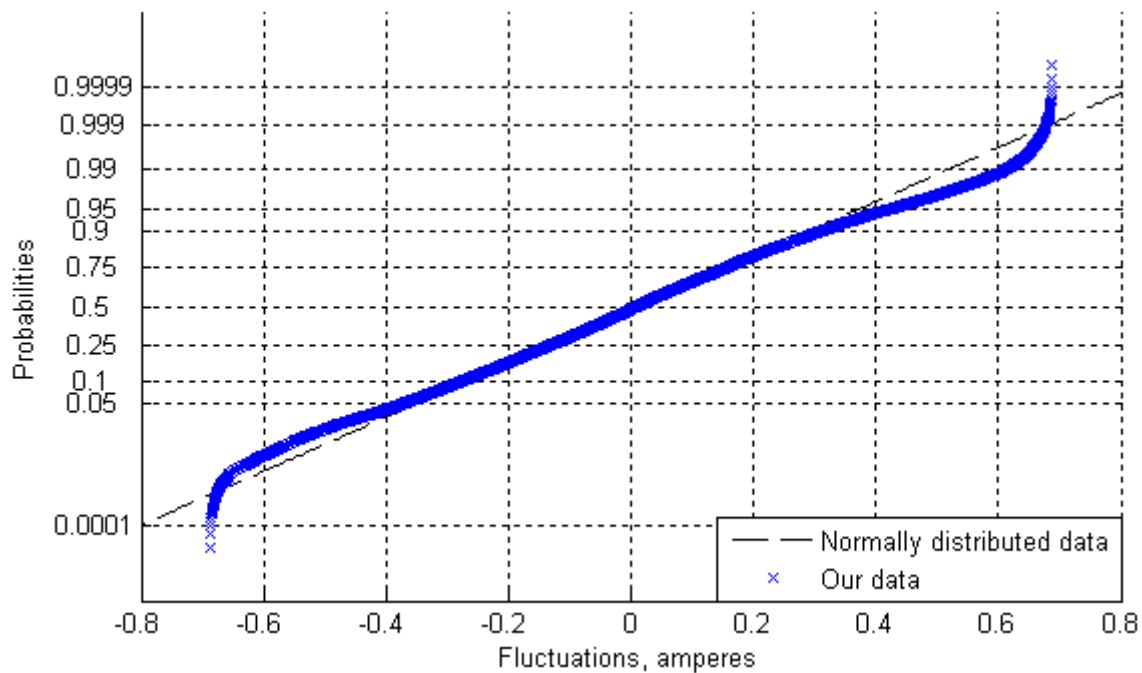


Fig. 7. The statistical distribution of most of the fluctuations for a real signal

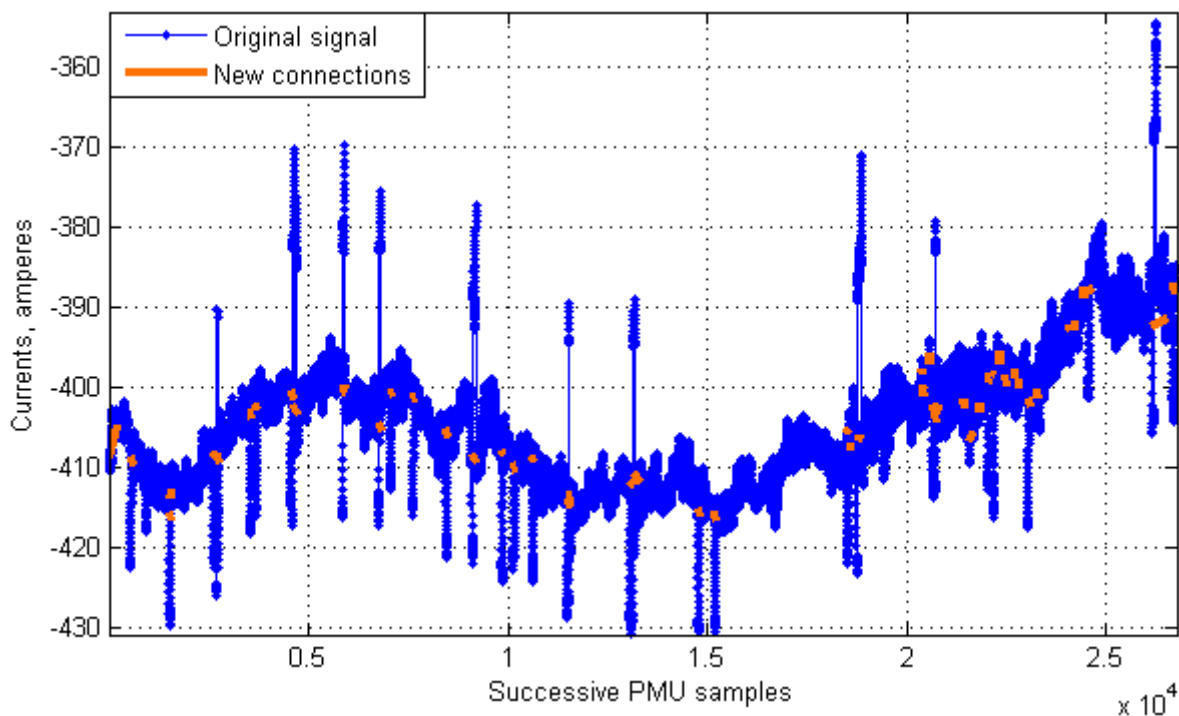


Fig. 8. An illustration of the algorithm performance for a real signal (the detected spikes are highlighted)

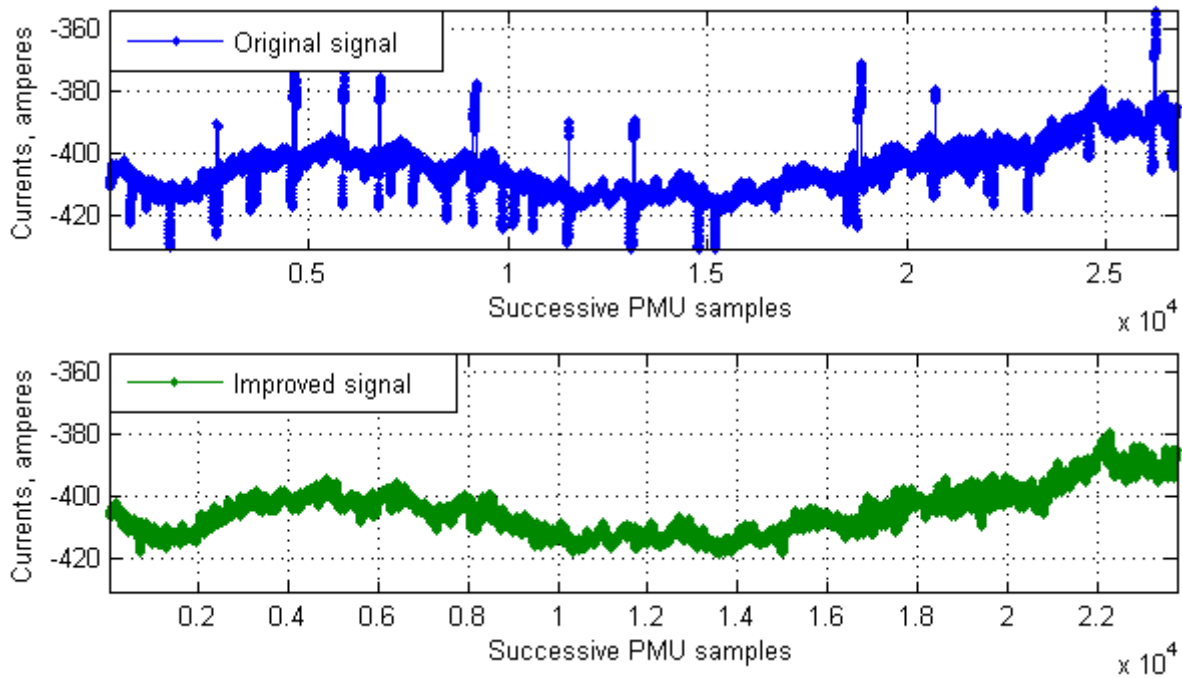


Fig. 9. A real signal with spikes (the top plot) and the same signal after being processed by the developed algorithm (the bottom plot)

rithm. A threshold of $(5 \times 1.4826 \times \text{the MAD})$ appears to be safe enough since a particular point drawn from a normal distribution is rarely more than a few standard deviations away from the mean. Using such a threshold for our signal made up of 26,772 samples, we can say that the spiky parts have been detected effectively (Fig. 8), and the improved signal obtained after removing 2,994 points looks much smoother than the original one (Fig. 9).

Conclusion. This paper presents an algorithm for the automatic removal of spikes from steady state current and voltage measurements coming from phasor measurement

units. It has been shown that the developed algorithm performs well when processing both simulated and real signals. It is generally hard to discard spikes with 100% accuracy unless all the spiky parts clearly stand out against the other points. However, some recommendations on how to select a proper threshold when dealing with a large set of real data are provided in the paper. These recommendations are confirmed by the results presented in Fig. 8 and 9.

Acknowledgement. The author would like to thank the American Transmission Company (the USA) for providing a large array of PMU data used for analysis.

References:

1. D. G. Hart, D. Uy, V. Gharpure, D. Novosel, D. Karlsson, and M. Kaba, «PMUs — A new approach to power network monitoring», ABB Review 1/2001. Available at: <http://www05.abb.com/global/scot/scot296.nsf/veritydisplay/2d4253f3c1bff3c0c12572430075caa7/> (Accessed: 31 July 2014).
2. B. Singh, N.K. Sharma, A.N. Tiwari, K.S. Verma, and S.N. Singh, «Applications of phasor measurement units (PMUs) in electric power system networks incorporated with FACTS controllers», International Journal of Engineering, Science and Technology, vol. 3, no. 3, pp. 64–82, 2011.
3. M. Adamiak, W. Premerlani, and B. Kasztenny, «Synchrophasors: definition, measurement, and application», Protection and Control Journal, GE Multilin, pp. 57–62, September 2006.
4. A. G. Phadke and J. S. Thorp, Synchronized Phasor Measurements and Their Applications. Springer, 2008.
5. S. Chakrabarti, E. Kyriakides, T. Bi, D. Cai, and V. Terzija, «Measurements get together», IEEE Power and Energy Magazine, Jan.-Feb. 2009. Reprinted in Special Issue: Smart Grid-Putting it All Together, a 2010 reprint journal from PES, pp. 15–23.
6. T. Bi, H. Liu, X. Zhou, and Q. Yang, «Impact of transient response of instrument transformers on phasor measurements», in Proc. 2010 IEEE PES General Meeting, Minneapolis, MN, USA, July 25–29, 2010.
7. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. (2008), «SEL synchrophasors — A new view of the power system». Available at: <https://www.selinc.com/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=132> (Accessed: 31 July 2014).

8. Y. Liao and M. Kezunovic, «Online optimal transmission line parameter estimation for relaying applications», IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 24, no. 1, pp. 96–102, January 2009.
9. D.C. Stone, «Application of median filtering to noisy data», Canadian Journal of Chemistry, vol. 73, no. 10, pp. 1573–1581, 1995.
10. J. Micek, J. Kapitulik, «Median filter», Journal of Information, Control and Management Systems, vol. 1, no. 2, pp. 51–56, 2003.
11. J.S. Walker, A Primer on Wavelets and Their Scientific Applications. Chapman & Hall/CRC, Taylor & Francis Group; 2 edition, 2008.

Функция сходства многомерных объектов и отношение Парето в оперативном управлении распределением инновационных ресурсов промышленного предприятия

Лавриченко Олег Вячеславович, кандидат экономических наук
ОАО «Концерн Моринформсистема-Агат» (г. Москва)

В статье рассматривается авторский метод анализа и математического моделирования неоднородных совокупностей на основе функции сходства многомерных объектов, а также на использовании многокритериального выбора по отношению Парето. Представлена его адаптация к описанию авторской научной концепции сбалансированного распределения инновационных ресурсов промышленного предприятия между объектами инноваций.

Ключевые слова: инновации, инновационные ресурсы, научная концепция сбалансированного распределения инновационных ресурсов промышленного предприятия между объектами инноваций, системный анализ эффективности.

Введение

В современных условиях, когда США и страны Европейского Союза вводят экономические санкции в отношении наиболее инновационно-активных российских промышленных предприятий, особую актуальность приобретает разработанная автором научная концепция сбалансированного распределения инновационных ресурсов предприятий между объектами инноваций, эндогенной основой которой являются инновационные самоорганизующиеся бизнесобразующие технологии. Суть данной концепции была нами подробно изложена в ранее опубликованных работах. [1]

Информационные и когнитивные технологии, наряду с технологиями информационных и управляющих систем, входят в перечень критических технологий современной России, определенный в Указе Президента России №899 от 7 июля 2011 года, а также являются приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники согласно «Прогнозу научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года».

В сферах разработки новых когнитивных технологий для эффективного и рационального управления инновационными ресурсами предприятий необходима обработка очень больших информационных массивов. Все это обуславливает необходимость широкого использования выборочного метода, основу которого составляет закон больших чисел. В существующей реальности любая генеральная совокупность является заведомо неоднородным множеством, структурированным по различным номинальным (классификационным) шкалам, а проблему неоднородности (структурированности) процесса сбалансированного распределения инновационных ресурсов между инновациями можно решить на основе одного из двух подходов:

- создав неслучайную выборку, репрезентативную изучаемой совокупности по многомерной структуре (хотя бы несколькими основными номинальными шкалами);
- математически корректно учесть при компьютерной обработке данных различия между структурами генеральной совокупности и выборочного объекта.

Более перспективным, на наш взгляд, является второй подход. Этот подход среди исследователей пока не нашел заметного развития, хотя, требуя значительного объема компьютерных расчетов, он и решает указанную задачу. В этой связи теоретически, методически и практически актуальной является проблема разработки и внедрения методов анализа и математического моделирования неоднородных совокупностей на основе функции сходства многомерных объектов, а также на использовании многокритериального выбора по отношению В. Парето.

Функция сходства многомерных объектов

Под *объектом* мы будем понимать совокупность мероприятий по распределению инновационных ресурсов предприятия между инновациями, выраженное вектором признаков, измеряемых в числовых шкалах (в том числе — дихотомической). Пусть множество X , состоит из элементов $x \in X$.

Любая классификация, в том числе и социально-экономическая, всегда основана на анализе какой-либо *меры близости* [2] многомерных объектов. Функцию $S(x, y)$, заданную на декартовом произведении $X * X$, вида $S: X * X \rightarrow (0, 1]$ называют *мерой близости* элементов множества X в том случае, если выполнены аксиомы:

(а) условие нормировки:

$$\forall x \in X: S(x, x) \in 1 \quad (1)$$

(мера близости S любого элемента x «к самому себе» равна 1);

(б) условие симметричности:

$$\forall x, y \in X: S(x, y) = S(y, x) \quad (2)$$

Для того чтобы мера близости (сходства, подобия), определенная на основе аксиом (1,2), стала «рабочей», нужно договориться о том, как *измеряется расстояние* между парами элементов X , т. е. определить на X некоторое *метрическое пространство* [3, гл. 3,4].

В связи со сказанным заметим, что в монографии Г. Г. Татаровой [4], посвященной вопросам социальной типологизации, сразу же после определения меры $S(x, y)$ приведены некоторые часто используемые величины такого рода [4, с.213]. Но очевидно, что все они определены не просто для множества объектов X , а на *нормированных пространствах*

[3, гл. 3], построенных на X . Метрика ρ , определенная на множестве X , представляет собой отображение вида:

$$\rho: X * X \rightarrow R$$

где R — множество неотрицательных чисел, при условии выполнения аксиом:

$$\forall x \in X: \rho(x, x) = 0 \quad (3)$$

$$\forall x, y \in X: \rho(x, y) = \rho(y, x) \quad (4)$$

$$\forall x, y, z \in X: \rho(x, y) = \rho(x, z) + \rho(z, y) \quad (5)$$

Легко понять, что аксиомы (3 и 4), являясь аналогами аксиом меры подобия (1,2), описывают «сходство» объектов «с противоположной позиции». Условие (5) («аксиома треугольника») — обобщение той «истины», что «прямая есть кратчайшее расстояние между двумя точками».

Определим *функцию сходства* объектов. Причем сделать это наиболее удобно в стохастическом смысле. Пусть нормированное пространство N определено на множестве объектов X . Производится опыт, состоящий в том, что из множества X случайным образом выбирается его элемент x . Оказывается, что норма [3, п.3.3] x равна $r(x)$. В результате серии из n таких опытов образуется статистика вида $\{r_1, r_2, \dots, r_n\}$. Величина r в описанной серии опытов (по схеме Бернулли) ведет себя как стохастическая переменная и, следовательно, имеет некоторое распределение $\Psi(r)$.

Функцией распределения нормы (ф.р.н.) $\Psi(r)$ элементов множества X , на котором определено нормированное пространство N , назовем вероятность того события, что норма наугад выбранного элемента $x \in N$ окажется меньше r :

$$\forall r_0 \in R: \Psi(r_0) = \text{Pr}\{r(x) \leq r_0\}$$

где: $r(x)$ — норма *случайно выбранного* объекта $x \in N$

$\text{Pr}\{ \dots \}$ вероятность события $\{ \dots \}$. Приведенное определение ф. р.н. является *строгим*, но опирается не на описание вероятности по А. Н. Колмогорову [5], а на описание вероятности по Мизесу — Смирнову — Виллю — Постникову [6].

Пусть на множестве X определено нормированное пространство $N = (X, r)$. *Функцией сходства* назовем отображение $\theta(x, y)$ такое, что

$$\theta: N * N \rightarrow (0, 1]; \quad (7)$$

$$\exists! \theta \in N, \forall x \in N: \theta(\theta, x) = 1 - \Psi(r(x)); \quad (8)$$

$$\forall x, y \in N: \theta(x, y) = 1 - \Psi(r(x - y)); \quad (9)$$

где θ — начало координат, а величина $r(x - y)$ является расстоянием между x и y в метрике, порождаемой нормой [3, гл.3].

Пример. Пусть дано множество объектов $X = \{x_j; j = 1, n\}$, каждое из которых определено случайным вектором показателей вида:

$$X_j = (x_j^1, x_j^2, \dots, x_j^m) \in R^m; j = \overline{1, n}$$

Будем считать, что *все компоненты* этого вектора имеют *стандартизованное гауссово распределение* $g(0,1)$. В сферической евклидовой метрике расстояние между элементами x_i и x_j из X имеет вид:

$$\rho_{ij} = \rho(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_i^k - x_j^k)^2} \quad (10)$$

Из теории распределений известно, что случайная величина ρ_{ij} имеет функцию плотности вероятностей вида:

$$\varphi(\rho) = \frac{2^{1-\frac{m}{2}} \rho^{m-1} \exp(-\frac{\rho^2}{2})}{\Gamma(\frac{m}{2})} \quad (11)$$

Тогда функция сходства любой пары объектов (x_i, x_j) имеет вид

$$\theta_{ij} = \theta(x_i, x_j) = 1 - \frac{2^{1-\frac{m}{2}} \rho^{m-1}}{\Gamma(\frac{m}{2})} \int_0^{\rho_{ij}} t^{m-1} \exp(-\frac{t^2}{2}) dt \quad (12)$$

Таким образом: привлекательность функции сходства θ состоит в том, что типологическое пространство объективно описывает подобие объектов (процессов сбалансированного распределения инновационных ресурсов промышленных предприятий между объектами инноваций) всей генеральной совокупности.

Типологическим пространством, заданным на абстрактном множестве объектов X , называется пара (X, τ) , где типология τ — система аксиом, задающих «правила» принадлежности границ всевозможных подмножеств X . Итак, *типологическое* пространство является частным случаем *нормированного* пространства, *нормированное* — *метрического*, а *метрическое* — частным случаем *типологического* пространства.

Отношение Парето как основа анализа уровня объектов

Наряду с традиционными методами классификации (Q-техника факторного анализа, кластерный, дискриминантный, таксонный анализ и эвристическая типологизация) большую роль играют методы систематизации многомерных объектов по их уровню, которые относятся к методам многокритериальной оптимизации.

Нами предлагается метод анализа уровня объектов, основанный на использовании многокритериального выбора по отношению В. Парето. Заметим, что отношение Парето в прикладных задачах многокритериального выбора и ранее широко использовалось в научных исследованиях [7].

Для радикального повышения стабильности анализа уровня объектов по отношению Парето используем аппарат ранговых статистик.

Упорядочим значения показателей x_i в *вариационные ряды*, для простоты изложения — *без связей* вида $x_j^1 \leq x_j^2 \leq \dots \leq x_j^n; j = \overline{1, m}$. Номер объекта $x_j^k (j = \overline{1, m}, k = \overline{1, n})$ в вариационном ряду, называемый *рангом* этого объекта, обозначим r_j^k .

$$R_j^l = F_j^l - \min_{k=1, m} (F_j^k), R_j^l \in R; j = \overline{1, p}, p \ll m; l = \overline{1, n} \quad (13)$$

$$x_k^l \leftrightarrow r_k^l \leftrightarrow F_k^l \leftrightarrow R_k^l (k = \overline{1, m}, l = \overline{1, n})$$

Поскольку все произведенные преобразования объективны, подобны, то результаты анализа уровня объектов $\{F^k\}$ правомерно рассматривать как анализ уровня объектов $\{x^k\}$.

Проведем разбиение множества объектов $\{x^k; k = \overline{1, n}\}$ на классы мажорант Парето в пространстве $\{R_k; k = \overline{1, n}\}$ так, как это описано выше.

При этом совокупность классов мажорант Парето образует разбиение исходного множества генеральной совокупности всех возможных вариантов сбалансированного распределения инновационных ресурсов промышленных предприятий между объектами инноваций в условиях неопределенности на непересекающиеся подмножества сходных объектов:

$$\sum_k^s n_k = n \quad (14)$$

Заключение

Предлагаемая автором методика была апробирована на данных нескольких российских предприятий. В результате были выделены несколько групп моделей сбалансированного распределения инновационных ресурсов промышленных предприятий между различными объектами инноваций в условиях неопределенности. Это означает, что в каждую группу мажорант по отношению Парето попали математические модели и алгоритмы с примерно одинаковым уровнем баланса эффективности.

Таким образом: после экспертного анализа, подтвердившего экономическую состоятельность выявленной классификации математических моделей и алгоритмов оптимизации сбалансированного распределения инновационных ресурсов промышленных предприятий между различными объектами инноваций, отраженные в данной статье результаты могут быть использованы для подготовки объективно управляющих решений менеджеров различных звеньев для оптимизации инновационной активности российских предприятий в условиях нарастающей нестабильности во взаимоотношениях России со странами Евросоюза и США.

Литература:

1. Лавриченко, О.В. Инновационные бизнесобразующие технологии как эндогенная основа инновационной системы промышленного предприятия: монография. — М.: Изд-во Московского гуманитарного университета, 2014. — 136 с.
2. Раушенбах, Г.В. Меры близости и сходства. — М.: Наука, 1986. — с. 169–203.
3. Колмогоров, А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. — М.: Наука, 1976. — 542 с.
4. Татарова, Г.Г. Основы типологического анализа в социологических исследованиях. — М.: Высшее образование, 2007. — 236 с.
5. Загоруйко, Н.Г. Распознавание образов методом попарного сравнения эталонов // Доклады РАН. — 2002.-Т. 382. — № 1. — с. 1–3.
6. Постников, А.Г. Арифметическое моделирование случайных процессов // Труды Матем. института АН СССР им. Стеклова. — 1960. — Т. 57. — с. 272–291.
7. Айвазян, С.А. Анализ качества и образа жизни населения. — М.:Наука, 2012.—432 с.

О фальсификации молока и молочных продуктов

Мазаев Алексей Николаевич, аспирант;

Шель Иван Андреевич, магистрант;

Попова Марина Алексеевна, магистрант;

Уварова Вера Михайловна, магистрант;

Прохасько Любовь Савельевна, кандидат технических наук, доцент

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (г. Челябинск)

Молочные продукты, потребляемые человеком ежедневно, являются не только поставщиками питательных, минеральных веществ (белка, кальция, фосфора, магния и др.) [1–5], но оказывают благотворное действие на организм, и в первую очередь должны быть безопасными для потребления [6–8]. В этой связи производство качественной и безопасной молочной продукции — одна из стратегических задач производителей и переработчиков молока [9, 10]. Для обеспечения лояльности потребителей и стабильной реализации продукции необходимо обязательное соблюдение следующих показателей: продукция должна быть качественной, безопасной, натуральной и вкусной [11–15]. Одновременное внедрение на фермах и предприятиях молочной промышленности, системы НАССР интегрированной в системы управления качеством производственного процесса, является гарантией выполнения требований к качеству и безопасности молока-сырья в процессе его технологической переработки и готового конечного продукта для потребителя [16–21].

В последние годы на прилавках магазинов агрессивно появляется всё больше фальсифицированных молочных продуктов.

Сегодня можно выделить две группы фальсификата — фальсификация состава (фальсификация сырья) и фальсификаты качества. К последним можно отнести попытки скрыть пороки качества (нарушение производственного, технологического процесса).

Фальсификация состава молока вызвана необходимостью снижения себестоимости. Это в равной степени касается как продукции, так и сырья. Для фальсификации молока-сырья используются сухие молочные продукты — сухая подсырная и творожная сыворотка. Себестоимость сыворотки мала (промежуточный продукт переработки), поэтому она является идеальным средством удешевления. Фальсификацией продукции является использование определенных стабилизирующих добавок.

Определение фальсификатов является первоочередной задачей систем менеджмента контроля качества и в первую очередь правильная расстановка контрольных

точек по технологической цепочке. Искажение кислотности молока-сырья на этапе переработки есть фальсификация качества. Для снижения кислотности сырого молока применяются сода, аммиак, переработчик молока добавляет соду в сухое молоко для продления срока хранения, при последующем восстановлении молока с нагреванием начинается реакция соды с белком молока, в результате образуется аммиак — вредное для здоровья человека вещество, чаще используется добавка солей — стабилизаторов, применяемых при производстве стерилизованной продукции. Фальсификация молока-сырья может осуществляться добавлением восстановленного молока, частичной или полной заменой молочного жира на растительные жиры. При фальсификации восстановленным молоком и замене жира на растительный используются механизированный способ восстановления — гомогенизацию.

Сегодня широко распространено производство молочных продуктов (сметана, творог, масло) с заменой молочного жира на растительный. Производство таких продуктов отражено в Техническом регламенте на молоко и молочные продукты, для их наименования используется специальная терминология с соответствующим нанесением на этикетку. Тем не менее существуют факты фальсификации жирно-кислотного состава молока. Для выявления подмены молочного жира на растительный используются газовые хроматографы. Современные заменители молочного жира характеризуются наличием качественных гидрированных, и негидрированных жиров, низким содержанием трансизомеров. На газовом хроматографе их обнаружить можно. Содержание некоторых жирных кислот может служить свидетельством присутствия растительного жира. Для их идентификации используют газовые хроматомасс-спектрометры. Тем не менее качественные пищевые растительные жиры нельзя называть опасными и плохо усваиваемыми ингредиентами. Растительные жиры могут быть с более высокой диетической питательностью и ценностью. Потребитель должен четко видеть, что он покупает и делать осознанный выбор, в этой связи, этикетка с достоверной информацией должна точно указывать состав продукта, в том числе наличие растительных жиров.

При входном контроле молока требуется простой, эффективный и быстрый метод. Таким методом является спектральный анализ раствора жировой фракции в УФ-диапазоне. Суть метода — специфическое поглощение фосфолипидных оболочек жировых шариков молока и его отсутствие в случае наличия в продукте растительного жира.

Литература:

1. Максимюк, Н. Н., Ребезов М. Б. Физиологические основы продуктивности животных. В. Новгород: Новгородский технопарк, 2013. 144 с.
2. Горелик, В. С., Горелик О. В., Ребезов М. Б., Мазаев А. Н. Молочная продуктивность коров в зависимости от происхождения. Молодой ученый. 2014. №9 (68). с. 88–91.

Содержание белка в молоке является основным качественным параметром. Содержание белка — показатель, определяющий стоимость молока, с другой стороны, количество белка в молоке и молочных продуктах является объектом фальсификации. В Техническом регламенте четко определена для каждого молочного продукта и молока-сырья минимальная норма содержания белка. Поэтому СОМ (сухое обезжиренное молоко) с содержанием белка 29% может говорить об имеющей место фальсификации. Фальсифицирующей добавкой может являться сухая сыворотка. Лабораторное исследование общего белка методом Кьельдаля, Дюма позволяет определить натуральность исследуемого продукта по содержанию белка.

При фальсификации молока-сырья сухим молоком или продуктом, прошедшим тепловую обработку (пастеризация на ферме), при которой часть сывороточных белков денатурировала, показатель теплового класса возрастает до 80–85, может и до 90. Есть все основания сделать следующие выводы: молоко восстанавливали, или подвергали предварительной пастеризации. Стерилизованное молоко имеет показатель теплового класса более 92, пастеризованное молоко 82–86 [22]. В итоге, можно использовать возможность для дифференциации продукта по степени тепловой обработки.

Лактаты присутствуют во всем спектре ассортимента кисломолочных продуктах. Высокий уровень содержания лактатов (500 мг/л при норме до 100 мг/л) также свидетельствует о фальсификации молока. Содержание лактатов в сыром молоке приводит к образованию «крупы» (крупных белковых фракций) в технологическом процессе сквашивания, при производстве кисломолочных продуктов.

Выявление фальсификации сывороткой при уровне деминерализации 50% не является трудностью (при 90% из-за высокой стоимости, актуальность ее использования отпадает) содержание хлоридов в молоке составляет 500–700 мг/л, содержание хлоридов 0,3–0,4% есть факт фальсификации [22]. Как результат, в молоке произойдут необратимые изменения в количественном соотношении комплекса казеин-кальций-фосфор.

Активное развитие внутренних систем управления качеством и безопасностью с полноценным функционированием контрольных точек при производстве молока на ферме, в процессе переработки его на молочном заводе и реализации готовых молочных продуктов является абсолютно необходимым условием в технологической, производственной цепочке на каждом предприятии молочной отрасли.

3. Горелик, А. С., Горелик О. В., Ребезов М. Б., Мазаев А. Н. Молочная продуктивность коров и рост, развитие телочек при введении в рацион «Альбит-Био». Молодой ученый. 2014. №8. с. 388–390.
4. Тупиков, В. А., Наумова Н. Л., Ребезов М. Б. Элементный состав волос как отражение экологической ситуации. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. 2012. №21 (280). с. 119–122.
5. Асенова, Б. К., Амирханов К. Ж., Ребезов М. Б. Технология производства функциональных продуктов питания для экологически неблагоприятных регионов. Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства. 2013. №1. с. 313–316.
6. Ребезов, М. Б., Белокаменская А. М., Зинина О. В., Наумова Н. Л., Максимюк Н. Н., Соловьева А. А., Солнцева А. А. Контроль качества результатов исследований продовольственного сырья и пищевых продуктов на содержание свинца. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2012. Т. 2. №1. с. 157–162.
7. Ребезов, М. Б., Мирошникова Е. П., Альхамова Г. К., Наумова Н. Л., Лукин А. А., Залилов Р. В., Зинина О. В. Микробиология молока и молочных продуктов. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2011. 107 с.
8. Белокаменская, А. М., Ребезов М. Б., Мазаев А. Н., Ребезов Я. М., Максимюк Н. Н., Асенова Б. К. Исследование пищевых продуктов и продовольственного сырья на содержание ртути атомно-абсорбционным методом. Молодой ученый. 2013. №10. с. 98–101.
9. Попова, М. А., Ребезов М. Б., Гаязова А. О., Лукиных С. В. Оценка качества и безопасности разработанного йогурта. Молодой ученый. 2014. №10 (69). с. 199–202.
10. Асенова, Б. К., Ребезов М. Б., Топурия Г. М., Топурия Л. Ю., Смольникова Ф. Х. Контроль качества молока и молочных продуктов. Алматы: Халықаралық жазылым агентігі, 2013. 212 с.
11. Альхамова, Г. К., Максимюк Н. Н., Наумова Н. Л., Амерханов И. М., Зинина О. В., Залилов Р. В., Ребезов М. Б. Новые творожные изделия с функциональными свойствами. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2011. 94 с.
12. Ребезов, М. Б., Наумова Н. Л., Альхамова Г. К., Кожевникова Е. Ю., Сорокин А. В. Конъюнктура предложения обогащенных молочных продуктов на примере Челябинска. Молочная промышленность. 2011. №8. с. 38–39.
13. Догарева, Н. Г., Стадникова С. В., Ребезов М. Б. Создание новых видов продуктов из сырья животного происхождения и безотходных технологий их производства. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). 2013. с. 945–953.
14. Ребезов, М. Б., Альхамова Г. К., Наумова Н. Л. Сроки хранения национального творожного продукта. Молочная промышленность. 2011. №11. с. 66–67.
15. Попова, М. А., Ребезов М. Б., Ахмедьярова Р. А., Косолапова А. С., Паульс Е. А. Перспективные направления производства кисломолочных продуктов, в частности йогуртов. Молодой ученый. 2014. №9 (68). с. 196–200.
16. Ребезов, М. Б., Максимюк Н. Н., Богатова О. В., Курамшина Н. Г., Вайскрובה Е. С., Интегрированные системы менеджмента качества на предприятиях пищевой промышленности. Магнитогорск: МаГУ, 2009. 357 с.
17. Кондратьева, А. В., Ребезов М. Б., Мазаев А. Н., Богатова О. В. Управление качеством на молокоперерабатывающих предприятиях. Молодой ученый. 2014. №11 (70). с. 55–59.
18. Ребезов, М. Б., Зыкова И. В., Белокаменская А. М., Ребезов Я. М. Контроль качества результата анализа при реализации методик фотоэлектрической фотометрии и инверсионной вольтамперометрии в исследовании проб пищевых продуктов на содержание мышьяка. Вестник Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. 2013. Т. 2. №71. с. 43–48.
19. Губер, Н. Б., Ребезов М. Б., Топурия Г. М. Инструменты снижения рисков при реализации инновационных проектов в сфере продуктов питания животного происхождения. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2014. Т. 8. №1. с. 156–159.
20. Кожевникова, Е. Ю., Ребезов М. Б. Описание бизнес-процесса согласования возврата продукции с признаками производственного брака. Международный научно-исследовательский журнал. 2013. №10–2 (17). Ч. 2. с. 45–47.
21. Кожевникова, Е. Ю., Ребезов М. Б., Кожемякина А. Е., Нагибина В. В. Разработка мероприятий по предотвращению потерь (на примере торговой сети). Молодой ученый. 2013. №5. с. 317–321.
22. Коваленко, Д. Н. Фальсификация молока и молочных продуктов. Переработка молока. 2011. №3. с. 7–8.

Сравнительный анализ рынка моющих средств

Нагибина Виктория Викторовна, студент;

Анохина Екатерина Сергеевна, аспирант;

Губер Наталья Борисовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (г. Челябинск)

Максимюк Николай Несторович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (г. Великий Новгород)

В современном мире пищевая промышленность занимает лидирующие позиции и поэтому важно, в каких условиях производится переработка сырья и создание продуктов питания [1–7]. Главной её задачей является удовлетворение потребностей людей, и конечно же улучшение условий и качества производства [8–16]. Именно это залог успеха любого предприятия.

Очень важно соблюдать чистоту и стерильность на производстве, потому что использование моющих средств для пищевой промышленности становится просто необходимым.

Моющие средства для пищевой промышленности используются для чистки оборудования, мытья посуды, проведения регулярных влажных уборок, удаления загрязнений с техники и обработки и дезинфекции поверхностей. Следует отметить, что моющие средства для пищевой промышленности, должны соответствовать как международным, так и отечественным экологическим и санитарным стандартам.

Благодаря внедрению инновационных технологий в производство моющих средств для пищевой промышленности, удалось добиться повышения эффективности их свойств. В последние годы наблюдается активное проникновение зарубежных технологий на российский рынок предприятия по производству моющих средств.

Компания «PRODTECHNO» является поставщиком на пищевые предприятия России моющих и дезинфицирующих средств от мирового производителя компании «Kiilto» Финляндия.

Компания ООО «Калватис» является эксклюзивным дистрибьютором моющих и дезинфицирующих средств под торговой маркой «Calgonit» производства немецкой компании «Calvatis GmbH». В арсенале компании имеются современные и высокоэффективные промышленные моющие средства, которые способны обеспечить высочайший уровень санитарии и гигиены на предприятиях пищевой промышленности. Вполне обоснованно считается, что моющие средства из Германии отличаются особым качеством. Все разработки ведутся с большой точностью, а производители моющих средств не экономят на составляющих. Опыт работы баварцев в области безопасных и экологически чистых чистящих средств, превышает четверть века.

Одно из основных преимуществ немецких моющих средств, использование только натуральных поверхностно-активных веществ в основном растительного происхождения. Все разработанные рецептуры обладают высокой способностью к очень быстрому биологическому

расщеплению, а значит уменьшается нагрузка на природу. О безопасности немецкой продукции так же говорит отсутствие вредных химикатов (фосфат, борат, формальдегид, галогенорганические соединения, ПВХ). Немецкие специалисты утверждают и каждый раз доказывают, что соотношение «цена — качество — эффективность — экономичность», существует.

На российский рынок моющих средств немецкие предприятия поставляют дорогостоящие, высококачественные моющие средства, так как российские потребители высоко ценят немецкое качество [17].

При производстве моющих средств марки «ПРОМОС» используются компоненты и базовые рецептуры фирмы Akso-Nobel (Швеция). Все моющие средства сертифицированы, имеют соответствующие разрешения и рекомендации к применению, эффективно работают на многих предприятиях России. Очищающие средства представляют собой концентрированные водорастворимые, нетоксичные, биоразлагаемые жидкости.

Компания «Демо» производит профессиональные моющие средства из высококачественных импортных ингредиентов по современным технологиям, не уступает по потребительским свойствам и качеству зарубежным аналогам. Разработка рецептур, которые отвечают всем задачам мойки и дезинфекции, с применением высококачественных multifunctional компонентов. Оказывает минимальное воздействие на людей, оборудование и окружающую среду.

Группа компаний «Технология Чистоты» создает комплексные моющие и дезинфицирующие препараты серии «Биомол», «Криодез» и другие основанные на синтезе новых поверхностно-активных веществ. Все препараты обладают высокой моющей способностью, низкой токсичностью. Они отличаются от традиционных химических препаратов по своему составу, свойствам и режимам применения. Все созданные рецептуры нацелены на сокращение продолжительности санитарной обработки и расхода воды [18].

Рынок моющих средств очень обширен, но, к сожалению, за счет импорта.

В настоящий момент в России очень много производителей моющих средств, но всё же основная доля ассортимента приходится на зарубежные фирмы.

Наши работы [19–26] проводятся по контракту «Разработка технологий, технических решений и программного обеспечения в сфере информационно-телекоммуникаци-

онных систем, электроники, медицины, машиностроения, получения новых материалов и производства новых видов пищевых продуктов» в рамках программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса», организованной Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

По результатам исследований нами получен патент РФ 2517192 от 12.03.14 «Моющее средство для обра-

ботки пищевого технологического оборудования», заявка №201252218 (приоритет изобретения 04.12.2012 г.); подана заявка в ФИПС на патент РФ №2013114638 «Кислотное моющее средство для очистки пищевого оборудования» (приоритет изобретения 01.04.2013 г.); подана заявка в ФИПС на патент РФ №201313609 «Моющее дезинфицирующее средство» (приоритет изобретения 31.07.2013 г.).

Литература:

1. Гаязова, А. О., Ребезов М. Б., Паульс Е. А., Ахмедьярова Р. А., Косолапова А. С. Перспективные направления развития производства мясных полуфабрикатов. Молодой ученый. 2014. №9. с. 127–129.
2. Губер, Н. Б., Ребезов М. Б., Асенова Б. К. Перспективные способы разработки мясных биопродуктов. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2014. Т. 2. №1. с. 72–79.
3. Губер, Н. Б., Ребезов М. Б., Топурия Г. М. Инструменты снижения рисков при реализации инновационных проектов в сфере продуктов питания животного происхождения. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2014. Т. 8. №1. с. 156–159.
4. Губер, Н. Б., Ребезов М. Б., Топурия Г. М. Минимизация рисков при внедрении технологических инноваций в мясной промышленности (на примере Южного Урала). Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2014. Т. 8. №2. с. 180–188.
5. Догарева, Н. Г., Стадникова С. В., Ребезов М. Б. Создание новых видов продуктов из сырья животного происхождения и безотходных технологий их производства. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). 2013. с. 945–953.
6. Ребезов, М. Б., Топурия Г. М., Асенова Б. К. Виды опасностей во время технологического процесса производства сыровяленых мясopодуKтов и предупреждающие действия (на примере принципов ХАССП). Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2014. Т. 2. №1. с. 60–66.
7. Соловьева, А. А., Зинина О. В., Ребезов М. Б., Лакеева М. Л., Гаврилова Е. В. Актуальные биотехнологические решения в мясной промышленности. Молодой ученый. 2013. №5. с. 105–107.
8. Альхамова, Г. К., Ребезов М. Б., Амерханов И. М., Мазаев А. Н. Анализ потребительских предпочтений при выборе творожных продуктов. Молодой ученый. 2013. №3. с. 13–16.
9. Асенова, Б. К., Амирханов К. Ж., Ребезов М. Б. Технология производства функциональных продуктов питания для экологически неблагоприятных регионов. Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства. 2013. №1. с. 313–316.
10. Гаязова, А. О., Ребезов М. Б., Попова М. А., Лукиных С. В. Оценка качества и безопасности разработанного мясорастительного рубленого полуфабриката. Молодой ученый. — 2014. — №10. — с. 133–136.
11. Лукиных, С. В., Ребезов М. Б., Косолапова А. С., Ахмедьярова Р. А., Паульс Е. А. Исследование рынка производства продуктов из мяса птицы. Молодой ученый. 2014. №9. с. 175–178.
12. Лукиных, С. В., Ребезов М. Б., Попова М. А., Гаязова А. О. Оценка качества и безопасности разработанного рулета из мяса птицы. Молодой ученый. 2014. №10. с. 168–171.
13. Окусханова, Э. К., Асенова Б. К., Ребезов М. Б., Игенбаев А. К. Белковый обогатитель при производстве функциональных мясных продуктов. Инновационное образование и экономика. 2014. Т. 1. №14 (25). с. 43–47.
14. Попова, М. А., Ребезов М. Б., Гаязова А. О., Лукиных С. В. Оценка качества и безопасности разработанного йогурта. Молодой ученый. 2014. №10. с. 199–202.
15. Прохасько, Л. С., Ребезов М. Б., Асенова Б. К., Зинина О. В., Залилов Р. В., Ярмаркин Д. А. Применение гидродинамических кавитационных устройств для дезинтеграции пищевых сред. Сборник научных трудов SWorld. 2013. Т. 7. №2. с. 62–67.
16. Ребезов, М. Б., Амерханов И. М., Альхамова Г. К., Етимбаева Р. Р. Конъюнктура предложения мясных продуктов «Халяль» на примере города Челябинска. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. №77. с. 915–924.
17. Пецольдт, К., Воробьева И. В., Сапегина С. Н. Стратегии выхода на рынок России немецких предприятий среднего бизнеса (производителей моющих средств). Проблемы современной экономики. 2009. №1.
18. Галаничева, М. Е. Инновационные разработки в области моющих средств. Пищевая промышленность. 2006. №6.

19. Анохина, Е. С., Ребезов М. Б. Определение закономерностей удаления сложных белково-жировых загрязнений. Сборник научных трудов SWorld. 2013. Т. 42. № 1. с. 92–97.
20. Анохина, Е. С., Ребезов М. Б., Нагибина В. В. Разработка рецептур кислотных моющих средств. Естественные и математические науки в современном мире. 2013. № 10–11. с. 180–184.
21. Анохина, Е. С., Ребезов М. Б., Нагибина В. В., Асенова Б. К., Максимюк Н. Н. Исследование степени биоразлагаемости разработанных моющих композиций. Молодой ученый. 2013. № 10. с. 84–86.
22. Нагибина, В. В., Ребезов М. Б., Анохина Е. С. Обезжиривание поверхности с помощью щелочных моющих средств. Экономика и бизнес. Взгляд молодых: мат. междунар. заочной научн.-практ. конф. молодых ученых, 3 декабря 2013 г. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. с. 168–170.
23. Нагибина, В. В., Ребезов М. Б., Анохина Е. С., Максимюк Н. Н., Асенова Б. К. Разработка мультиферментных моющих средств для предприятий пищевой промышленности. Молодой ученый. 2014. № 8. с. 214–216.
24. Нагибина, В. В., Ребезов М. Б., Анохина Е. С., Максимюк Н. Н., Асенова Б. К. Обезжиривание поверхности оборудования пищевой промышленности. Молодой ученый. 2014. № 10. с. 178–180.
25. Анохина, Е. С., Ребезов М. Б. Проведение производственных испытаний разработанных кислотных моющих средств. Техника и технология пищевых производств: мат IX междунар. научн.-технич. конф. Могилев: МГУП, 2013. с. 168.
26. Анохина, Е. С., Ребезов М. Б., Асенова Б. К. Усовершенствование технологических режимов санитарной обработки оборудования на предприятиях пищевой промышленности. Качество продукции, технологий и образования: мат. VIII всеросс. научн.-практ. конф. с междунар. уч. Магнитогорск: МГТУ им. Г. И. Носова, 2013. с. 37–40.

Производство мясных полуфабрикатов по инновационным технологиям

Прянишников Вадим Валентинович, кандидат технических наук;
Гиро Татьяна Михайловна, доктор технических наук, профессор
1Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова

Семикопенко Наталья Ивановна
МПК «Ясные Зори» (Белгородская обл.)

Авторами рассмотрены современные технологии производства мясных полуфабрикатов с использованием маринадов, рассольных препаратов, панировочных систем и растительных волокон.

Ключевые слова: мясные полуфабрикаты, маринады, комплексные препараты, панировочные системы, растительные волокна

Тенденция активного развития потребления охлажденной мясной продукции и продуктов быстрого приготовления сохраняется на протяжении последних лет, несмотря на то, что розничная стоимость охлажденного мяса выше замороженного. Эта тенденция наблюдается не только в России, но и во всем мире [1]. Производство охлажденных полуфабрикатов осуществляется не только пищевыми предприятиями, но и сетевыми магазинами, в которых есть собственные цеха по производству полуфабрикатов.

Питаться вкусно, разнообразно и при этом не затрачивая на приготовление пищи много времени, мечтает каждая хозяйка. Вкусы в семье у всех разные, и чтобы не готовить каждый день, да и не одно блюдо, все больше современные люди предпочитают покупать готовые мясные полуфабрикаты и блюда быстрого приготовления, так как все меньше остается времени на творчество в приготовлении пищи дома [2].

Не секрет, что маринование — способ консервирования пищевых продуктов, основанный на действии кис-

лоты, которая в определенных концентрациях, и особенно в присутствии поваренной соли, подавляет жизнедеятельность многих микроорганизмов. Распространено также маринование с применением растительных масел. Основными компонентами для маринования являются: кислота, растительное масло, пряности и специи. Кислота, которая используется в маринаде, применяется для смягчения мяса, и предохраняет его от бактерий. Она присутствует в маринадах в составе лимонного сока, сухого вина, фруктовых соков. Растительное масло предохраняет мясо или рыбу от воздействия кислоты, а также в жирах хорошо растворяются ароматы различных специй. Масло не должно иметь свой выраженный вкус, чтобы не перебивать вкус приправ и мяса. Масло также предохраняет мясо от пересыхания при дальнейшем приготовлении. Пряности и специи используются для придания аромата продуктам с не выраженным вкусом, таким как свинина или курица, придают дополнительные вкусовые оттенки [3].

Маринады выпускают «базовые», на основе эмульсии, маринады с выраженным блеском, с овощами и в сухом виде. «Базовые» маринады с легким ароматом, в основе имеют рапсовое масло, растительные экстракты паприки или чеснока, или мед. В основном они используются для нанесения на поверхность полуфабрикатов, как самостоятельный компонент или с декоративными специями. Маринады на основе эмульсии имеют в своем составе растительные масла, воду, специи, экстракты пряностей и соль. Отличаются ярко выраженным вкусом, цветом и запахом, используются для обработки полуфабрикатов как самостоятельный компонент. Маринады с блеском имеют хорошо выраженный блеск, вкус, цвет и запах. Также применяются как самостоятельный компонент. Овощные маринады тоже на основе масла, но могут содержать паприку, грибы, лук, кукурузу, морковь, цветную капусту и другие овощи. Сухие маринады используются как в сухом виде (при приготовлении колбасок для жарки, котлет), так и в разведенном (для шашлыка, поджарки, рагу, филе). Технологи предприятий имеют широкий ассортимент продуктов: прекрасные приправы, жидкие маринады, маринады в порошке для натуральных и рубленых полуфабрикатов из мяса, в том числе для гриля, хорошие основы для подлив, соусов, изысканные вкусовые добавки для первых и вторых кулинарных блюд.

Для выработки натуральных полуфабрикатов самый современный в Европе завод по производству ингредиентов производит большой ассортимент маринадов: изысканные крем — пасты серии Арометте, получившие широкое распространение в Европе, жидкие маринады серии Маринетте и маринады в порошке. Крем — пасты серии Арометте — представляют собой смесь специй на основе закаленного растительного масла, не позволяющего продукту пригорать при жарке. Масляная основа обеспечивает привлекательный глянец поверхности полуфабрикатов в течении всего периода хранения, защищает продукт от окисления, гарантирует стабильный внешний вид продукта во время хранения. Густая консистенция обеспечивает равномерное распределение маринада по поверхности. Вкусо-ароматические компоненты, которые находятся в специях, являются жирорастворимыми. Благодаря этому, за время маринования они проникают внутрь полуфабриката и равномерно распределяются по всему объему куска мяса. Крем — пасты Арометте готовы к употреблению, идеально подходят для гриля и барбекю, удобны в применении.

Маринады в порошке просты в использовании и имеют минимальный расход. Они позволяют получить маринад желаемой консистенции и более низкой стоимости. Для мясопереработчиков они привлекательны своей эффективностью и простотой применения. На первом этапе технологического процесса сухую смесь необходимо развести в воде. Затем следует перемешать маринад с мясом в массажёре или вручную. Добавление растительного масла на заключительном этапе технологического процесса способствует защите поверхности продукта от за-

ветривания и придаёт ей идеальный блеск. Для приготовления 10 кг такого готового маринада необходимо: 2,5 кг сухого маринада, 4,5 л воды и 3 л растительного масла. Сухой маринад смешать с водой до полного растворения маринада, затем медленно влить растительное масло и обработать до получения эмульсии. Норма расхода составит 100 г готового маринада на 1 кг мясного сырья.

В качестве примеров приведём технологические процессы приготовления белых безнитритных колбасок и полуфабриката «Бедро куриное в маринаде».

Колбаски белые вареные для гриля или жарки (безнитритные): колбаски «Садовые травы»

Наименование	Количество, кг
Свиная нежирная	50
Шпик измельченный охлажденный	30
Лед/вода	20
ИТОГО:	100
Соль	1,800
арт. 6290 Братвурст	0,500
арт. 5084 Мастермикс форте	0,400
Витацель WF 400R	0,500
арт. 05257 Перлет. Садовые травы	3,500
оболочка — черева свиная	

Технология приготовления:

Измельчить всё мясо и жирсырьё на автоматическом угловом волчке с диаметром отверстий решётки 5 мм, который позволяет перерабатывать мясные и другие продукты поддерживая, качество продукта после процесса измельчения. Диаметр решеток доступен в диапазоне 130÷200 мм. Благодаря нескольким комбинациям ножей и решеток возможно получить фарш разного вида, в зависимости от потребностей клиента. (Со стороны решетки возможно подключение сепарирующей системы для дообваливания мяса с костей. Возможна установка вертикальной загрузки тележек позволяя автоматизировать линию с целью увеличения конечной производительности). Затем измельченное сырьё поместить в вакуумный универсальный куттер, на котором кроме измельчения возможно также перемешивание фарша.

Для колбасок с использованием говядины и свинины вначале обрабатывают мясное сырьё с наименьшим содержанием жира: говядину или свинину нежирную, или кусковое мясо птицы, затем добавляется часть воды (льда), нитрит натрия (если он не добавлялся при посоле, в данной рецептуре он не используется), соль (если сырьё несоленое). После 2—3 мин. куттерования вводят свинину полужирную, с содержанием жировой ткани не более 60%, жирную свинину или жирную говядину, в данном случае шпик и обрабатывают в течении 3—5 мин. Затем добавляются соль, специи и средство для куттерования Майстер Микс Форте, Витацель, Братвурст Прокрутить 3—4 оборота, затем добавить воду со льдом. Добавить пряные жемчужины Перлеты. Их аккуратно вмешивать, не кутте-

ровать! Набить фарш в оболочку на вакуумном шприце. Варить в термокамере при температуре 76°C до температуры в центре батона 71–72°C; Душировать очень холодной водой.

Бедро куриное в маринаде

№ п/п	Наименование сырья	Артикул	Количество, кг
1	Бедро куриное		84,6
2	Ароматте «Сливочный с травами»	4293	8,4
3	Цертерлинг	7651	1,4
4	Вода		15,6
	ИТОГО:		110

Краткая технология:

Мясное сырье рекомендуется перед нанесением маринада обработать рассольным препаратом Цертерлинг арт. 7651 либо путем инъектирования с использованием инъектора, либо путем массажа в массажере.

Рассол: Цертерлинг арт. 7651—8 кг

Вода — 92 кг

Итого: — 100 л

Обработанный окорочок куриный в мешалке, перемешать с маринадом «Сливочный с травами». В мешалке предусмотрена система перекрещивающихся мешающих лопаток, сберегая оригинальный цвет и качество. Готовый продукт подается на фасовку.

Россия давно стала открытой страной, все больше россиян путешествуют. Поэтому, все больше становятся популярными у россиян кухни разных народов мира. В ассортименте есть маринады для американской, китайской, кавказской, венгерской, французской, испанской, азиатской, индийской кухни. Жидкий маринад арт. «Маринетте Азия» с соевым соусом, ананасовым и лимонным соком, медом не только способствует сохранению свежести, улучшает потребительские характеристики готового продукта, но и придает неповторимый азиатский вкус. Красный маринад арт. 4270 «Ароматте Испания» с паприкой, майораном, перцем хорошо сочетается с телятиной, курицей, рыбой. Характерной чертой испанской кухни является обильное применение разнообразных пряностей и ароматических трав. Как известно, великие географические открытия были совершены Афанасием Никитиным, Васко да Гама, Фернаном Магелланом, Христофором Колумбом, в поисках торговых путей за пряностями. Для приготовления соусов обычно используются чеснок, и измельченные пряности, лук и миндаль, красный молотый перец (пимантон) и желтый шафран.

Арт. 4300 «Ароматте Карри» желтой гаммы прекрасно подходит для приготовления курицы — гриль, крылышек, шашлыков из мяса птицы. Карри — одна из самых известных смесей индийских приправ на основе корня куркумы. В ее составе может находиться до 30 различных

ингредиентов, но традиционными, помимо куркумы, являются кардамон, корица, имбирь, шафран, перец чили, кумин, имбирь. В Индии смесь готовят из свежих компонентов, однако, за ее пределами карри — это именно сухой порошок. Чаще всего карри отличается неострым вкусом, однако существуют и острые варианты. Традиционно карри применяется для придания аромата и окрашивания риса, овощей, мяса, птицы, безалкогольных напитков, добавляется практически во все закуски, горячие соусы, супы, гарниры, салаты, пиццы.

У американцев существует множество рецептов приготовления ребрышек, в большинстве случаев они готовятся на гриле. «Ароматте Техас» арт. 4290 прекрасно подходит для такого случая. Маринад красной гаммы с чесноком, тмином, майораном, перцем. С ним мясо получается нежным, сочным, пряным и легко отходит от костей.

Мясо в клюквенном маринаде арт. 4277 «Ароматте Клюква» исключительно вкусное, сочное, мягкое, с кисло-сладким вкусом. Кроме этого в составе содержится йодированная соль, которая способствует профилактике развития йод — дефицитных заболеваний. Клюквенный маринад не восприимчив к холоду (не эмульсия), прост в применении, имеет приятный блеск и гармонично сочетается с бараниной, индейкой, говядиной.

Маринады производятся в очень удобной упаковке: жидкие (полиэтиленовые ведра по 4 кг, пластиковые пакеты по 2 кг с очень удобным специальным колпачком-дозатором, или штуцером), сухие (пакеты из комбинированного материала с фольгой по 2 кг).

Существует большое число компонентов для увеличения выхода мясных полуфабрикатов. Цертерлинг Пауэр арт. 7651 и Фришемикс арт. 5132 — комплексные препараты для приготовления рассола, позволяющие получить выход мясных полуфабрикатов 110%–130% [4]. Данные бесфосфатные препараты позволяют увеличить срок годности и сохранить цвет натуральных и рубленых полуфабрикатов из всех видов мяса. Мясное сырье рекомендуется перед нанесением маринада обработать рассольным препаратом для снижения потерь при тепловой обработке, улучшения текстуры продукта и снижении себестоимости готового продукта [5].

Производители постоянно расширяют ассортимент полуфабрикатов в панировочных системах. Панировки имеют отличные функциональные свойства (удерживают естественную влагу и позволяют сохранить цветовую гамму после тепловой обработки). Брата — это более 100 видов наименований продукции. Выход готовой продукции в панировочных системах составляет до 150%. Это достигается в результате тройного панирования.

Для приготовления полуфабрикатов с двойным и тройным панированием, а также изготовления панированных полуфабрикатов на автоматических линиях нагетсов, кордон — блю, креветок, колец кальмаров, рыбного филе, куриных грудок используются панировки: белые и ярко-оранжевые панировочные сухари мелкой, средней

и крупной грануляции. Данные панировочные сухари имеют нейтральный вкус и сохраняют вкус ваших продуктов.

Для придания пикантных вкусовых направлений и для производства оригинальных изделий существуют панировки с различными вкусами — с кукурузными хлопьями, с картофельной и кокосовой стружкой, со вкусом сыра, укропа, лимона, с кунжутом, миндальными хлопьями.

Высокие функционально-технологические свойства в сочетании с биологической ценностью выдвигают пшеничную клетчатку на одно из первых мест для производства всех видов мясopодуKтов от полуфабриKатов до сыроKопченых колбас [6,7]. Данный продукт представляет собой растительные волокна, которые производятся из вегетативной части колоса пшеницы, на 97% состоит из балластных веществ и в связи с этим снижает калорийность мясных продуктов и рекомендуется для мясopодуKтов функционального, лечебного и профилактиче-

ского назначения. Пшеничная клетчатка входит в ГОСТ Р 52992—2008 «Колбасы полуKопченые для детского питания», ГОСТ Р 53645—2009 «Изделия колбасные вареные для детского питания», ГОСТ Р 54753—2011 «Ветчина вареная в оболочке для детского питания». Лаборатория детского питания ВНИИ мясной промышленности им. В.М. Гобатова разработала ГОСТ «ПолуфабриKаты мясные рубленые для детского питания», в который также включены пшеничные волокна [8]. Разработаны и утверждены более 20 ТУ на производство мясных продуктов, в состав которых входит пшеничная клетчатка. Одним из таких документов является ТУ 9214—006—42463180—13 «ПолуфабриKаты мясные и мясoдержающие» [9].

Многие российские мясoпереработчики успешно применяют современные технологии производства полуфабриKатов. А покупатели в различных регионах России по достоинству оценили их высокие вкусовые качества.

Литература:

1. Прянишников, В. В. Мировые проблемы в производстве, переработке и потреблении мяса // Птица и птицепродукты. — 2011. №6. — с. 8—9.
2. Прянишников, В. В. Инновационные технологии производства полуфабриKатов из мяса птицы // Птица и птицепродукты. — 2010. №6. — с. 54—57.
3. Антипова, Л. В., Прянишников В. В. Применение препаратов Витацель в технологии рубленых полуфабриKатов // Все о мясе. — 2006. №4. — с. 15—17.
4. Ильтяков, А. В., Прянишников В. В., Микяшевски П., Полный спектр животных белков для антикризисной программы // Пищевые ингредиенты: сырьё и добавки. — 2009. №1. — с. 28—31.
5. Прянишников, В. В. Натуральные структурообразователи в технологии рубленых полуфабриKатов // Мясная индустрия. — 2010. №9. с. 78—80.
6. Прянишников, В. В. Свойства и применение препаратов серии «Витацель» в технологии мясных продуктов // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. — Воронеж: «Воронежская государственная технологическая академия», 2007.
7. Прянишников, В. В. Пищевые волокна «Витацель» в мясной отрасли //
8. Мясная индустрия. — 2006. №9. — с. 43—45.
9. Прянишников, В. В. Пищевая клетчатка в инновационных технологиях мясных продуктов // Пищевая промышленность. — 2011. — №5. — с. 20—21.
10. Гиро, Т. М., Прянишников В. В., Толкунова Н. Н. Использование белковых препаратов в мясных технологиях. — Саратов: «Саратовский источник», 2013. — 205 с.

Технологический обучающий семинар по инновационным мясным технологиям

Прянишников Вадим Валентинович, кандидат технических наук
Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова

Мы являемся свидетелями того, что с каждым годом усложняются технологии производства мясных продуктов: изменяется сырьё и материалы, совершенствуется оборудование, используются новые технологические приёмы, изменяются рецептуры, применяются более технологичные функциональные добавки. Мясные технологии стали подлинным НИ-ТЕСН. Чтобы не отставать

от требований времени технологи и специалисты мясoперерабатывающих предприятий должны постоянно обучаться, получать актуальную информацию.

Вот почему многие фирмы для поднятия уровня знаний технологов предприятий использует самые разные методы и приёмы. Участие в выставках, прежде всего, в главной выставке в мясной промышленности — в осенней вы-

ставке «Агропродмаш» даёт возможность знакомиться с последними новинками. А раз в три года все едут во Франкфурт на своеобразную «мясную олимпиаду», на выставку IFFA. Нами опубликовано около 350 статей в научно-технических отраслевых журналах, очень много в старейшем и авторитетном журнале «Пищевая промышленность». За последние три года в Москве, Санкт — Петербурге, Краснодаре, Саратове, Рязани вышли из печати наши 20 монографий и книг, посвященных актуальным вопросам использования ингредиентов в мясных технологиях. Серьёзное внимание уделено использованию животных и растительных белков, пищевой клетчатки в рецептурах мясных продуктов.

Это неудивительно — ведь в научный оборот промышленное использование клетчатки в мясных технологиях [1,2,3], произошло совсем недавно, применение возросло до тысяч тонн ежегодно! Интересно также и то, что четыре книги рекомендованы Учебно-методическими объединениями в качестве учебного пособия для студентов — будущих технологов мясокомбинатов [4,5]. Так что ещё со студенческой скамьи технологи знакомятся с инновационными технологиями. Ещё один учебник вышел недавно в Казахстане [6]. Очень эффективны также презентации и опытные выработки продукции непосредственно на мясокомбинатах.

Учеба технологов проходила Австрии, в горной провинции Тироль, в небольшом городке Кирхбихль, недалеко от немецко-австрийской границы. Здесь построен совсем недавно завод по производству ингредиентов, он является самым современным в Европе. Поэтому наша группа из 30 человек летела в Австрию через Мюнхен, столицу Баварии.

Весь первый день мы знакомились с мюнхенскими достопримечательностями и с баварской кухней. Дружеский ужин был у нас в ресторане в мюнхенской ратуше. Кстати, именно в этом ресторане были изобретены белые мюнхенские безнитритные колбаски: помог случай — немецкий мясник попросту забыл внести в фарш нитрит!!! А сегодня эти колбаски популярны не только в Германии, их выпускают и в России.

Второй день удалось провести время в замечательных, достопримечательных местах. Запомнилась поездка в Зальцбург, где не только посетили дом, в котором родился великий В. А. Моцарт, но и поужинали в самом старинном ресторане Европы. Представьте себе, он работает с 803 года!!! Поддача блюд в роскошном зале в стиле рококо перемежается исполнением самых популярных произведений Моцарта. Можно послушать в «живом» исполнении дуэты из великих опер Моцарта — «Дон Джовани», «Женитьба Фигаро» и «Волшебная флейта». Кухня ресторана — особенно изысканна.

А следующий день — уже в Австрии, в Кирхбихле — в прекрасном отеле в горной долине с поразительными видами Альп — был посвящён докладам и дегустации немецких и российских продуктов, произведённых по технологиям. Главной темой семинара стали деликатесная продукция и сырокопченые колбасы [7]. О современных

технологиях рассказали немецкий коллега — Йенс Траутман и к. т. н. Т. Н. Коршунова. Для дегустации было предложено более 50 продуктов ведущих российских производителей из Москвы, Санкт-Петербурга, Челябинска, Сочи и ряда других городов. С пояснениями и ответами на вопросы выступали технологи этих предприятий. После перерыва работа продолжилась... Очень интересным были доклады о работе немецких сетей (Йоханнес Тонауэр) и применении клетчатки Витацель в мясных технологиях (профессор СГАУ В. В. Прянишников) Фундаментальные исследования клетчаток в мясных технологиях были выполнены также в ВГТА под руководством проф. д. т. н. Людмилы Васильевны Антиповой.

Совсем недавно к существующим прежде стартовым культурам добавились новые — ПротектСТАРТ®, ПрестоСТАРТ® и АромаСТАРТ®. При этом: ПротектСТАРТ® подавляет нежелательное действие энтеробактерий и уничтожает листерии, а АромаСТАРТ® многократно усиливает ароматику сырокопченых колбас. Семинар, так же как и прошедшая в мае выставка IFFA, прошли с акцентом на производство сырокопченых колбас и деликатесной продукции. Большой интерес вызвали рассольные препараты для шприцевания полуфабрикатов на строго фиксированный процент с помощью инъектора с сервоприводом. Осенью планируется в Австрии специализированный семинар по технологии производства сырокопчёных колбас с использованием стартовых культур. Уже и теперь многие крупные производители, среди них и московские, успешно выпускают продукцию со стартовыми культурами.

С огромным интересом прошло посещение самого современного завода Европы по производству добавок. Здесь реализовано несколько технических новшеств, позволяющих лучше сохранять ароматику и вкус специй. Завод полностью автоматизирован, все процессы приготовления смесей проходят без прямого участия человека. Сильные впечатления оставили аналитическая лаборатория, оснащённая по последнему слову техники и операционный зал, где контейнеры с добавками перемещаются полностью автоматически по командам компьютера. Ни человеческие руки, ни воздух не соприкасаются с добавками.

Сразу после этого завода мы отправились на экскурсию на мясоперерабатывающий комбинат, который уже более 150 лет работает в столице Тироля, городе Инсбруке. Участники семинара осмотрели производство, продегустировали великолепную продукцию и получили в качестве подарков несколько видов традиционных тирольских деликатесов.

А один из вечеров мы провели высоко в горах, так высоко, что добраться до этого альпийского ресторана можно только на специальном транспорте. Там нас ждал тирольский вечер: большой дружный коллектив в национальной одежде — кожаных шортах и вязаных блузках пел, танцевал, от души веселился вместе со всеми. Оказывается, россияне и жители Тироля — родственные души! Различные виды мясных продуктов приготовленные на гриле в маринадах и специях также очень всем понравились [8].

Литература:

1. Прянишников, В. В. Пищевые волокна «Витацель» в мясной отрасли // Мясная индустрия. — 2006. — № 9. — с. 43–45
2. Прянишников, В. В. Пищевая клетчатка в инновационных технологиях мясных продуктов // Пищевая промышленность, 2011, № 5, с. 20–21.
3. Прянишников, В. В. Свойства и применение препаратов серии «Витацель» в технологии мясных продуктов: Дисс...канд. тех. наук. — Воронеж: ВГТА, 2007.
4. Черкасов, О. В., Еделев Д. А., Нечаев А. П., Морозова Н. И., Мусаев Ф. А., Прянишников В. В., Ильтяков А. В. Пищевые волокна и белковые препараты в технологиях продуктов питания функционального назначения: Учебное пособие. -Рязань: Издательство ФГБЩУ ВПО РГТУ, 2013. — 160 с.
5. Гиро, Т. М., Прянишников В. В., Толкунова Н. Н. Использование белковых препаратов в мясных технологиях: Учебное пособие. — Саратов: Издательство «Саратовский источник», 2013. — 205 с.
6. Узаков, Я. М., Прянишников В. В., Ильтяков А. В. Белки и пищевые волокна в мясных технологиях: Учебное пособие. — Алматы: Издательство «Эверо», 2013. — 280 с.
7. Прянишников, В. В., Ильтяков А. В. Современные технологии сырокопченых колбас с применением стартовых культур // Мясная индустрия. — 2011. — № 10. — с. 30–32.
8. Антипова, Л. В., Прянишников В. В. Применение препаратов Витацель в технологии рубленых полуфабрикатов из мяса птицы // Все о мясе. — 2006. — № 4. — с. 15–17.
9. Гиро, Т. М., Прянишников В. В. Инновационные технологии производства мясных полуфабрикатов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. Саратов-2014. — № 01. — с. 58–61.
10. Прянишников, В. В., Микляшевски П., Ильтяков А. В. Полный спектр животных белков «Могунции» для антикризисной программы // Пищевые ингредиенты: сырьё и добавки. — 2009. — № 1.

Основные требования к маркировке мясной продукции

Ребезов Ярослав Максимович, магистрант;

Дуць Анна Олеговна, магистрант;

Губер Наталья Борисовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (г. Челябинск)

Зинина Оксана Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова (Челябинская обл.)

На кафедре прикладной биотехнологии ЮУрГУ проводятся исследования по перспективному направлению «Мясные сэнки» [1–11]. Разработка новых мясных продуктов должна удовлетворять потребностям потребителей и соответствовать утвержденным требованиям [12–26].

К маркировке сыровяленой мясной продукции предъявляются требования ТР ТС 034/2013 (Технический регламент Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции»), ТР 022/2011 (Технический регламент Таможенного союза «Пищевая продукция в части ее маркировки»), ГОСТ Р 51074–2003 «Продукты пищевые. Информация для потребителя. Общие требования» — их требования должны выполняться для всех видов мясной продукции.

На потребительской упаковке мясной продукции должна содержаться следующая информация:

— наименование мясной продукции в соответствии с наименованием, установленным в нормативных документах, в соответствии с которым изготавливается

мясная продукция. Не допускается указывать в наименовании компоненты, если они или продукты их переработки не входят в состав данной продукции;

— информацию о группе мясной продукции (например, «мясной продукт», «мясорастительный продукт» или «растительномясной продукт») включают в наименование продукта или в непосредственной близости от наименования;

— для мясной продукции, полученной из части туши продуктивных животных, выделенных анатомически, мясные ингредиенты приводятся в соответствии с видом мяса или его анатомической части (пример: «говядина», «свинина», «баранина», «грудинка свиная», «шейка свиная», «вырезка говяжья» и другие);

— при маркировке цельнокусковых продуктов из мяса и крупнокусковых, порционных и мелкокусковых бескостных полуфабрикатов указывают термическое состояние сырья. Информация о термических состояниях и специальной обработке продукта (например, «копченый», «охлажденный», «замороженный» и других)

включают в наименование продукта или в непосредственной близости от наименования;

— состав продукции. Содержание состава мясной продукции приводят по мясным и немясным ингредиентам в порядке уменьшения массовых долей ингредиентов. Обязательна информация о применении при изготовлении мясной продукции и о содержании в использованном сырье пищевых добавок, биологически активных добавок к пище, ароматизаторов, пищевых продуктов нетрадиционного состава с включением не свойственных им компонентов белковой природы, облученных ионизирующим излучением, компонентов, полученных с применением генномодифицированных организмов (далее — ГМО);

— сведения о пищевой ценности (содержании белков, жиров, углеводов и калорийности — энергетической ценности) приводятся в случаях, если их значение в 100 г продукта составляет не менее 2%, а для минеральных веществ и витаминов не менее 5% от рекомендуемого суточного потребления;

— дата изготовления, срок годности. При маркировке кулинарных изделий дополнительно наносят дата изготовления и дата упаковывания. Для изделий, требующих специальной обработки перед употреблением, дополнительно указывают рекомендации по приготовлению;

— наименование и место нахождения изготовителя (продавца), масса нетто и (или) объем, условия хранения, информация о подтверждении соответствия приводится согласно требованиям технического регламента ТС 022/2011;

— при использовании вакуума и газовой среды для упаковки мясной продукции дополнительно наносят «упако-

вано под вакуумом» или «упаковано в условиях защитной газовой среды» или слова аналогичные по смыслу;

— обозначение документа, в соответствии с которым изготовлен и/или может быть идентифицирован продукт (допускается наносить номер без указания года утверждения документа).

При маркировке мясной продукции допускается использовать следующие указания: «отсутствует», «без», «низкая», «с низким содержанием», «высокая», «с высоким содержанием», «источник» относительно содержания белков, жиров, сахаров, витаминов и минеральных веществ.

Заявление об отличительных признаках мясной продукции, в том числе об отсутствии в мясной продукции компонентов, полученных с применением ГМО, должно быть подтверждено доказательствами, сформированным изготовителем/продавцом, указавшим это заявление в маркировке продукции, самостоятельно или полученным им с участием третьих лиц. Доказательства наличия отличительных признаков мясной продукции подлежат хранению у изготовителя/продавца, выпускающего данную продукцию в обращение на единой таможенной территории Таможенного союза, и предъявляются для ознакомления в случаях, предусмотренных законодательством государств-членов Таможенного союза.

Сравнительная характеристика требований к маркировке (требования ТР ТС 022/2011 аналогичны требованиям ТР ТС 034/2013, но в профильном НД они представлены более «узкоспециализированными») ТР ТС 034/2013 и ГОСТ Р 51074–2003 представлены в таблице 1.

Таблица 1. Требования к маркировке для сыровяленной мясной продукции

ТР ТС №034/2013 (требования аналогичны с ТР ТС 022/2011)	ГОСТ Р 51074–2003
1. наименование пищевой продукции;	1. наименование продукта
2. информацию об отличительных признаках	2. информацию об отличительных состояниях и специальной обработке продукта
3. состав пищевой продукции	3. состав продукции
4. группа, вид и способ технологической обработки продукта	4. товарный знак изготовителя
5. количество пищевой продукции (масса нетто);	5. масса нетто
6. наименование и место нахождения изготовителя или фамилия, имя, отчество и место нахождения индивидуального предпринимателя — изготовителя пищевой продукции	6. наименование и местонахождение изготовителя
7. дата изготовления пищевой продукции;	7. дата изготовления и дата упаковывания
8. срок годности пищевой продукции	8. срок годности
9. условия хранения, которые установлены изготовителем или предусмотрены техническими регламентами Таможенного союза на отдельные виды пищевой продукции	9. условия хранения пищевых продуктов
10. рекомендации и (или) ограничения по использованию, в том числе приготовлению пищевой продукции в случае, если ее использование без данных рекомендаций или ограничений затруднено, либо может причинить вред здоровью потребителей, их имуществу	10. срок хранения

11. показатели пищевой ценности;	11. пищевая ценность
12. сведения о наличии в пищевой продукции компонентов, полученных с применением ГМО	12. обозначение документа, в соответствии с которым изготовлен и может быть идентифицирован продукт
13. единый знак обращения продукции на рынке государств — членов Таможенного союза;	13. информация о подтверждении соответствия пищевых продуктов
14. продукт может сопровождаться и другой не противоречащей информацией, характеризующей продукт	14. дополнительная информация (сведения о наличии в пищевой продукции компонентов, полученных с применением ГМО)

Нами была проведена работа по сравнению характеристик, представленными на упаковках с мясными снеками требованиям НД. Были изучены три образца. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительная характеристика маркировки мясных снежков

Требования	Образцы		
	1	2	3
1. Наименование продукта	«Пивные джерки «ЧЕС-НОЧНАЯ СОЛОМКА»»	Говядина сушеная 20 гр.	Говядина сушеная ТМ Snacker 20 гр.
2. Информацию об отличительных состояниях и специальной обработке продукта	сыро-вяленые	вяленые	вяленые
3. Наименование и местонахождение изготовителя	ООО Русские джерки» Юр. адрес изготовителя — 199178, г. С-Петербург, наб. р. Смоленки, д. 14, тел. (812) 335–88–00 mirapetyan@jerki.ru	ООО «Фаст Фуд Системс». Юр. адрес изготовителя и адрес производства — 127273, г. Москва, Алтуфьевское шоссе, 2А, тел. +7 (495) 363–95–68/info@big-energy.ru	ООО «СВКА Маркет» Юр. Адрес изготовителя — г. Москва Солнечногорский р-н, МО, п. Ржавки, 48, тел. +74996860150, office@svka.net
5. Масса нетто	25 г	20 г	20 г
6. Состав продукта	Говядина, соль, натуральные специи	говядина, соль, сахар, смесь натуральных специй, консервант	Цельномышечная говядина, соль, специи
7. Пищевая ценность, в 100 г. продукта	белок — 40 г, жир — 12.4 г. 284 ккал	белки — 45,7 г, жиры — 14,5 г, 291 ккал	белки 44,1 г, жиры — 14,7 г, 313 ккал
8. Условия хранения пищевых продуктов и их срок годности	хранить в сухом месте при температуре от –9 до +20 °С. Срок годности 6 месяцев.	при относительной влажности воздуха 75–78% и температуре от 0 до +4 °С не более 5 месяцев, от +12 до +20 °С не более 6 месяцев	при температуре от 0 до +25 °С и относительной влажности не более 78% не более 12 месяцев.
9. Дата изготовления и дата упаковывания.	Дата изготовления и упаковывания — указана на упаковке	Дата изготовления указана на упаковке	
10. Обозначение документа, в соответствии с которым изготовлен и может быть идентифицирован продукт	ТУ 9213–001–13494185–05	ТУ 9214–012–49001590–2003	ТУ 9213–028–54780900–2011
11. Информация о подтверждении соответствия	РСТ (Знак соответствия при декларировании соответствия продукции)		
12. Дополнительная информация	Продукт готов к употреблению без дополнительной обработки	отсутствует	отсутствует

Розничная цена образцов за 100 г продукта равна 220, 175, 200 руб. соответственно.

После изучения результатов можно сделать вывод, что все три образца соответствуют требованиям настоящих НД.

Литература:

1. Дуць, А. О., Ребезов М. Б., Ребезов Я. М., Ковтун М. А., Зинина О. В. Разработка «Дома качества» для производства мясных снежков. Молодой ученый. 2014. №9. с. 135–139.
2. Дуць, А. О., Ребезов Я. М., Губер Н. Б., Ковтун М. А., Асенова Б. К., Оксханова Э. К., Азильханов А. С. Разработка программы испытаний и контроля качества мясных снежков. Молодой ученый. 2014. №8. с. 166–169.
3. Дуць, А. О., Ребезов Я. М., Ковтун М. А., Губер Н. Б., Зинина О. В. Мясные снежки (исторические аспекты). Молодой ученый. 2014. №8. с. 170–172.
4. Полтавская, Ю. А., Ребезов М. Б., Соловьева А. А., Тарасова И. В., Зинина О. В., Асенова Б. К. Применение стартовых культур в мясоперерабатывающей промышленности. Молодой ученый. 2014. №8. с. 229–232.
5. Ребезов, Я. М., Дуць А. О., Ребезов М. Б., Ковтун М. А., Асенова Б. К., Оксханова Э. К., Азильханов А. С. Оценка соответствия разработанного мясопродукта (мясные снежки) требованиям безопасности. Молодой ученый. 2014. №8. с. 238–243.
6. Ребезов, Я. М., Дуць А. О., Полтавская Ю. А., Соловьева А. А., Тарасова И. В., Ковтун М. А., Шкаева Н. А. Методы улучшения микробиологической безопасности мясопродуктов. Молодой ученый. — 2014. — №8. — с. 235–237.
7. Хайруллин, М. Ф., Дуць А. О. Изучение существующих аналогов и создание модели перспективного биомясопродукта «Мясные снежки». Молодой ученый. 2013. №. с. 26–28.
8. Ребезов, М. Б., Топурия Г. М., Асенова Б. К. Виды опасностей во время технологического процесса производства сыровяленых мясопродуктов и предупреждающие действия (на примере принципов ХАССП). Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2014. Т. 2. №1. с. 60–66.
9. Ребезов, М. Б., Хайруллин М. Ф., Зинина О. В., Дуць А. О., Соловьева А. А., Солнцева А. А., Варганова Е. Я., Аксенова М. О. Установление сроков хранения мясных снежков. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. №77. с. 403–412.
10. Способ изготовления мясных снежков (варианты). Хайруллин М. Ф., Ребезов М. Б., Лукин А. А., Зинина О. В., Наумова Н. Л., Лакеева М. Л., Максимюк Н. Н., Дуць А. О., Ребезов Я. М.. Патент на изобретение RUS 247052907.07.2011
11. Способ производства деликатесного продукта. Хайруллин М. Ф., Лукин А. А., Ребезов М. Б. Патент на изобретение RUS 244770216.06.2010.
12. Асенова, Б. К., Амирханов К. Ж., Ребезов М. Б. Технология производства функциональных продуктов питания для экологически неблагоприятных регионов. Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства. 2013. №1. с. 313–316.
13. Белокаменская, А. М., Ребезов М. Б., Мазаев А. Н., Ребезов Я. М., Зинина О. В. Применение физико-химических методов исследований в лабораториях Челябинской области. Молодой ученый. 2013. №4. с. 48–53.
14. Белокаменская, А. М., Ребезов М. Б., Мухамеджанова Э. К. Подбор современного оборудования для определения токсичных элементов с целью обеспечения качества испытаний. Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства. 2013. №1. с. 292–296.
15. Губер, Н. Б., Ребезов М. Б., Асенова Б. К. Перспективные способы разработки мясных биопродуктов. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2014. Т. 2. №1. с. 72–79.
16. Губер, Н. Б., Ребезов М. Б., Топурия Г. М. Минимизация рисков при внедрении технологических инноваций в мясной промышленности (на примере Южного Урала). Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2014. Т. 8. №2. с. 180–188.
17. Губер, Н. Б., Ребезов М. Б., Топурия Г. М.. Инструменты снижения рисков при реализации инновационных проектов в сфере продуктов питания животного происхождения. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2014. Т. 8. №1. с. 156–159.
18. Дуць, А. О., Полтавская Ю. А., Губер Н. Б., Хайруллин М. Ф., Асенова Б. К. Качество как основа конкурентоспособности мясопродуктов. Молодой ученый. 2013. №10. с. 131–134.
19. Лукиных, С. В., Ребезов М. Б., Косолапова А. С., Ахмедьярова Р. А., Паульс Е. А. Исследование рынка производства продуктов из мяса птицы. Молодой ученый. 2014. №9. с. 175–178.
20. Ребезов, М. Б., Амирханов И. М., Альхамова Г. К., Етимбаева Р. Р. Конъюнктура предложения мясных продуктов «Халяль» на примере города Челябинска. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. №77. с. 915–924.
21. Ребезов, М. Б., Белокаменская А. М., Зинина О. В., Наумова Н. Л., Максимюк Н. Н., Соловьева А. А., Солнцева А. А. Контроль качества результатов исследований продовольственного сырья и пищевых продуктов на содержание свинца. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2012. Т. 2. №1. с. 157–162.

22. Ребезов, М. Б., Зинина О. В., Максимюк Н. Н., Соловьева А. А. Использование животных белков в производстве мясопродуктов. Вестник Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. 2014. №76. с. 51–53.
23. Ребезов, М. Б., Зыкова И. В., Белокаменская А. М., Ребезов Я. М. Контроль качества результата анализа при реализации методик фотоэлектрической фотометрии и инверсионной вольтамперометрии в исследовании проб пищевых продуктов на содержание мышьяка. Вестник Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. 2013. Т. 2. №71. с. 43–48.
24. Ребезов, М. Б., Наумова Н. Л., Хайруллин М. Ф., Альхамова Г. К., Лукин А. А. Изучение отношения потребителей к обогащенным продуктам питания. Пищевая промышленность. 2011. №5. с. 13–15.
25. Соловьева, А. А., Зинина О. В., Ребезов М. Б., Лакеева М. Л., Гаврилова Е. В. Актуальные биотехнологические решения в мясной промышленности. Молодой ученый. 2013. №5. с. 105–107.
26. Ребезов, М. Б., Белокаменская А. М., Максимюк Н. Н., Наумова Н. Л., Зинина О. В. Оценка методов инверсионной вольтамперометрии, атомно-абсорбционного и фотометрического анализа токсичных элементов в продовольственном сырье и пищевых продуктах. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2012. 128 с.

Формирование элементов методики проектирования ПВРД

Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук, доцент;

Султанов Рузиль Фаильевич, аспирант;

Белобровина Марина Викторовна, лаборант;

Салимова Ирина Ильинична, лаборант

Уфимский государственный авиационный технический университет

Прямоточный воздушно-реактивный двигатель (рис. 1) (ПВРД, англоязычный термин — Ramjet) — самый простой по конструкции воздушно-реактивный двигатель. Рабочий процесс в ПВРД, не менее сложен, чем в ТРД, несмотря на отсутствие вращающихся деталей. Относится к типу ВРД прямой реакции, в которых тяга создается исключительно за счёт реактивной струи, истекающей из сопла. Требуемое для эффективной работы двигателя повышение давления воздуха достигается за счёт торможения встречного потока во входном устройстве. В связи с этим, ПВРД неработоспособен пока не достигнута определенная скорость, обеспечивающая необходимую степень повышения давления во входном устройстве.

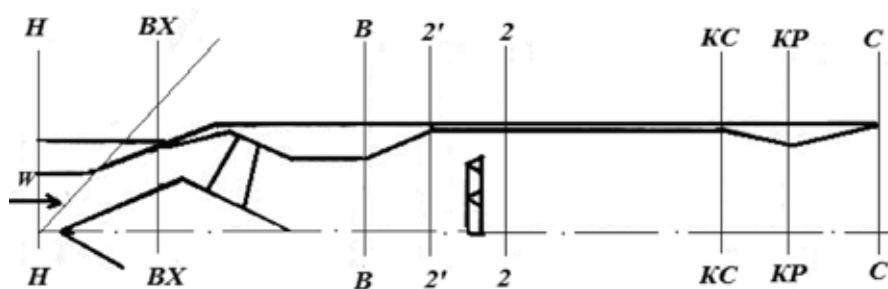


Рис. 1. Принципиальная схема ПВРД: *н* — параметры невозмущенного набегающего потока на высоте *Н*; *вх* — на входе в диффузор двигателя; *в* — в конце диффузора; *2'* — в «холодном» сечении камеры сгорания перед фронтным устройством; *2* — в «холодном» сечении камеры сгорания за фронтным устройством; *кк* — в конце камеры сгорания (в «горячем» сечении); *кп* — в критическом сечении сопла; *с* — на срезе сопла

К настоящему времени ТРД отодвинули прямоточные двигатели далеко в область сверхзвуковых скоростей. Сейчас считается, что ПВРД выгоднее ТРД на скоростях, соответствующих числам $M=4,0...4,5$, и в основном на гиперзвуковых скоростях, то есть при $M=5,0$ и более.

Длительное время принципиальным препятствием для роста скоростей, на которых ПВРД могут создавать силу тяги, большую собственного лобового сопротивления, был так называемый располагаемый температурный перепад. Это объясняется тем, что температуру воздуха, поступающего в камеру сгорания двигателя, можно повышать за счет впрыскивания и сжигания топлива только до определенных пределов. Проблема получения полезных тяг от ПВРД при больших числах M в какой-то мере решается за счет перехода на более эффективное топливо, например путем замены керосина жидким водородом. Главный же метод обеспечения нужного теплоперепада и высокой эффективности — это переход от дозвуковых к сверхзвуковым камерам сгорания.

Расчет ПВРД выполняется всегда для определенной высоты и скорости полета. Отсутствие турбины, позволяет исключить управляемое реактивное сопло, используя фиксированную площадь критического и выходного сечения. Расчет тоже возможен по двум вариантам по известным площадям сечений рассчитывается скорость или задавшись скоростью определяется площадь. Как правило скорость потоков определяется требованиями обеспечения устойчивой работы двигателя, а ограничения на площади вносят компоновочные требования со стороны летательного аппарата. Характеристики двигателя определяются условиями его работы (область применения, эшелоны, скорость и длительность полета, количество полетов и запусков для каждого двигателя, способ достижения минимальной пусковой скорости).

Расчет выполняется на основе совместного анализа законов сохранения массы, энергии и импульса [1]. Энтальпия рабочего тела берется по известным графикам в зависимости от температуры для воздуха и продуктов горения керосина.

Коэффициент m_B находится по формуле:

$$m_B = \sqrt{\frac{k_{эфВ}}{R_B} \left(\frac{2}{k_{эфВ} + 1} \right)^{\frac{k_{эфВ} + 1}{k_{эфВ} - 1}}} = \sqrt{\frac{1,379}{287} \left(\frac{2}{1,379 + 1} \right)^{\frac{1,379 + 1}{1,379 - 1}}} = 0,0404 (\text{кг} \cdot \text{К} / \text{Дж})^{0,5}$$

На начальном этапе, при формировании облика уровень потерь в тракте двигателя оценивается по рекомендациям.

Из уравнения энергии определяем энтальпию в сечении КС-КС:

$$i_{кс}^* = \frac{i_g^* + H u \cdot \eta_T \cdot q_T}{1 + q_T} = \frac{612477,6 + 43,3 \cdot 10^6 \cdot 0,93 \cdot 0,04826}{1 + 0,04826} = 2439635,9 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

Рассчитываем эффективный показатель адиабаты в КС:

$$k_{эфкс} = (k_{кс} - 1) \frac{C_{Pкс}}{C_{Pр.кс}} + 1 = (1,226 - 1) \frac{1310}{1311,5} + 1 = 1,226.$$

Считается, что проточная часть двигателя не имеет теплообмена с внешней средой. Площади характерных сечений находятся по формулам:

$$F_{кр} = \frac{G_g \cdot (1 + q_T - \delta_{отб}) \cdot \sqrt{T_{кр}^*}}{m_{кр} \cdot p_{кр}^*} = \frac{170,67 \cdot (1 + 0,04826 - 0,02) \cdot \sqrt{1928}}{0,0386 \cdot 480557,2} = 0,4165 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = \frac{G_B \cdot (1 + q_T - \delta_{отб}) \cdot \sqrt{T_2^*}}{m_2 \cdot p_2^* \cdot q(\lambda_2)} = \frac{170,67 \cdot (1 + 0,04826 - 0,02) \cdot \sqrt{601,1}}{0,0402 \cdot 526707,3 \cdot 0,3272} = 0,621 \text{ м}^2;$$

$$F_{ex} = \frac{G_B \sqrt{T_H^*}}{m_H \cdot p_H^* \cdot \varphi_{ex} \cdot q(\lambda_H)} = \frac{170,67 \cdot \sqrt{601,1}}{0,0404 \cdot 837905,1 \cdot 1 \cdot 0,2337} = 0,5288 \text{ м}^2;$$

Тяга двигателя определяется по формуле:

$$P = G_B (\beta_{кс} c_c - V_n) + F_c (p_c - p_H) = 170,67 \cdot (1,0283 \cdot 962,4773 - 884) + 0,8 \cdot (187128,3 - 22699) = 149597,3 \text{ Н}.$$

Для анализа большого числа параметров и критериев оптимизации при проектировании двигателей, целесообразно использовать специальные программные продукты, позволяющие оценить влияние различных параметров на характеристики двигателя, а также провести расчетные исследования многих вариантов двигателя и выбрать более оптимальные решения. Одной из таких программ является система моделирования DVIGw, разработанная в УГАТУ, которая позволяет провести термогазодинамические расчеты основных параметров двигателя.

Для моделирования ПВРД в системе DVIGw, была сформирована расчетная модель, изображенная на рисунке 2.

В таблице 1 приведены исходные данные и результаты расчета основных параметров СПВРД в системе DVIGw.

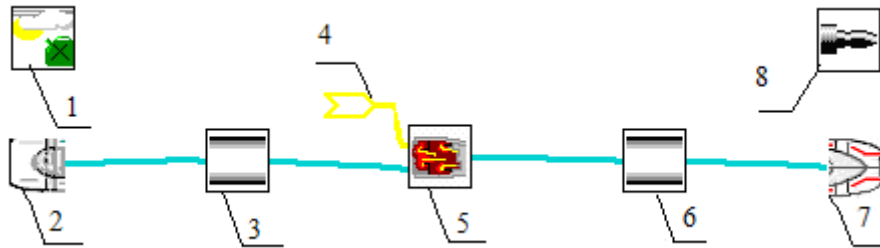


Рис. 2. Модель СПВРД в системе DVIGw: 1 — начальные условия, 2 — входное устройство, 3 — канал, 4 — вход топлива, 5 — форсажная камера, 6 — канал, 7 — выходное устройство, 8 — суммарные параметры

Таблица 1. Исходные данные модели «Начальные условия»

Высота полета, [м]	11000
Теплотворная способность топлива, [кДж/кг]	43000
Тип применяемого топлива (0-жидкое, 3-газообразное)	0
Число М полета, [-]	3

Таблица 2. Результаты термогазодинамического расчета

Сечение	Параметры	при $p_c \neq p_n$	$p_c = p_n$	DVIGw
1	Полное давление воздуха, Па	837905,1	837905,1	839181,7
	Скорость полета, м/с	884	884	886
2	Статическое давление на выходе из ВУ, Па	545818,1	545818,1	546232,43
3	Температура воздуха на выходе из КС, К	1928	1928	1928
4	Давление в критическом сечении сопла, Па	480557,2	480557,2	465881,1
	Скорость газа в критическом сечении сопла, м/с	783,622	783,622	765,54
	Площадь критического сечения, м ²	0,4165	0,4165	0,41
5	Площадь среза сопла, м ²	0,8	1,4	1,385
	Тяга двигателя, Н	149597,3	114908,56	115913,4
	Удельная тяга двигателя, Н	876,53	669	709,9
	Удельный расход топлива, кг/Н·час	0,236	0,2545	0,2264

Основные результаты расчетов основных параметров ПВРД по методике Барановского и с помощью системы моделирования Dvigw представлены в таблице 2.

Расхождение полученных результатов расчета ПВРД на срезе сопла на расчетном режиме работы объясняется тем, что по методике, предложенной С. И. Барановским [1], расчет параметров двигателя производится с заданной площадью сопла на срезе F_c , обусловленной конструктивной компоновкой летательного аппарата, т. е. при условии, что давление на срезе сопла не равно давлению невозмущенного набегающего потока на высоте: p_c не равно p_n , а в системе моделирования Dvigw расчет производится на режиме полного расширения, т. е. когда p_c равно p_n , что ведет к увеличению расчетной площади выходного сечения.

Для анализа потребительских свойств двигателя, при различных условиях работы, в программе Dvigw были рассчитаны высотно-скоростные характеристики (ВСХ) ПВРД для высот полета: 100 м, 6000 м, 11000 м. Примеры графиков изменения параметров работы двигателя рассчитанные ВСХ приведены на рисунке 3.

Закон управления двигателем: $T_r^* = 1928K = \text{const}$.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о том, что наиболее экономичный режим полета достигается на больших высотах, т. к. при этом наблюдается большая тяга двигателя и меньший суммарный расход потребляемого воздуха и топлива.

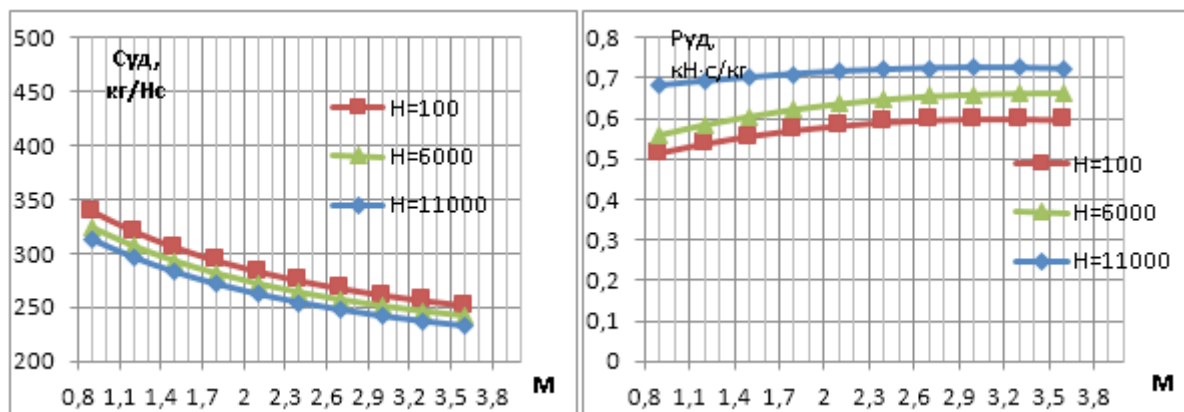


Рис. 3. График изменения удельной тяги и удельного расхода топлива от скорости полета летательного аппарата

В связи апробированностью системы Dvign [2], соответствия ручного и автоматизированного расчета, а так же подтверждения ВСХ современной теорией ГТД можно заключить, что элементы методики расчета могут быть задействованы в формировании облика ПВРД при его проектировании для заданных условий эксплуатации.

Литература:

1. Газодинамический расчет прямоточных ВРД и их характеристик: Учебное пособие/С.И. Барановский, Ю.В. Зикеева, В.В. Козляков, А.А. Степчиков, А.Г. Тихонов. — М.: Изд-во МАИ, 1988. — 55 с.: ил.
2. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей // Учебник под ред. Ахмедзянова А.М. М.: Машиностроение, 2000. 454 с.

Облик перспективной навигационной системы для подвижного наземного объекта

Сурков Владимир Олегович, аспирант
Тамбовский государственный технический университет

Рассматривается концепция построения навигационной системы для подвижного наземного объекта, предлагается состав системы с описанием его элементов. В качестве алгоритма обработки информации предлагается использование алгоритма с возможностью реконфигурации. Предложения были сделаны на основе анализа соответствующих статей в данной области и изучения существующих разработок применяющихся на данный момент времени в качестве навигационных систем.

Введение

Постоянное расширение функций, возлагаемых на бортовые системы, а также повышение предъявляемых к ним требований обуславливает чрезвычайно высокую трудоемкость задач, связанных с их разработкой. Многообразие физических принципов, на базе которых реализуются системы, огромное количество возможных вариантов построения и вариантов их совершенствования привело к необходимости формирования облика перспективного бортового оборудования различных типов.

Так в [1] рассматривается возможный облик навигационного комплекса для надводных кораблей, его состав, структура, особенности и требования, предъявляемые к навигационным комплексам данного вида. В [2] производится обоснование облика навигационной системы беспилотного летательного аппарата с указанием задач решаемых летательным аппаратом. В [3] рассматриваются общие структуры навигационных систем для различных типов объектов. Однако предложения по формированию облика навигационной системы для ПНО в литературе не встречаются. Целью статьи является выработка пред-

ложений по формированию облика навигационной системы для ПНО.

В процессе функционирования навигационная система должна обеспечивать решение следующих основных задач:

- преобразование координат;
- определение параметров движения объекта;
- комплексная обработка информации;
- коррекция координат местоположения;
- выдача навигационной информации на индикатор и соответствующим потребителям;

Число задач, которые ставятся перед навигационной системой, может изменяться и зависит от типа объекта (летательный аппарат, наземный подвижный объект, морской или космический объект), сферы его применения (военный и гражданский) и соответствующих требований предъявляемых к навигационной системе.

Облик навигационной системы, например, для подвижного наземного объекта зависит от набора датчиков, которые входят в его состав и от метода обработки полученной информации [4].

Навигационные системы ПНО строятся по обобщенной структурной схеме, которая включает:

1. Измерители автономной системы.
2. Радиотехнические системы коррекции.
3. Вычислительное устройство.
4. Устройство индикации.

На начальном этапе развития был широко распространен состав НС, включающий в себя курсовую систему магнитного или гироскопического типа и датчик скорости. Основным недостатком такой компоновки навигационной системы является значительное увеличение погрешностей в определении местоположения с течением времени, поэтому требуется применение радиотехнических систем коррекции (системы сотовой связи, радиотехнические системы дальней навигации (спутниковые радионавигационные системы (СРНС) (ГЛОНАСС/GPS), системы «Чайка» и «LORAN-C»).

В настоящее время распространен следующий минимальный состав навигационных систем для ПНО:

1. Бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС);
2. Приемник СРНС;
3. Вычислительное устройство;
4. Устройство индикации.

Приведенные выше устройства составляют основу навигационной системы для ПНО и позволяют получить минимальный объем навигационной информации.

Для повышения качества работы системы (точности и достоверности получаемых данных) так же возможен ввод дополнительных датчиков и систем. В качестве дополнительных возможно применение таких датчиков, как барометрический высотомер, который позволяет обеспечить целостность информации СРНС [5], доплеровский измеритель скорости, датчик скорости и т.д. Введение дополнительных датчиков возможно при более жестких требованиях к данным системам.

Так как применение СРНС затруднительно в густо застроенных городских кварталах, карьерах, подземных парковках, то в данных условиях целесообразно применение систем сотовой связи для повышения точности позиционирования. В зависимости от применяемой технологии позиционирования и стандарта сотовой сети возможно получение значений точности от 16 до 50 м [6,7].

Таким образом, в состав навигационной системы будут входить [8] (Рис. 1)

В предлагаемой схеме в качестве основных элементов выступают БИНС и СРНС. БИНС выполняет роль основной нерадиотехнической системы, позволяющей определить всю необходимую информацию: координаты местоположения, угловую скорость, ускорение, углы ориентации (крен, курс, тангаж). Одним из недостатков данной системы является увеличение погрешностей в определении местоположения с течением времени.

СРНС используется как для самостоятельной работы в навигационной системе, так и для коррекции данных от БИНС.

Применение систем сотовой связи в комбинации с СРНС не дает значительного уменьшения погрешностей позиционирования в виду того, что значения погрешностей, полученных при применении данных технологий в 10–100 раз больше, чем значения, полученные при применении спутниковых радионавигационных систем. Это проиллюстрировано в статье [9] и приведены соответствующие значения погрешностей при проведении моделирования. Применение систем сотовой связи в навигационных системах целесообразно лишь при пропадании сигналов от СРНС в качестве резервной системы при использовании реконфигурируемых алгоритмов обработки информации в ЭВМ навигационной системы.

На облик навигационной системы так же влияют применяемые методы обработки информации.

К настоящему времени в навигационных системах применяется комплексирование устройств и систем на уровне вторичной обработки. Под вторичной обработкой информации понимают выполняемую в специализированных вычислителях обработку выходных сигналов измерителей для определения навигационных элементов. Длительное время в радиоэлектронных комплексах для вторичной обработки информации использовались простейшие алгоритмы эвристического происхождения, описанные, например, в [10]. В настоящее время в навигационных системах ПНО широко используются методы оптимальной линейной фильтрации [11–13].

Комплексная вторичная обработка информации дает положительный эффект если соответствующие измерители работоспособны, так как оценить работоспособность соответствующего измерителя возможно лишь при первичной обработке информации.

Первичная обработка информации — это поиск, обнаружение, селекция, преобразование и усиление входных сигналов навигационных измерителей для определения навигационных параметров. Максимального выигрыша

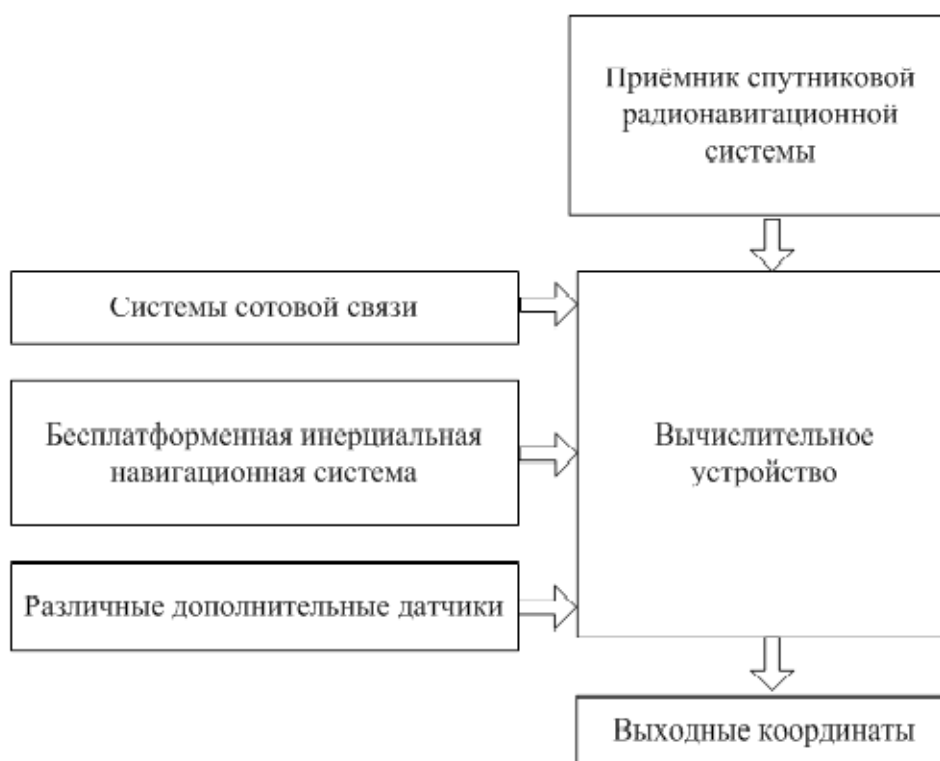


Рис. 1. Наиболее перспективный состав системы навигации для ПНО

при комплексной первичной обработке информации можно достичь, применяя для оптимизации комплексирования измерителей методы марковской теории оптимального оценивания случайных процессов и полей [14,15].

Первичную обработку информации целесообразно использовать применительно к радиотехническим системам. Применение первичной обработки информации позволяет:

- производить оценку состояния радиотехнических систем;
- создать систему индикации отказов радиотехнических систем;
- повысить характеристики точности и помехоустойчивости радиотехнических систем.

Современные системы навигации для ПНО являются в основном комплексными и объединяют в своем составе как радиотехнические, так и нерадиотехнические измерители. Анализ [16] показывает, что роль основной радиотехнической системы для систем навигации играет СРНС. Пропадание сигналов данной системы приводит к значи-

тельному росту погрешностей при определении необходимых параметров. Это проиллюстрировано в статье [17], поэтому необходимым является контроль сигналов СРНС за счет методов первичной обработки информации.

Современная система навигации должна иметь возможность приспосабливаться к изменяющимся условиям окружающей среды и обеспечивать потребителя необходимой навигационной информацией. Данное требование может быть реализовано за счет использования алгоритмов с возможностью обнаружения отказавших элементов, исключения их из структуры и восстановления работоспособности системы путем реконфигурации.

Таким образом, алгоритм обработки информации, используемый в навигационной системе для ПНО должен заключаться в совместном использовании методов первичной обработки сигналов СРНС и вторичной обработки остальных датчиков и систем входящих в состав системы. Данный алгоритм может стать основой для создания новых типов систем, в том числе и систем с возможностью реконфигурации.

Литература:

1. Емельянцеv, Г. И., Современные требования и облик навигационного комплекса для боевых надводных кораблей начала XXI века/Г.И. Емельянцеv, Э.С. Моисеев, А.Н. Солнцеv //Навигация и гидрография. — 1995, №1 — с. 37–42.
2. Востриков, О.В. Обоснование облика навигационной системы ударного беспилотного летательного аппарата/О.В. Востриков// «Труды МАИ» — 2011, №48.
3. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии/Под ред. Б. С. Алешина, К. К. Веремеенко, А. И. Черноморского. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 424 с.

4. Иванов, А.В. Навигация наземных объектов/А.В. Иванов, Н.А. Иванова. — LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. — 120 с.].
5. Иванов, А.В. Комплексные оптимальные алгоритмы обработки информации в навигационных системах подвижных наземных объектов с контролем целостности навигационного обеспечения/А.В. Иванов // Радиотехника. — 2010, № 12.
6. Сурков, В.О. Анализ состава навигационных систем для подвижных наземных объектов и принципов их построения/В.О. Сурков // Технические науки: традиции и инновации: материалы II междунар. науч. конф. (г. Челябинск, октябрь 2013 г.). — Челябинск: Два комсомольца, 2013. — с. 34–37.
7. Иванов, А.В. Определение координат местоположения объекта в сетях GSM и UMTS на основе использования информации о направлении приема сигналов от базовых станций обеспечения/А.В. Иванов, Д.В. Комраков // Радиотехника. — 2013, №9
8. Сурков, В.О. Точности определения местоположения подвижных наземных объектов в сотовых сетях GSM и UMTS/В.О. Сурков // Молодой ученый. — 2013. — №6. — с. 147–150.
9. Иванов, А.В. Совместная обработка информации спутниковых радионавигационных систем и наземных сетевых систем в навигационных системах подвижных наземных объектов/Иванов А.В., Гостев А.В., Семенов А.А., Соколовская Л.В./Радиотехника. — Москва, №4, с. 16–19.
10. Бобнев, М.П. Комплексные системы радиоавтоматики/М.П. Бобнев, Б.Х. Кривицкий, М.С. Ярлыков. — М.: Сов. радио, 1968. — 232 с.
11. Браммер, К. Фильтр Калмана — Бьюси/К. Браммер, Г. Зиффлинг. — М.: Наука, 1982
12. Медич Дж., С. Статистически оптимальные линейные оценки и управление: пер. с англ./С. Медич Дж.; под ред. А.С. Шаталова. — М.: Энергия, 1973. — 340 с.,
13. Сейдж, Э.П. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении: пер. с англ./Э.П. Сейдж, Дж.Л. Мелса; под ред. Б.Р. Левина. — М.: Связь, 1976. — 496 с
14. Ярлыков, М.С. Марковская теория оценивания случайных процессов/М.С. Ярлыков, М.А. Миронов. — М.: Радио и связь, 1993. — 464 с.
15. Ярлыков, М.С. Статистическая теория радионавигации/М.С. Ярлыков. — М.: Радио и связь, 1985. — 344 с.
16. Сурков, В.О. Анализ состава существующих систем навигации для подвижных наземных объектов и выбор наиболее перспективного состава, исходя из требований точности и надежности/В.О. Сурков // Современные тенденции технических наук: материалы II междунар. науч. конф. (г. Уфа, май 2013 г.). — Уфа: Лето, 2013. — с. 20–24.
17. Сурков, В.О. Системы навигации подвижных наземных объектов и их характеристики/В.О. Сурков // Молодой ученый. — 2013. — №7. — с. 76–79.

Микробиологический контроль молочной продукции

Уварова Вера Михайловна, магистрант;

Мазаев Алексей Николаевич, аспирант;

Шель Иван Андреевич, магистрант;

Попова Марина Алексеевна, магистрант;

Шакаева Наталья Анатольевна, доктор биологических наук, профессор

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (г. Челябинск)

Динамичное развитие экономики пищевой отрасли невозможно без повышения конкурентоспособности товаров и услуг [1–3]. Определяющим для потребителей является качество продукции. Производители должны знать и изучать требования, предъявляемые к качеству выпускаемых ими товаров, изучать потребительские предпочтения потребителей [4–8]. Эти требования не одинаковы для различных групп потребителей и различаются в зависимости от покупательной способности населения, уровня конкуренции и других факторов. Качеством производственного сырья, продукции и услуг необходимо

управлять, уметь количественно и качественно анализировать и оценивать их показатели [9–16].

Критерий или фактор качества — параметр продукта, выбранный среди прочих для оценки качества данного продукта. Качество, в свою очередь, означает совокупность признаков и характеристик продукта, позволяющих удовлетворять выраженные или скрытые потребности.

В нормативно-технической документации на молочную продукцию контролируемые показатели качества разделяют на 3 группы: органолептические; физико-химические; микробиологические.

Техническая микробиология исследует микроорганизмы, участвующие в производстве пищевых продуктов, антибиотиков, ферментов и многих других веществ микробиологического происхождения.

Микробиология молока и молочных продуктов — отрасль технической микробиологии, изучающая как микроорганизмы, используемые в молочной промышленности при изготовлении различных продуктов, но и патогенные микроорганизмы, встречающиеся на данном производстве.

Санитарная микробиология исследует микрофлору окружающей среды на предмет возможного отрицательного или благоприятного воздействия присутствующих в ней микроорганизмов на здоровье человека. Санитарное состояние молочных предприятий является одним из важнейших факторов, влияющих на качество и сроки хранения молочных продуктов. На всех предприятиях отрасли должны быть созданы необходимые санитарно-гигиенические условия, обеспечивающие выпуск полностью безопасной и высококачественной продукции. Таким образом, микробиология молока объединяет в себе задачи технической и санитарной микробиологии.

Микробиологический контроль предназначен для определения соответствия сырья и готовой продукции требованиям микробиологической безопасности и качества, а также обнаружения микробиологического загрязнения сырья, материалов, полуфабрикатов, технологического оборудования или окружающей среды (вода, воздух и т.п.) и для выявления источника загрязнения. Качество и безопасность пищевых продуктов можно оценивать путем прямого обнаружения тех или иных микроорганизмов, однако, как правило, такую оценку осуществляют по косвенным показателям, позволяющим судить о возможном обсеменении продуктов технически вредными микроорганизмами.

Косвенным показателем загрязнения объектов внешней среды является обнаружение санитарно-показательных микроорганизмов. Контроль безопасности продуктов осу-

ществляется по альтернативному методу, когда за норму принимается отсутствие санитарно-показательных, условно-патогенных и патогенных микроорганизмов в определенной массе или определенном объеме продукта.

Гигиенические нормативы по микробиологическим показателям изложены в ФЗ №88 «Технический регламент на молоко и молочную продукцию» и СанПиН 2.3.2.1078 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» и регламентируют следующие группы микроорганизмов:

- санитарно-показательные микроорганизмы — мезофильные аэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы (КМАФАнМ), бактерии группы кишечных палочек (БГКП), энтеробактерии, энтерококки;
- условно-патогенные микроорганизмы, к которым относятся *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bac. cereus*, *Clostridium perfringens*, бактерии рода *Proteus*;
- патогенные микроорганизмы, в том числе бактерии рода *Salmonella*, *Listeria*, *Yersinia*;
- микроорганизмы порчи: дрожжи и плесневые грибы, а также некоторые молочнокислые микроорганизмы;
- микроорганизмы заквасочной микрофлоры и пробиотические культуры: микроорганизмы в продуктах с нормируемым уровнем микрофлоры и пробиотических продуктах.

Максимально допустимое количество посторонних микроорганизмов, в основном санитарно-показательных и микроорганизмов порчи, в определенной массе или объеме продукта, не нарушающее микробиологическую стабильность в процессе хранения при соблюдении установленных условия хранения, и не представляющее опасности для жизни человека, называется границей риска [17].

Рассмотрим допустимые уровни содержания микроорганизмов в сметане представлены в таблице 1.

На кафедре прикладной биотехнологии ЮУрГУ разрабатывают и проводят комплексное исследование молочных продуктов [18–22].

Таблица 1. Допустимые уровни содержания микроорганизмов в продуктах переработки молока (сметане) при выпуске их в обращение

КМАФАнМ, КОЕ/см ³ (г), не более	Масса продукта (г, см ³), в которой не допускаются				Дрожжи (Д), плесени (П), КОЕ/см ³ (г), не более
	БГКП (кокиформы)	Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы	Стафилококки <i>S. aureus</i>	Листерии <i>L. monocytogenes</i>	
Не менее 1x10 ⁷ молочнокислых микроорганизмов для сметаны	0,001 (0,1 для термически обработанных после сквашивания сметанных продуктов)	25	1,0	-	Д — 50 П — 50 Для продуктов со сроком годности более 72 часов

Примечание: КМАФАнМ — количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов; КОЕ — колониеобразующие единицы; БГКП — бактерии группы кишечных палочек

Литература:

1. Асенова, Б. К., Амирханов К. Ж., Ребезов М. Б. Технология производства функциональных продуктов питания для экологически неблагоприятных регионов. Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства. 2013. № 1. с. 313–316.
2. Губер, Н. Б., Ребезов М. Б., Топурия Г. М. Инструменты снижения рисков при реализации инновационных проектов в сфере продуктов питания животного происхождения. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2014. Т. 8. № 1. с. 156–159.
3. Кожевникова, Е. Ю., Ребезов М. Б. Описание бизнес-процесса согласования возврата продукции с признаками производственного брака. Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 10–2 (17). с. 45–47.
4. Ребезов, М. Б., Наумова Н. Л., Альхамова Г. К., Кожевникова Е. Ю., Сорокин А. В. Конъюнктура предложения обогащенных молочных продуктов на примере Челябинска. Молочная промышленность. 2011. № 8. с. 38–39.
5. Ребезов, М. Б., Наумова Н. Л., Хайруллин М. Ф., Альхамова Г. К., Лукин А. А., Изучение отношения потребителей к обогащенным продуктам питания. Пищевая промышленность. 2011. № 5. с. 13–15.
6. Наумова, Н. Л., Ребезов М. Б., Варганова Е. Я. Функциональные продукты. Спрос и предложение. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2012. 78 с.
7. Наумова, Н. Л., Ребезов М. Б. Микроэлементный статус челябинцев как обоснование развития производства обогащенных продуктов питания. Фундаментальные исследования. 2012. № 4–1. с. 196–200.
8. Тупиков, В. А., Наумова Н. Л., Ребезов М. Б. Элементный состав волос как отражение экологической ситуации. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. 2012. № 21 (280). с. 119–122.
9. Ребезов, М. Б., Максимюк Н. Н., Богатова О. В., Курамшина Н. Г., Вайскрובה Е. С., Интегрированные системы менеджмента качества на предприятиях пищевой промышленности. Магнитогорск: МаГУ, 2009. 357 с.
10. Кондратьева, А. В., Ребезов М. Б., Мазаев А. Н., Богатова О. В. Управление качеством на молокоперерабатывающих предприятиях. Молодой ученый. 2014. № 11 (70). с. 55–59.
11. Асенова, Б. К., Ребезов М. Б., Топурия Г. М., Топурия Л. Ю., Смольникова Ф. Х. Контроль качества молока и молочных продуктов. Алматы: Халықаралық жазылым агентігі, 2013. 212 с.
12. Ребезов, М. Б., Мирошникова Е. П., Альхамова Г. К., Наумова Н. Л., Лукин А. А., Залилов Р. В., Зинина О. В. Микробиология молока и молочных продуктов. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2011. 107 с.
13. Белокаменская, А. М., Ребезов М. Б., Мазаев А. Н., Ребезов Я. М., Максимюк Н. Н., Асенова Б. К. Исследование пищевых продуктов и продовольственного сырья на содержание ртути атомно-абсорбционным методом. Молодой ученый. 2013. № 10. с. 98–101.
14. Ребезов, М. Б., Белокаменская А. М., Зинина О. В., Наумова Н. Л., Максимюк Н. Н., Соловьева А. А., Солнцева А. А. Контроль качества результатов исследований продовольственного сырья и пищевых продуктов на содержание свинца. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2012. Т. 2. № 1. с. 157–162.
15. Ребезов, М. Б., Зыкова И. В., Белокаменская А. М., Ребезов Я. М. Контроль качества результата анализа при реализации методик фотоэлектрической фотометрии и инверсионной вольтамперометрии в исследовании проб пищевых продуктов на содержание мышьяка. Вестник Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. 2013. Т. 2. № 71. с. 43–48.
16. Кожевникова, Е. Ю., Ребезов М. Б., Кожемякина А. Е., Нагибина В. В. Разработка мероприятий по предотвращению потерь (на примере торговой сети). Молодой ученый. 2013. № 5. с. 317–321.
17. Меркулова, Н. Г., Меркулов М. Ю., Меркулов И. Ю. Производственный контроль в молочной промышленности. Практическое руководство. СПб.: Издательство Профессия, 2010. 656 с.
18. Попова, М. А., Ребезов М. Б., Гаязова А. О., Лукиных С. В. Оценка качества и безопасности разработанного йогурта. Молодой ученый. 2014. № 10 (69). с. 199–202.
19. Ребезов, М. Б., Альхамова Г. К., Наумова Н. Л. Сроки хранения национального творожного продукта. Молочная промышленность. 2011. № 11. с. 66–67.
20. Попова, М. А., Ребезов М. Б., Ахмедьярова Р. А., Косолапова А. С., Паульс Е. А. Перспективные направления производства кисломолочных продуктов, в частности йогуртов. Молодой ученый. 2014. № 9 (68). с. 196–200.
21. Ребезов, М. Б., Зинина О. В., Несмеянова О. В., Максимюк Н. Н., Асенова Б. К. Патентный поиск проектирования функциональных продуктов питания. Научное обеспечение инновационного развития животноводства: мат. XX междунар. научн.-практ. конф. Жодино: Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству, 2013. с. 435–436.
22. Уварова, В. М., Губер Н. Б., Асенова Б. К., Окусханова Э. К., Азильханов А. С. Методы оценки качества и безопасности сметаны. Молодой ученый. 2014. № 10 (69). с. 213–216.

Исследование адгезии рисовой лужи с золоцементными вяжущими смесями

Удербает Сакен Сейтканович, доктор технических наук, профессор;
Карибаев Еркебулан, студент;
Курманаева Жулдызай Муратовна, студент
Кызылординский государственный университет имени Коркыт Ата (Казахстан)

Рациональное использование отходов промышленности и сельского хозяйства и создание на их основе материалов требует сочетания их прочности, теплопроводности и другими свойствами. К таким материалам относится легкий бетон — арболит, предназначенный для возведения стен жилых и общественных зданий.

Известно, что арболит — эффективный теплоизоляционный материал, изготавливаемый на основе целлюлозо-содержащих заполнителей растительного происхождения. Изделия из арболита имеют сравнительно невысокую плотность, характеризуются отличными строительными, физико-техническими и гигиеническими свойствами, поддаются механической обработке. Для подбора состава арболитовой смеси необходимо знать, как влияют отдельные технологические факторы (вид и расход вяжущего, заполнитель, а также способ формования и условия твердения) на основные свойства арболита — прочность и плотность.

При производстве композиционных материалов на основе отходов сельского хозяйства необходимо обратить внимание на адгезию заполнителя с неорганическим вяжущим веществом. Многочисленными научно-исследовательскими работами доказано, что улучшение адгезии можно достичь за счет обработки поверхности заполнителя (минерализация, вымачивание в жидкой среде) и использованием высоко активных вяжущих смесей, что в последующем позволяет повысить прочность арболитовых изделий.

Как известно, в настоящее время существует несколько теории адгезии. Электрическая теория адгезии [1,2] оценивает это как возникновение электростатических сил на разделе фаз за счет поляризуемости материала, то электрорелаксационная теория [3] рассматривает эффект склеивания контактирующих тел силами взаимодействия между точками. К тому же абсолютное число точек контакта, расстояние между точками контакта зависят от протекания релаксационных процессов в си-

стеме «дисперсная фаза-заполнитель», от интенсивности движения молекул, диффузии макромолекул и условий контакта (температура, давление, время). Автором в работе [4] отмечено, что с целью повышения сцепления на ряду обработки и модификации цементного камня необходимо обратить внимание на одновременное снижение влажностных деформаций за счет стабилизацией размеров заполнителя, а также повышением эластичности клеевой прослойки.

Необходимо отметить, что степень отрицательного воздействия влажностных деформаций органического заполнителя на прочность арболита в большей мере определяется показателями сцепления двух различных по своей природе материалов, то изучение влияния данных факторов целесообразно во взаимосвязи. На практике к одним из направлений повышения адгезионной прочности относится физико-химическая обработка органического заполнителя. Нами были проведены экспериментальные работы по обработке заполнителя щелочной водой с добавлением извести в количестве 1–1,5% (получено заключение о выдаче предварительного патента) [5]. При этом происходит химическое модифицирование поверхности заполнителя — рисовой лужи, стеблей хлопчатника за счет химической реакции щелочной среды с гидроксильными группами целлюлозы. Предложенный способ приготовления арболитовой смеси позволяет повысить адгезию заполнителя с золоцементными вяжущими и в последующем прочность конечных изделий. В качестве вяжущего использованы портландцемент марки М400 и золошлаковые смеси из золоотвалов Кызылординской энергоцентрали. Освоение производства строительных материалов на основе этих сырьевых ресурсов является эффективным не только с экологической, но и с экономической точки зрения.

Были проведены экспериментальные работы по определению влияния содержания золы на прочность арболита (табл. 1).

Таблица 1. Влияние состава золоцементных вяжущих веществ на прочностные свойства арболита

№	Состав вяжущих компонентов, %		Средняя прочность арболита на сжатие, МПа	Средняя плотность арболита, кг/м ³
	зола	цемент		
1.	50	50	0,6	630
2.	40	60	1,91	720
3.	35	65	2,25	730
4.	30	70	2,38	780

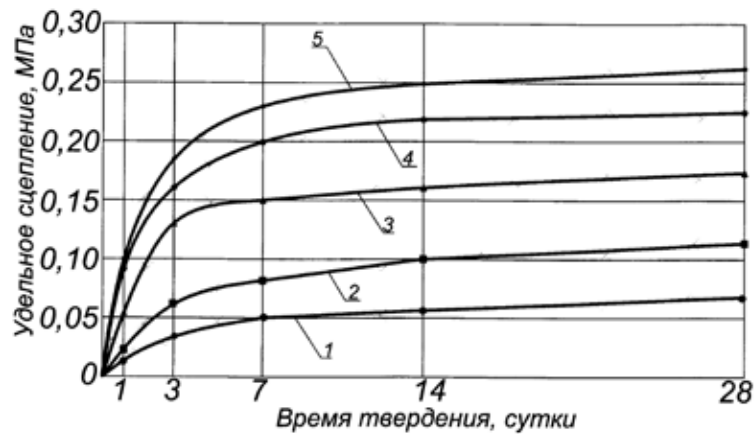


Рис. 1. Влияние вида обработки заполнителя на удельное сцепление с золоцементным вяжущим веществом:
 1 — без обработки; 2 — термическая обработка; 3 — обработка раствором CaCl₂; 4 — биоферментная обработка;
 5 — обработка щелочной водой с добавлением извести

Принятые методы подготовки поверхности заполнителя, несомненно улучшают поверхность заполнителя, т.е. повышают «шероховатость» поверхности и увеличивают ворсистость, способствуя таким образом плотному сцеплению компонентов арболита.

С целью исследования адгезии в контактном слое цементно-золяного камня с рисовой лузгой были проведены эксперименты по определению условного сцепления при разрыве склеенных между собой эпоксидной смолой исследуемых образцов-цилиндров из арболита. Как влияет вид физико-химической обработки заполнителя на условное сцепление заполнителя и вяжущего приведены на рис. 1.

Приготовленная арболитовая смесь укладывалась в пресс-форму, представляющей собой цилиндр с внутренним диаметром 70 мм, толщиной стенок 8 мм и длиной 80 мм, пуансона и нижней крышки. Сделанные таким образом, образцы отвечали однородности по площади и объему. После достижения образцами 28-ми суточного возраста изготовленные образцы подвергались испытанию на растяжение под действием нормальной отрывающей силы. На основании анализа можно отметить, что обработка заполнителя щелочной водой с добавлением негашеной извести, а также биоферментная обработка увеличивает условное сцепление компонентов состава арболита в системе «заполнитель-вяжущее».

Литература:

1. Дерягин, Б. В., Кротова Н. А., Смилга В. П. Адгезия твердых тел. — М., Наука, 1973. — с. 27.
2. Дыльков, М. С., и др. Влияние толщины адгезива и концентрации клеящего раствора на прочность клеевого соединения при нормальном отрыве. // «Коллоидный журнал», 1964, т. 26, 4. — с. 10.
3. Москвитин, Н. И. Физико-химические основы процессов склеивания и прилипания. — М., «Леспром», 1974. — с. 191.
4. Наназашвили, И. Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиций. Ленинград, 1990.
5. Заключение о выдаче предварительного патента по заявке №2004/0753.1 Способ приготовления арболитовой смеси./Бисенов К. А., Акчабаев А. А., Удербаетов С. С., Ермахан Б. Е.

К вопросу влияния расхода охлаждающего воздуха на тепловое состояние деталей, тепловой баланс и экономичность двигателя воздушного охлаждения

Фадеев Дмитрий Юрьевич, кандидат технических наук, доцент;
Иванов Владимир Васильевич, аспирант,
Омский автобронетанковый инженерный институт

Уровень показателей двигателей воздушного охлаждения (ДВО) в первую очередь зависит от согласованности тепловых потоков в системы охлаждения и смазочную с возможностями теплоотвода от оребренных поверхностей головки, цилиндра двигателя и масляного радиатора при обязательном ограничении затрат мощности на функционирование системы охлаждения (ФСО). В противном случае либо не обеспечивается приемлемый уровень тепловой напряженности деталей, либо резко ухудшаются экономические показатели двигателя [1,2,3,4].

Особые сложности возникают в случае применения ДВО в моторных отсеках с ограниченным воздухообменом, что связано, прежде всего, с ростом сопротивления воздушного тракта и соответствующим увеличением затрат мощности на ФСО [2]. Это приводит к нарушению согласованности между потребностями теплосъема и возможностями его реализации, существенно зависящими от расхода охлаждающего воздуха, в связи с чем возникает необходимость проведения экспериментального исследования.

На рисунке 1 представлены данные, полученные экспериментально и дополненные расчетными значениями суммарного количества охлаждающего воздуха, затрат мощности и удельного эксплуатационного расхода топлива, показывают влияние увеличения расхода охлаждающего воздуха на тепловое состояние деталей, тепловой баланс, параметры системы охлаждения и экономичность двигателя. Как видно из рисунка, увеличение расхода воздуха, охлаждающего головку и цилиндр двигателя ($V_{охл}^{2+H}$), с 700 до 1300 м³/ч приводит к снижению температур всех деталей по закону, близкому к гиперболическому, наиболее выраженному для деталей, непосредственно охлаждаемых воздухом. Так, температура цилиндра в верхнем поясе (t_u) снижается на 28°C, межклапанной перемычки головки на 32°C, поршня в зоне горловины (t_n) и в зоне верхнего поршневого кольца ($t_{пк}$) — соответственно на 34 и 24°C. Полученные результаты хорошо согласуются с данными других исследований [1,3]. Это отмечено в ряде исследований [1,2,3], свидетельствующих о снижении эффективности использования охлаждающего воздуха по мере увеличения его расхода вследствие замедления темпа увеличения теплоотдачи согласно зависимости $Q_{охл} = (V_{охл}^{2+H})^{0,37}$ [1,2]. Данные теплового баланса, представленные на рисунке 1, также в целом подтверждают эту закономерность. Так увеличение $V_{охл}^{2+H}$ в 1,86 раза приводят к росту теплоотдачи в охлаждающий воздух от головки цилиндра только в 1,53 раза. При этом отме-

чается некоторое снижение теплоотдачи в масло с ($Q_{охл}^m$) с 4,6 до 3 кВт, очевидно, вызванное снижением температурного перепада между деталями и маслом по мере уменьшения их температуры и поддержания в эксперименте постоянной температуры масла на входе в двигатель. Общая теплоотдача в систему охлаждения при этом возрастает на 4,4 кВт, или в 1,37 раза. Полученные расчетом значения общего расхода охлаждающего воздуха и мощности $N_{фсо}$ свидетельствуют об их значительном увеличении по мере роста теплоотдачи и нецелесообразности подобного способа обеспечения приемлемого теплового состояния деталей, так как даже при максимальных значениях удельного расхода охлаждающего воздуха, достигающих 55 кг/кВт, температуры деталей, особенно поршня $t_{пк}$, не достигают рабочих значений.

Отдельный интерес представляет анализ расчетной зависимости $N_{фсо}$ от величины $V_{охл}$ и $\bar{N}_{фсо}$ от $q_{охл}$, представленный на рисунке 2:

$$N_{фсо} = \frac{V_{охл} \delta P 10^{-3}}{\eta_g \eta_m}, \quad (1)$$

где η_g — полный КПД вентилятора;
 η_m — КПД привода.

При проведении расчетов взаимосвязь между величиной p и расходом воздуха учитывалась по соотношению $p = V_{охл}^{1,82}$ [2]. Величина p для расчетного расхода воздуха была получена экспериментально и составила 1800 Па. Полученные данные свидетельствуют о том, что, несмотря на снижение эффекта охлаждения при росте $q_{охл}$ и неизменном оребрении

$N_{фсо}$ и $N'_{фсо}$ резко возрастают прежде всего из-за роста p , вызванного увеличением скорости воздуха. Так уже при $q_{yд}$, равном 50 кг/(кВт ч), $\bar{N}_{фсо}$ достигает 7%, т. е. величины, близкой к предельно допустимой с точки зрения экономической целесообразности, что так же подтверждается зависимостью q_c от $V_{охл}$ и $q_{yд}$.

Проведенный анализ можно дополнить рядом фактических выводов и закономерностей.

1. В ДВО имеет место рассогласование между необходимыми расходами охлаждающего воздуха для обеспечения приемлемого уровня теплонапряженности различных деталей.

2. Выбор необходимых расходов воздуха на охлаждение двигателя целесообразно выполнять, ориентируясь на наиболее теплонапряженной детали. В то же время увеличение расхода охлаждающего воздуха не является эффективным способом снижения теплонапряженности. В конкретном случае наиболее теплонапря-

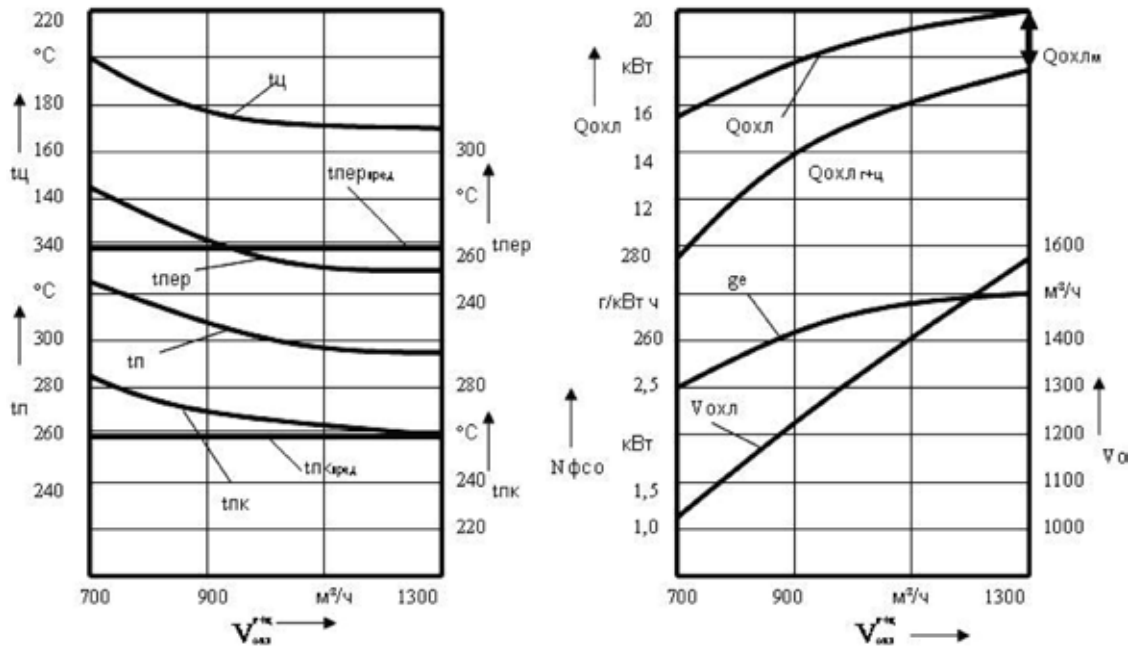


Рис. 1. Влияние расхода охлаждающего воздуха на тепловое состояние деталей, тепловой баланс, параметры системы охлаждения и экономичность двигателя

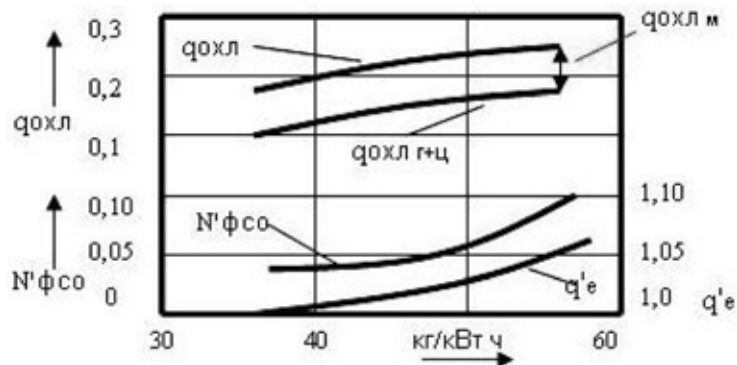


Рис. 2. Влияние удельного расхода охлаждающего воздуха на тепловой баланс, параметры системы охлаждения и экономичность двигателя

женной деталью является поршень, однако уровень его теплонапряженности настолько высок, что обеспечить его охлаждение увеличением расхода охлаждающего воздуха не возможно ни конструктивно, ни с точки зрения экономической целесообразности. Поэтому можно сформулировать еще одну закономерность.

3. При наличии деталей, уровень теплонапряженности которых значительно превышает теплонапряженность других деталей и достигает предельно допустимых значений, целесообразно изменить их конструкцию или ограничить тепловые потоки в эту деталь путем ее теплоизоляции.

Литература:

1. Поспелов, Д. Р. Двигатели внутреннего сгорания с воздушным охлаждением. М.: машиностроение, 1971. 536 с.
2. Марцкелье, Ю. Автомобильные двигатели с воздушным охлаждением. М.: Машгиз, 1959. 392 с.
3. Марков, М. В., Попов В. Н. Особенности теплового баланса дизеля с воздушным охлаждением и газотурбинным наддувом.
4. Труды ЧИМЭСХ.-Вып. 119.-Челябинск: ЧИМЭСХ, 1976. 37. с
5. Исследование цилиндропоршневой группы двигателя 8ДТВ-330 с целью снижения расхода масла на угар: Отчет о НИР. Челябинск: ЧТЗ, 1973. 113 с.

Экспертиза промышленной безопасности промышленных дымовых металлических труб

Фадеева Галина Дмитриевна, доцент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Гарькин Игорь Николаевич, инженер

Центр независимой экспертизы промышленной безопасности «ПромТЭК» (г. Пенза)

Забиров Али Ильясович, кандидат технических наук, доцент

Пензенская государственная сельскохозяйственная академия

Рассматриваются на реальных примерах характерные дефекты, на которые стоит заострить внимание при проведении экспертизы промышленной безопасности промышленных металлических труб. Приводятся рекомендации по устранению описываемых дефектов.

Ключевые слова: промышленная безопасность, обследования, металлические дымовые и вентиляционные трубы.

Ранее в работах [1..3] были рассмотрены методы проведения обследования дымовых кирпичных труб, но в настоящее время, по мнению авторов, следует также обратить внимание на состояние *металлических* дымовых (и вентиляционных) труб, т.к. именно они составляют основную массу из всех труб, используемых на промышленных предприятиях. Особенно это касается предприятий в сфере жилищно-коммунального хозяйства в городах и населённых пунктах с населением менее 100000 человек.

Хотя условия эксплуатации как кирпичных, так и металлических труб примерно одинаковые, стоит отметить, что металл более уязвим к тем агрессивным средам, в которых происходит эксплуатация труб (высокие температуры, высокая влажность и др.). Так наиболее распространены, но в то же время опасный дефект является коррозия. На рисунках 1–2 отражены дефекты выявленные на металлических трубах Пензенской области (в г. Сердобск и г. Кузнецк). С коррозией такой степени — эксплуатация трубы, должна быть прекращена вплоть до устранения (с помощью сварки, к примеру) этих дефектов [4,5]. Проблема кроится в том, что зачастую нормы законодательства не совпадают реалиями повседневной жизни. К примеру металлическая труба с обширным поражением коррозии как на рис. 2 проходит экспертизу промышленной безопасности в зимние время, т.е. в отопительный сезон, что в свою очередь означает, что остановка эксплуатации трубы для ремонта невозможна [6]. В настоящее время данная проблема не как не решается, и единственный выход в будущем, это сделать более «гибким» федеральное законодательство.

Важное значение приобретает мониторинг возможно крена трубы (допустимые значения кренов трубы со-

гласно документы [4] приведены в таблице 1). В случае значительного превышения предельно допустимого значения отклонения верха трубы стоит немедленно начать мероприятия по выравниванию трубы, либо по демонтажу. Отклонение происходит, как правило, вследствие неравномерных осадок фундаментов труб, поэтому для их устранения предлагаться использовать методы, разработанные в Пензенском государственном университете архитектуры и строительства, с ними можно ознакомиться в работах [7..9].

В случае если экспертиза промышленной безопасности проводится у трубы установленной с растяжками то стоит проверить, соответствует ли реальное положение растяжек проектному [10]. Часто монтаж осуществляется не правилам. В этом случае стоит выполнить проверочный расчёт (расчёт выполняется специализируемой организацией, имеющей лицензию на допуск к таким видам работ).

Срок эксплуатации по сравнению с кирпичными и железобетонными промышленными дымовыми трубами невелик. Если кирпичные трубы вполне могут прослужить 50–60 лет, то срок службы ограничивается 20–25 годами (при условии грамотной эксплуатации), а металлические трубы на растяжках — всего 8–10 лет. Но в тоже время монтаж и демонтаж таких труб с экономической точки зрения влечёт за собой минимальные издержки, в эксплуатации требует меньше затрат, чем кирпичные или железобетонные трубы.

Обследование стоит проводить с позиций системного подхода [11], доверять экспертизу промышленной безопасности лишь проверенным и зарекомендовавшим себя экспертным организациям, только так можно максимально долго продлить срок безопасной эксплуатации дымовых металлических промышленных труб.



Рис. 1. Коррозия металлической промышленной дымовой трубы в г. Сердобск Пензенской области



Рис. 2 Коррозия металлической промышленной дымовой трубы в г. Кузнецк Пензенская области

Таблица 1. Допустимые значения крена промышленных труб

№ п/п	Вид конструкции ствола трубы	Высота* трубы, м	Предельно допустимое отклонение верха трубы, мм
1	2	3	4
1	Металлические трубы	20	60
		40	120
		60	180
		80	240
		100	300
		120	360
2	Кирпичные, железобетонные и неметаллические трубы	20	140
		40	280
		60	420
		80	550
		100	650
		120	680
		150	700
		200	700
		250	700
		300	700

Литература:

1. Кузьмишкин, А. А., Гарькин И. Н. Обследование дымовых промышленных труб [Текст] // Молодой ученый. — 2014. — № 1. — с. 94–95.
2. Фадеева, Г. Д., Гарькин И. Н., Забиров А. И. Экспертиза промышленной безопасности промышленных кирпичных труб [Текст] // Молодой ученый. — 2014. — № 11. — с. 122–125.
3. Фадеева, Г. Д., Гарькин И. Н., Забиров А. И. Экспертиза промышленной безопасности зданий и сооружений: характерные проблемы [Текст] // Молодой ученый. — 2014. — № 4. — с. 285–286.
4. ПБ 03–445–02 «Правила безопасности при эксплуатации дымовых и вентиляционных промышленных труб»
5. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»
6. Фадеева, Г. Д., Гарькин И. Н., Забиров А. И. Экспертиза промышленной безопасности зданий и сооружений с крановыми нагрузками // Современная техника и технологии. — Июнь 2014. — № 6 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2014/06/3917> (дата обращения: 05.06.2014).
7. Нежданов, К. К., Гарькин И. Н., Кузьмишкин А. А. Управление креном и осадкой зданий и сооружений [Текст] // Молодой ученый. — 2014. — № 2. — с. 169–170.
8. Гарькин, И. Н., Глухова М. В. Устранение неравномерных осадок зданий на ленточных фундаментах [Текст] // Молодой ученый. — 2013. — № 12. — с. 110–112.
9. Гарькин, И. Н., Глухова М. В. Метод устранения неравномерных осадок промышленных зданий на ленточных фундаментах // II Международная молодёжная Интеллектуальная Ассамблея: сб. науч.-исслед. Работ. — Чебоксары: НИИ педагогики и психологии, 2011-с. 128–130
10. СНиП 2.09.03–85 Сооружения промышленных предприятий государственный комитет СССР по делам строительства МОСКВА 1986
11. Гарькин, И. Н., Гарькина И. А. Системные исследования при технической экспертизе строительных конструкций зданий и сооружений // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 3; URL: <http://www.science-education.ru/117-13139> (дата обращения: 19.05.2014).

Решение проблем эксплуатации зданий промышленных предприятий

Фадеева Галина Дмитриевна, доцент;

Гарькин Игорь Николаевич, инженер

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Рассматриваются проблемы и пути их решения при эксплуатации зданий и сооружений промышленных предприятий Российской Федерации. Приводятся доводы организации специальных служб в составе крупных предприятий для контроля состояния строительных конструкций.

Ключевые слова: промышленные здания, безопасная эксплуатация, обследование зданий и сооружений, мониторинг строительных конструкций

В настоящее время во многих секторах отечественной промышленности наблюдается существенный износ основных производственных фондов. Особенно тревожная обстановка сложилась по зданиям и сооружениям (часто эксплуатируются с большой вероятностью обрушений) [1...4]. Для предотвращения риска возникновения несчастных случаев и снижению издержек при эксплуатации зданий требуется определить основные проблемы и предложить пути их решений.

Проблема эксплуатации в первую очередь зависит от персонала промышленных предприятий. На многих предприятиях специальные службы по обследованию и ремонту строительных конструкций были упразднены. Если на небольших производствах это вполне обоснованно, то на крупных (где работают свыше 500 человек) упразднение таких служб крайне негативно сказывается на безопасности строительных конструкций.

Для оперативного выявления угроз и дефектов строительных конструкций требуется минимум один человек с высшим строительным образованием на штатной должности смотрителя зданий и сооружений. Для устранения имеющихся дефектов с минимальными материальными издержками, необходимо иметь собственную ремонтную службу. В качестве примера стандартных схем организации таких служб приведён рисунок 1 и 2. Хотя стоит отметить, что данные схемы актуальны лишь для крупных

предприятий с численностью работающих более 1000 человек, и имеющих на балансе большое количество зданий, сооружений и различных технических устройств (механизмов).

Мелким же предприятиям необходимо заключать договора с проектными и экспертными организациями для проведения плановых обследований строительных конструкций, а так же с подрядными организациями для оперативного устранения выявленных дефектов. Либо небольшие производства могут на паритетных правах создать свою подрядную организацию для «аутсорсинга» работ связанных со строительством, обследованиями и т.д. Предлагается использовать тот же принцип, что при создании ТСЖ (товарищества собственников жилья). Когда, к примеру, 10 небольших предприятий объединяются для создания и содержания организации для проведения обследований зданий и сооружений.

Своевременное проведение мониторинга строительных конструкций способно существенно облегчит проведение плановых экспертиз промышленных безопасности зданий и сооружений [5 – 7].

Ещё одной существенной проблемой является отсутствие всей (или части) проектной документации. Особенно эта проблема остро встаёт при реконструкции или расширении предприятий. К сожалению, большая часть архивов документации потеряна, и проектные институты и пред-

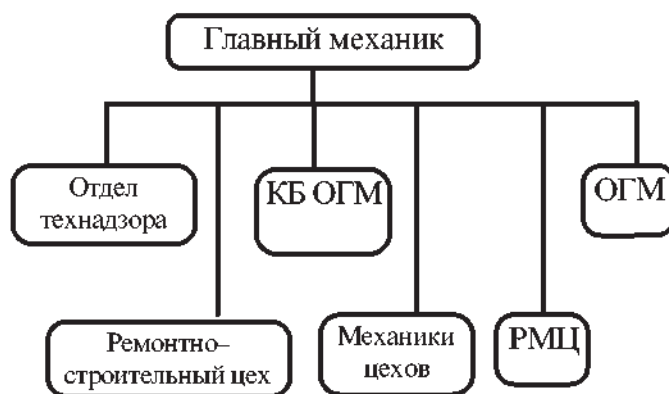


Рис. 1. Схема организации службы по обследованию и ремонту строительных конструкций в составе ОГМ

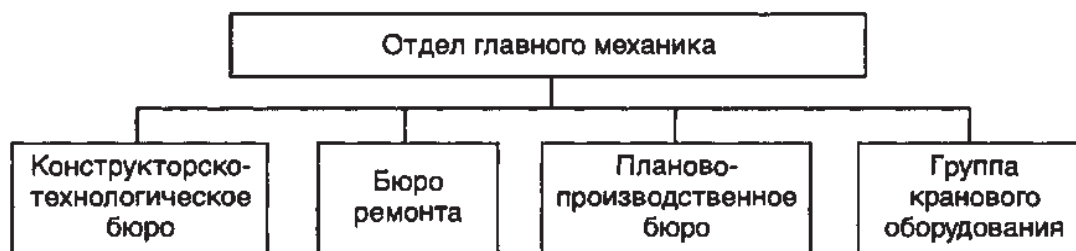


Рис. 2. Схема организации службы по обследованию и ремонту строительных конструкций в составе ОГМ

приятия закрыты в 90-ых годах. Всё это приводит к тому, что предприятиям приходится за свой счёт восстанавливать утраченную документацию, либо работать вообще без неё. Таким образом, необходимо ответственно подходить к хранению имеющейся проектной документации, и не допускать её утраты.

Хотя для перевооружения отдельных производств, требуется ряд разрешительных и проверочных документов, часто ими пренебрегают, что приводит к авариям и материальным издержкам предприятия. К примеру, для установки дополнительного грузоподъёмного механизма требуется выполнить проверочный расчёт, силами специализированной организации, иначе территориальное отделение Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору имеет в праве наложить штраф, и в дальнейшем остановить работу. Следует избегать таких ситуаций, и при любых операциях, влияющих на строительные конструкции (установка нового оборудования, модернизация имеющегося

и т.д.) требуется выполнить необходимые проверочные расчёты.

Таким образом, можно сделать следующие выводы для безопасной эксплуатации строительных конструкций промышленных зданий и сооружений:

1. Иметь ответственное лицо (или службу) по надзору и ремонту строительных конструкций;
2. Проводить своевременный мониторинг строительных конструкций;
3. Восстановить проектную документацию на строительные конструкции;
4. При перевооружении или реконструкции отдельных механизмов или зданий в целом, проводить проверочные расчёты силами специализированными организациями.

Выполнение этих простых рекомендаций может существенно облегчить эксплуатацию промышленных зданий и сооружений, и снизить материальные издержки на их ремонт и содержание в долгосрочной перспективе.

Литература:

1. Гарькин, И. Н. Анализ причин обрушений промышленных зданий [Текст]/И. Н. Гарькин // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, март 2011 г.). — СПб.: Реноме, 2011. — с. 27–29.
2. Гарькин, И.Н., Гарькина И.А. Системные исследования при технической экспертизе строительных конструкций зданий и сооружений // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — №3; URL: <http://www.science-education.ru/117-13139> (дата обращения: 19.05.2014).
3. Гарькин, И. Н., Гарькина И. А Анализ причин обрушения строительных конструкций промышленных зданий с позиций системного подхода // Альманах современной науки и образования. Тамбов: Грамота, 2014. №5–6 (84) с. 48–51
4. Гарькин, И.Н. Обследование промышленных зданий: меры предотвращения обрушений// Промышленное и гражданское строительство в современных условиях. Материалы международной научно-технической конференции студентов./Моск. гос. строит. ун-т.-М.:МГСУ,2011-с. 19–20.
5. Фадеева, Г.Д., Гарькин И.Н., Забиров А.И. Экспертиза промышленной безопасности зданий и сооружений: характерные проблемы [Текст]// Молодой ученый. — 2014. — №4. — с. 285–286.
6. Фадеева, Г.Д., Гарькин И.Н., Забиров А.И. Экспертиза промышленной безопасности зданий и сооружений с крановыми нагрузками // Современная техника и технологии. — Июнь 2014. — №6 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2014/06/3917> (дата обращения: 05.06.2014).
7. Фадеева, Г.Д., Гарькин И.Н., Забиров А.И. Экспертиза промышленной безопасности железобетонных резервуаров // Современная техника и технологии. — Июль 2014. — №7 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2014/07/4181> (дата обращения: 14.07.2014).

Гармонический анализ статически неопределимой рамы

Чемезов Денис Александрович, магистр техники и технологий, преподаватель
Владимирский химико-механический колледж

В статье представлены результаты моделирования нагружения балки статически неопределимой конструкции в среде SolidWorks. Дано описание состояния конструкции при различных частотных режимах в соответствии с полученными эпюрами напряжения von Mises и плотности энергии деформации.

Ключевые слова: балка, частота, напряжение von Mises, деформация

Статически неопределимой конструкцией является геометрически неизменяемая система, в которой реакции связей, характеризующие деформации не могут быть определены с помощью одних уравнений статики [1]. Статическая неопределимость рамы может быть выражена вследствие: а) большого числа внешних связей; б) наличия замкнутых контуров; в) наличия более трех внешних связей. Расчет напряжений, перемещений и деформаций статически неопределимых конструкций выполняют аналитическим методом или в специальных программных комплексах инженерного анализа (CAE — системы). Программные комплексы позволяют решать задачи различного характера, с высокой точностью имитируя реальные процессы с возможностью получения результатов исследования в виде интерактивных эпюр, графиков, таблиц и т. д.

При действии периодической нагрузки на элементы системы возникают вынужденные колебания конструкции [2, с. 4]. Напряженно-деформированное состояние конструкции от характера воздействия вынужденных колебаний определяется гармоническим анализом. На основании проведенного анализа можно судить об устойчивости системы.

Линейный гармонический анализ статически неопределимой рамы выполнялся в программной среде SolidWorks Simulation. Для расчета построена 3D модель рамы, общий вид и габаритные размеры которой представлены на рисунке 1.

Решение производилось в программе Direct Sparse. Были приняты следующие свойства имитационного моделирования: количество частот — 10; нижний частотный предел — 0 Гц (Цикл/сек.); верхний частотный предел — 20 Гц (Цикл/сек.); количество точек для каждой частоты — 15; ширина полосы для каждой частоты — 0,4; интерполяция — логарифмическая; демпфирование по Релею ($\alpha = 0,02$, $\beta = 0,04$).

Высокая точность полученных результатов решения задачи обеспечивалась разбиением (сетка на основе кривизны) модели на 71823 элемента (112261 узел).

В качестве материала модели была принята углеродистая сталь обыкновенного качества. Основные физико-механические свойства материала отображены в таблице 1.

На горизонтальную балку рамы действовала нормальная сила величиной 800 Н (рисунок 2). Крепление

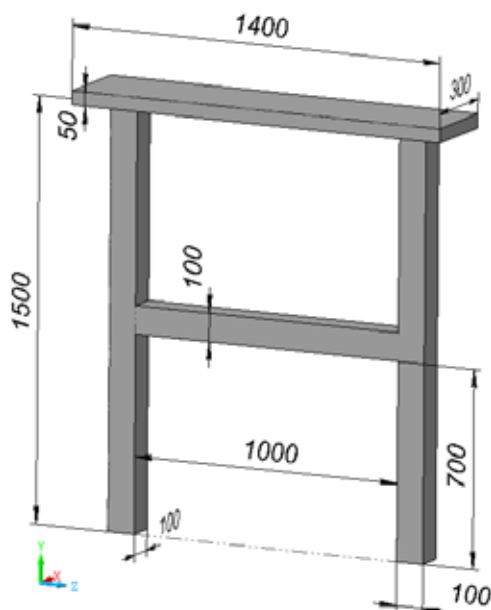


Рис. 1. Габаритные размеры твердотельной модели рамы (масса — 475,8 кг)

Таблица 1

Параметр	Значение параметра
Предел текучести (σ_m), Н/м ²	$2,20594 \cdot 10^8$
Предел прочности при растяжении ($\sigma_{в.р.}$), Н/м ²	$3,99826 \cdot 10^8$
Модуль упругости (E), Н/м ²	$2,1 \cdot 10^{11}$
Коэффициент Пуассона (μ)	0,28
Массовая плотность (ρ), кг/м ³	7800
Модуль сдвига (G), Н/м ²	$7,9 \cdot 10^{10}$
Коэффициент теплового расширения (β), К ⁻¹	$1,3 \cdot 10^{-5}$

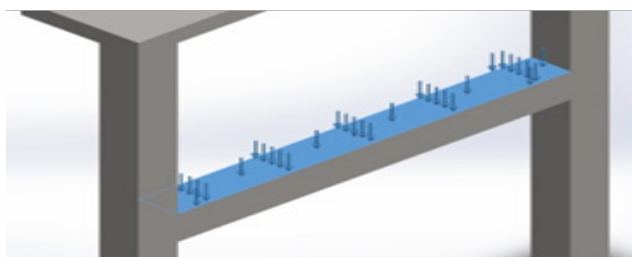


Рис. 2. Поверхность и направление приложения нормальной силы на балку рамы

конструкции осуществлялось за основания двух вертикальных стоек.

Количество частотных шагов решения задачи — 106. Для каждого расчетного шага определено значение частоты: 1–93 шага менее 1 Гц; 94 шаг — 1,37498 Гц; 95 шаг — 1,88468 Гц; 96 шаг — 2,42862 Гц; 97 шаг — 3,01478 Гц; 98 шаг — 10,0003 Гц; 99 шаг — 16,3457 Гц; 100 шаг — 16,9858 Гц; 101 шаг — 17,5719 Гц; 102 шаг — 18,1159 Гц; 103 шаг — 18,6256 Гц; 104 шаг — 19,1068 Гц; 105 шаг — 19,5628 Гц; 106 шаг — 20 Гц.

Результаты решения задачи на различных частотных шагах представлены эпюрами напряжения von Mises (рисунок 3 а, б, в) и плотности энергии деформации ϵ (рисунок 4 а, б, в) рамы.

Напряжение von Mises представляет собой величину напряжения, рассчитанную исходя из составляющих напряжений. Оно предоставляет информацию, достаточную для оценки надежности конструкции [3]. На 2-х частотном шаге отмечено напряженное состояние всех элементов рамы под действием нагрузки. Максимальное напряжение σ_{max} ($485477,6 \text{ Н/м}^2$) — в местах соединения горизонтальной балки и вертикальных стоек. При частоте 0,000466 Гц наблюдается сосредоточение напряжения конструкции только в местах соединения, σ_{max} составляет $518012,5 \text{ Н/м}^2$. Дальнейшее увеличение частоты до 20 Гц приводит к уменьшению σ_{max} на рассматриваемом шаге до $101356,8 \text{ Н/м}^2$.

Плотность энергии деформации — отношение энергии к тому объему в котором она заключена. На эпюрах мак-

симальная плотность энергии деформации ϵ_{max} определена в местах соединения горизонтальной балки и вертикальных стоек. Отмечено, что на интервале частот от $5,307 \cdot 10^{-6}$ до 20 Гц плотность энергии деформации уменьшается с 0,505 до 0,014 Н-м/м³.

Характер изменения напряжения von Mises и плотности энергии деформации рамы на всех частотных шагах представлены на рисунках 5 и 6.

Коэффициенты массового участия важны для определения соответствия вычисленных мод (форм) колебаний для решения динамических задач с движением основания. Список коэффициентов массового участия в глобальных направлениях X, Y и Z, нормализованных относительно общей массы модели представлены в таблице 2.

В таблице, номера режимов указывают на порядковые номера мод. Направления X, Y и Z — значения коэффициентов массового участия в глобальных направлениях соответствующих плоскостей для каждой моды.

По результатам исследования были сделаны следующие выводы:

- 1) с увеличением резонансных частот в интервале от $5,307 \cdot 10^{-6}$ до 20 Гц, уменьшаются максимальные значения напряжения von Mises и плотности энергии деформации конструкции более чем в 5 раз;
- 2) определены расположение и величина максимальных значений напряжения von Mises и плотности энергии деформации конструкции;
- 3) получены значения коэффициентов массового участия в 3 координатных направлениях.

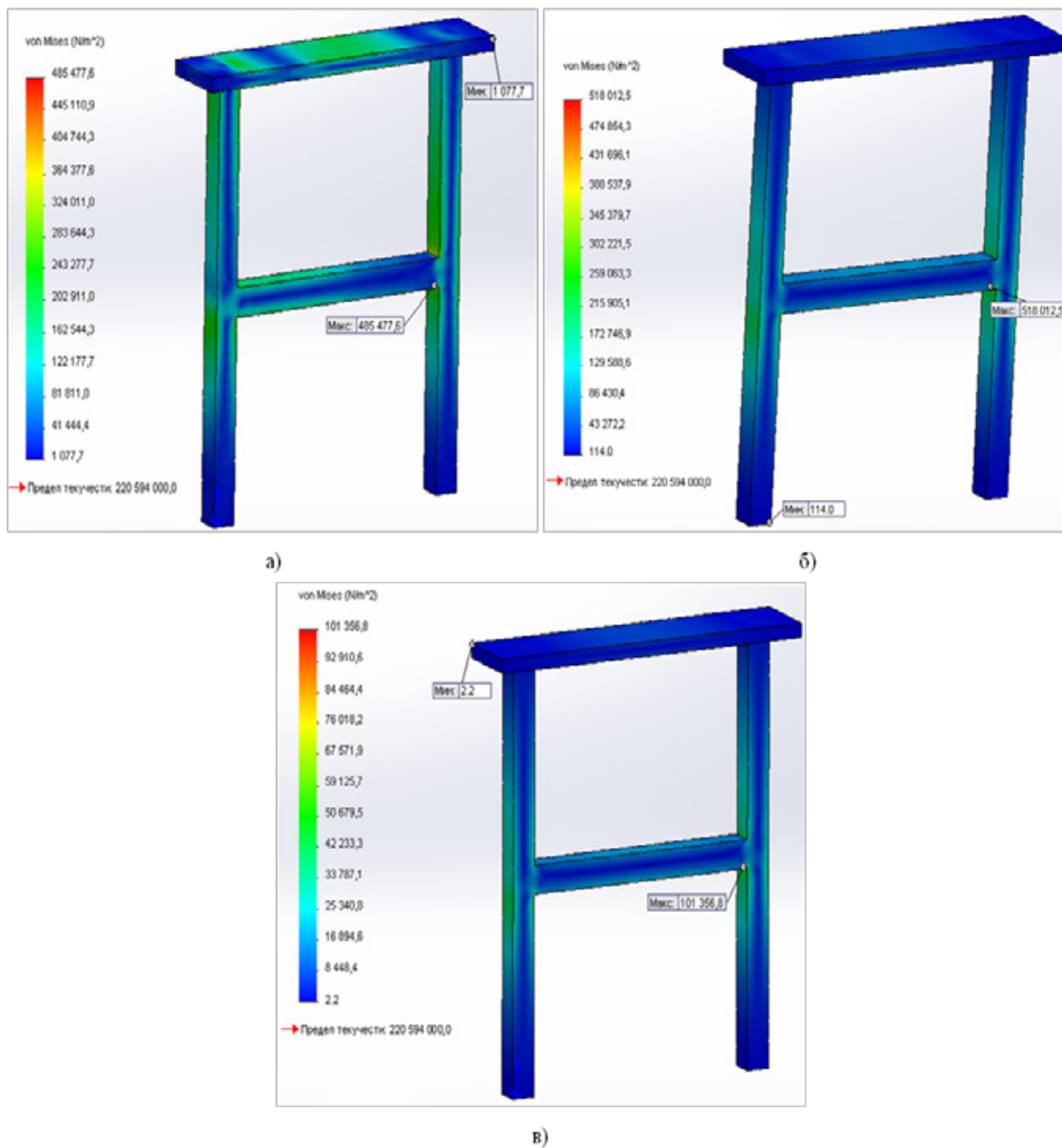


Рис. 3. Эпюры напряжения von Mises σ конструкции: а) шаг 2-х частотный — $5,307 \cdot 10^{-6}$ Гц; б) шаг 60-и частотный — 0,000466 Гц; в) шаг 106-и частотный — 20 Гц. Единица измерения — Н/м²

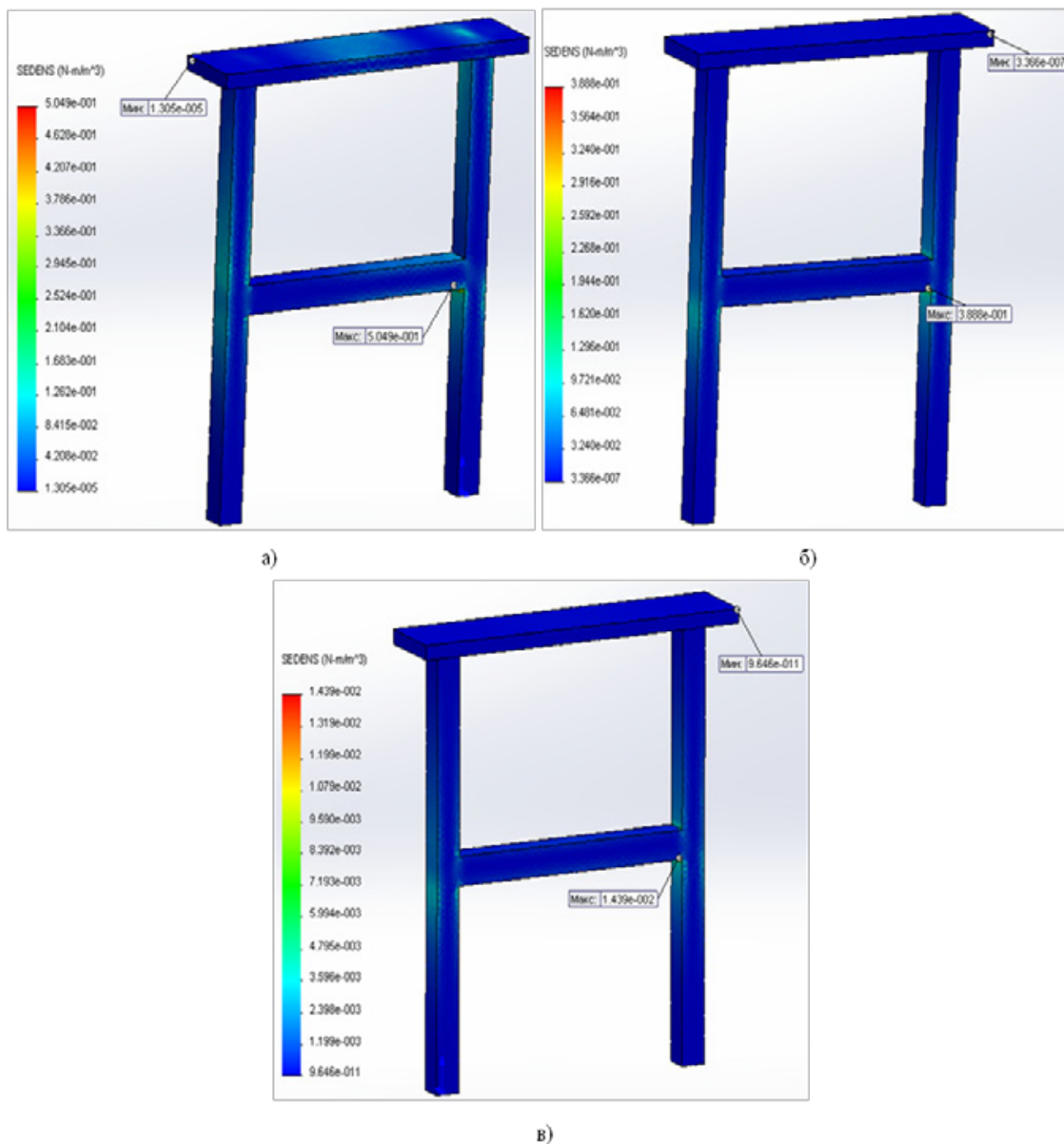


Рис. 4. Эпюра плотности энергии деформации ϵ конструкции: а) шаг 2-х частотный — $5,307 \cdot 10^{-6}$ Гц; б) шаг 60-и частотный — $0,000466$ Гц; в) шаг 106-и частотный — 20 Гц. Единица измерения — $\text{Н-м}/\text{м}^3$

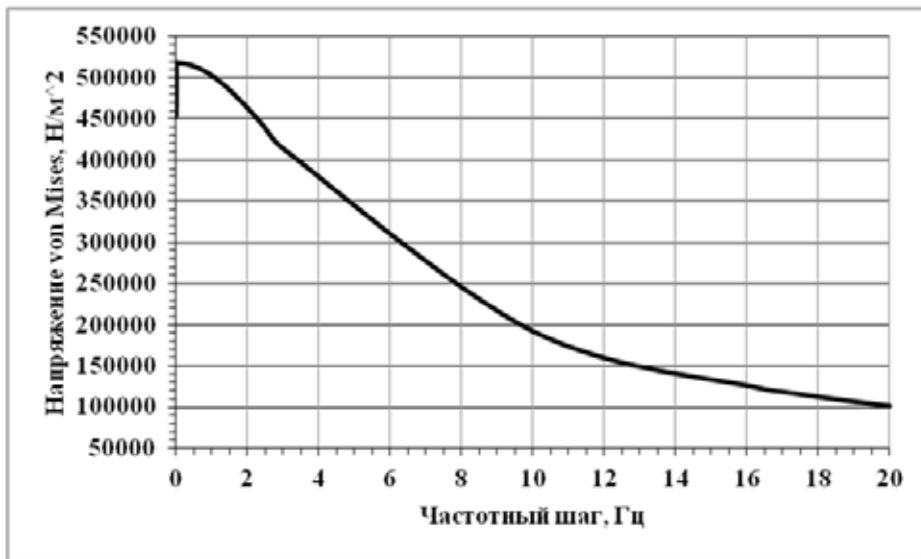


Рис. 5. Зависимость напряженного состояния рамы от величины частоты

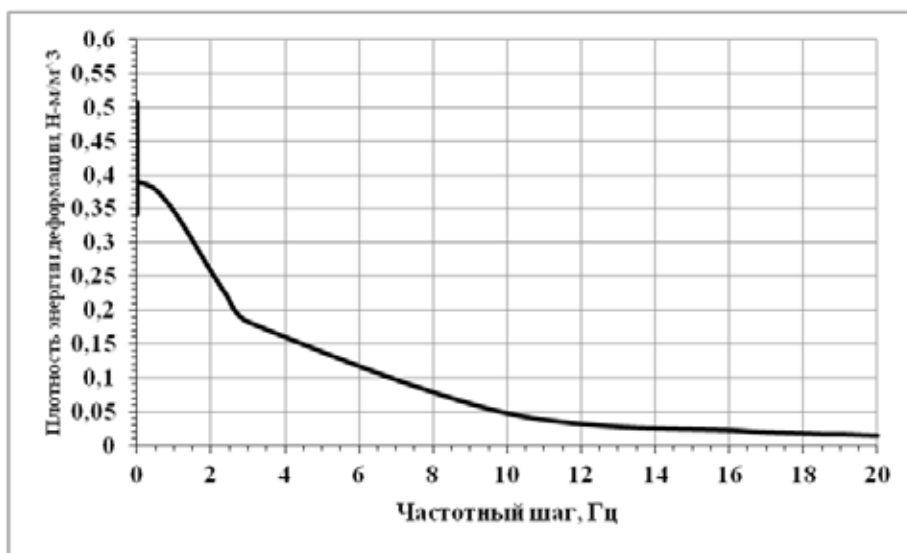


Рис. 6. Зависимость плотности энергии деформации рамы от величины частоты

Таблица 2. Коэффициенты массового участия

Номер режима	Частота, Гц	Направление X	Направление Y	Направление Z	Период, сек
1	0,00024333	0,062634	0,0031471	0,00011146	4109,6
2	0,0003374	0,61464	0,0029802	$2,8941 \cdot 10^{-5}$	2963,8
3	0,00036217	0,0011418	0,2119	0,025341	2761,2
4	0,00046862	0,001604	0,78142	0,011392	2133,9
5	0,00048713	0,00054528	0,0004313	0,96185	2052,8
6	0,00056644	0,31944	0,00012683	0,0012801	1765,4
7	58,147	$6,5267 \cdot 10^{-22}$	$4,4119 \cdot 10^{-26}$	$1,4126 \cdot 10^{-24}$	0,017198
8	97,135	$3,4953 \cdot 10^{-26}$	$1,6159 \cdot 10^{-23}$	$5,4488 \cdot 10^{-24}$	0,010295
9	105,16	$1,6147 \cdot 10^{-25}$	$6,8327 \cdot 10^{-24}$	$4,2804 \cdot 10^{-24}$	0,0095092
10	137,02	$2,4062 \cdot 10^{-24}$	$3,2562 \cdot 10^{-25}$	$9,0134 \cdot 10^{-26}$	0,0072983
		Сумма X = 1	Сумма Y = 1	Сумма Z = 1	

Литература:

1. Статически неопределимая система [Электронный ресурс] URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D1%F2%E0%F2%E8%F7%E5%F1%EA%E8_%ED%E5%EE%EF%F0%E5%E4%E5%EB%E8%EC%E0%FF_%F1%E8%F1%F2%E5%EC%E0 (дата доступа: 25.07.2014).
2. Леонтьев, Н. В. Применение системы ANSYS к решению задач модального и гармонического анализа. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике». Нижний Новгород. 2006. — 101 с.
3. Von Mises Stress [Электронный ресурс] URL: <http://www.plm-forum.ru/forum/viewtopic.php?t=3658> (дата доступа: 25.07.2014).

Молодой ученый

Ежемесячный научный журнал

№ 12 (71) / 2014

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор:

Ахметова Г. Д.

Члены редакционной коллегии:

Ахметова М. Н.
Иванова Ю. В.
Лактионов К. С.
Сараева Н. М.
Авдеюк О. А.
Алиева Т. И.
Ахметова В. В.
Брезгин В. С.
Данилов О. Е.
Дёмин А. В.
Дядюн К. В.
Желнова К. В.
Жуйкова Т. П.
Игнатова М. А.
Коварда В. В.
Комогорцев М. Г.
Котляров А. В.
Кузьмина В. М.
Кучерявенко С. А.
Лескова Е. В.
Макеева И. А.
Мусаева У. А.
Насимов М. О.
Прончев Г. Б.
Семахин А. М.
Сенюшкин Н. С.
Ткаченко И. Г.
Яхина А. С.

Ответственные редакторы:

Кайнова Г. А., Осянина Е. И.

Международный редакционный совет:

Айрян З. Г. (Армения)
Арошидзе П. Л. (Грузия)
Атаев З. В. (Россия)
Борисов В. В. (Украина)
Велковска Г. Ц. (Болгария)
Гайич Т. (Сербия)
Данатаров А. (Туркменистан)
Данилов А. М. (Россия)
Досманбетова З. Р. (Казахстан)
Ешиев А. М. (Кыргызстан)
Игисинов Н. С. (Казахстан)
Кадыров К. Б. (Узбекистан)
Козырева О. А. (Россия)
Лю Цзюань (Китай)
Малес Л. В. (Украина)
Нагервадзе М. А. (Грузия)
Прокопьев Н. Я. (Россия)
Прокофьева М. А. (Казахстан)
Ребезов М. Б. (Россия)
Сорока Ю. Г. (Украина)
Узаков Г. Н. (Узбекистан)
Хоналиев Н. Х. (Таджикистан)
Хоссейни А. (Иран)
Шарипов А. К. (Казахстан)

Художник: Шишков Е. А.

Верстка: Бурьянов П. Я.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231.

E-mail: info@moluch.ru

<http://www.moluch.ru/>

Учредитель и издатель:

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии «Конверс», г. Казань, ул. Сары Садыковой, д. 61