

Министерство обороны Российской Федерации
Министерство промышленности и энергетики Саратовской области
ОАО «Тантал», ОАО «Институт критических технологий»
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского»

Решением Президиума ВАК Министерства образования и науки РФ издание включено в Перечень ведущих рецензируемых изданий, в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

Гетеромагнитная микроэлектроника

Сборник научных трудов

ВЫПУСК 16

**Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника.
Методические аспекты физического образования.
Экономика в промышленности**

Под редакцией профессора *А. В. Ляшенко*

Саратов
Издательство Саратовского университета
2014

УДК 621.382.029.6
ББК 548.537.611.44
Г44

Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. / под ред.
Г44 проф. А. В. Ляшенко. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2014. –
Вып. 16 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические
аспекты физического образования. Экономика в промышленности. –
144 с. : ил.

В настоящем выпуске сборника представлены материалы по гетеромагнитным датчикам, подавлению гармонических магнитных помех, электродинамическим характеристикам планарного ферритового волновода, резонансной флуоресценции молекул при лазерном возбуждении, процессору с улучшенными характеристиками, методическим аспектам физического образования, инновационным направлениям в экономике.

Для специалистов-разработчиков, экспертов, работающих в области микро- и наноэлектроники, а также студентов, аспирантов и докторантов.

Редакционная коллегия:

А. А. Игнатьев, д-р физ.-мат. наук, проф. (отв. редактор); *М. Н. Куликов*, канд. физ.-мат. наук, проф. (зам. отв. редактора); *Л. Л. Страхова*, канд. физ.-мат. наук, доц. (отв. секретарь); *С. Ю. Глазьев*, д-р экон. наук, проф., акад. РАН; *В. И. Борисов*, д-р техн. наук, член-корр. РАН; *С. А. Никитов*, д-р физ.-мат. наук, проф., член-корр. РАН; *О. С. Сироткин*, д-р техн. наук, проф., член-корр. РАН; *О. Ю. Гордашникова*, д-р экон. наук, проф.; *А. Н. Плотников*, д-р экон. наук, проф.; *Е. А. Наумов*, канд. экон. наук, проф.; *Л. С. Сотов*, д-р техн. наук, проф.; *А. А. Солопов*, канд. экон. наук; *С. П. Кудрявцева*, канд. техн. наук, доц.; *С. В. Овчинников*, канд. физ.-мат. наук, доц.; *В. А. Малярчук*, канд. техн. наук, доц.; *А. Л. Хвалин*, канд. техн. наук, доц.; *Б. А. Медведев*, канд. физ.-мат. наук, доц.; *Л. А. Романченко*, канд. техн. наук, доц.; *А. С. Краснощекова*, зам. нач. КБ КТ по общим вопросам (референт ОАО «Институт критических технологий»)

УДК 621.382.029.6
ББК 548.537.611.44

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 2014 г. отмечается 10-летие сборника научных трудов «Гетеромагнитная микроэлектроника». Этот период отражает становление нового отечественного научно-технического направления – гетеромагнитная микроэлектроника, введение новых разделов: «Методические аспекты физического образования» и «Экономика в промышленности».

В настоящем выпуске сборника представлены материалы по гетеромагнитной микроэлектронике, классической магнитоэлектронике, обработке сигналов в цифровом формате и информации на новой элементной базе, проблемам физического образования и экономическим вопросам в промышленности.

Ответственный редактор
доктор физико-математических наук,
профессор *А. А. Игнатьев*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.317.445

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ ЛИНЕЙНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОДНООСНОГО ГЕТЕРОМАГНИТНОГО ДАТЧИКА МАГНИТНОГО ПОЛЯ

А. А. Игнатьев, Е. А. Каюшкина, М. Н. Куликов

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: kof@sgu.ru

Приводятся результаты теоретического и экспериментального исследований отклонения от линейности крутизны преобразования изменения внешнего магнитного поля в изменение информационного выходного сигнала в одноосном гетеромагнитном датчике слабых магнитных полей.

Ключевые слова: крутизна преобразования, отклонение от линейности, гетеромагнитный датчик, магнитное поле Земли.

Investigation of Degree of Deviation from Linear Conversion Heteromagnetic Uniaxial Magnetic Field Sensor

A. A. Ignatiev, E. A. Kayushkina, M. N. Kulikov

The results of theoretical and experimental studies of deviation from linearity of the slope conversion the external magnetic field changes in the information output of the sensor in a uniaxial heteromagnetic sensor of weak magnetic fields.

Key words: slope conversion, deviation from linearity, heteromagnetic sensor, magnetic field of the Earth.

Любой датчик магнитного поля представляет собой устройство, в котором на некотором магниточувствительном элементе изменение внешнего (измеряемого) магнитного поля преобразуется в изменение какого-либо легко регистрируемого физического параметра. Основными характеристиками таких датчиков являются диапазон измеряемых полей, крутизна преобразования, степень отклонения от линейности преобразования, наличие и величина гистерезиса.

Гетеромагнитный первичный преобразователь (ГМПП) – датчик магнитного поля – представляет собой магниточувствительный СВЧ-автогенератор, частота выходного сигнала которого изменяется пропорционально изменению внешнего магнитного поля. Если СВЧ-автогенератор содержит сферический резонатор из железо-иттриевого граната (ЖИГ) и дополнительные внешние поля отсутствуют, то частота f_0 выходного сигнала ГМПП будет определяться известным соотношением [1, 2]

$$f_0 = \gamma B_0,$$

где $\gamma = 2800$ кГц/Гс – гиромагнитное отношение для электрона; B_0 – индукция внутреннего магнитного поля (сумма внешнего поля постоянного магнита и поля кристаллографической анизотропии ЖИГ-резонатора) в ЖИГ-резонаторе [1, 2]. Прямую, вдоль которой направлен вектор \mathbf{B}_0 , будем считать измерительной осью ГМПП (рис. 1).

При наличии дополнительного внешнего магнитного поля с индукцией \mathbf{B} частота f выходного сигнала ГМПП изменится и станет равной

$$f = \gamma|\mathbf{B}_0 + \mathbf{B}| = \gamma\sqrt{(B_0 + B_{\parallel})^2 + B_{\perp}^2} = \gamma B_0 \left(1 + 2\frac{B_{\parallel}}{B_0} + \frac{B_{\parallel}^2}{B_0^2} + \frac{B_{\perp}^2}{B_0^2}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

где B_{\parallel} и B_{\perp} – параллельная и перпендикулярная проекции вектора \mathbf{B} на измерительную ось ГМПП (рис. 2).

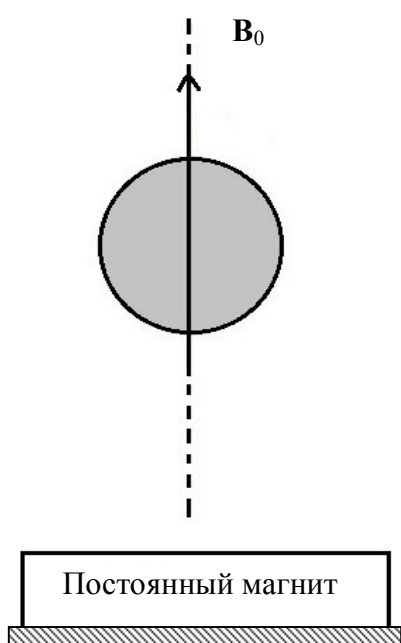


Рис. 1. Схема расположения ЖИГ-резонатора в поле постоянного магнита

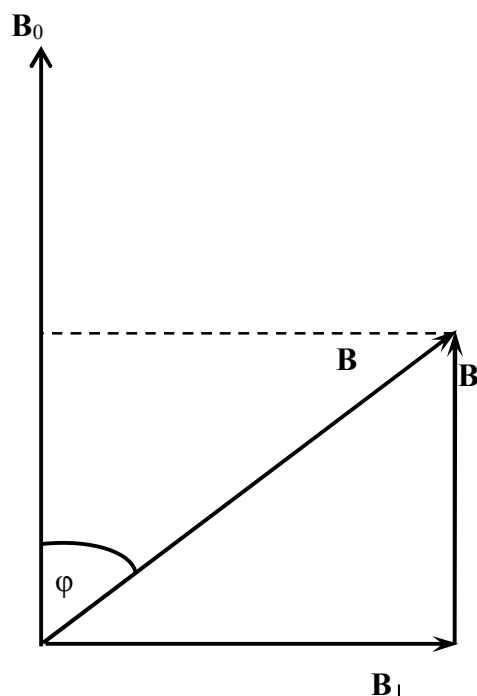


Рис. 2. Взаимное расположение векторов \mathbf{B} и \mathbf{B}_0

Если $|\mathbf{B}| \ll |\mathbf{B}_0|$, то из (1) с точностью до членов второго порядка малости имеем

$$f = \gamma B_0 \left(1 + \frac{B_{\parallel}}{B_0} + \frac{1}{2} \frac{B_{\perp}^2}{B_0^2}\right) = f_0 + \gamma B_{\parallel} + \frac{\gamma}{2} \frac{B_{\perp}^2}{B_0}. \quad (2)$$

В первом приближении изменение частоты Δf выходного сигнала будет равно

$$\Delta f = f - f_0 = \gamma B_{\parallel}.$$

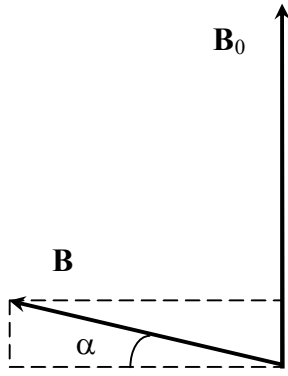


Рис. 3. Качественная картина взаимного расположения векторов \mathbf{B} и \mathbf{B}_0

Таким образом, ГМПП как датчик малых внешних магнитных полей будет измерять только составляющую поля, параллельную измерительной оси, с постоянной крутизной преобразования $\Delta f / \Delta B$, равной γ .

Отклонение от линейности преобразования проявляется как эффект второго порядка малости отношения B/B_0 в случае, когда вектор \mathbf{B} почти перпендикулярен вектору \mathbf{B}_0 .

Пусть вектор \mathbf{B} измеряемого внешнего магнитного поля составляет малый угол α ($\alpha \ll 1$) с перпендикуляром к измерительной оси ГМПП (рис. 3, реально $B_0 \gg B$). В этом случае

$$B_{\parallel} = B \cdot \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha B_{\perp}.$$

Тогда

$$\Delta f = f - f_0 = \gamma B_0 \left(\alpha \cdot \frac{B_{\perp}}{B_0} + \frac{1}{2} \frac{B_{\perp}^2}{B_0^2} \right), \quad (3)$$

а крутизна преобразования ГМПП для поперечной составляющей внешнего поля будет равна

$$\frac{d(f - f_0)}{dB_{\perp}} = \gamma \left(\alpha + \frac{B_{\perp}}{B_0} \right). \quad (4)$$

Из (4) видно, что крутизна преобразования не является постоянной величиной, а зависит от отношения B_{\perp}/B_0 .

В соответствии с соотношением (3) зависимость Δf от B_{\perp} представляет собой параболу

$$\Delta f = +\gamma B_0 \frac{1}{2} \left(\frac{B_{\perp}}{B_0} + \alpha \right)^2 - \gamma B_0 \frac{\alpha^2}{2}.$$

Будем считать, что нелинейные эффекты преобразования становятся заметными тогда, когда квадратичный член в соотношении (3) приблизительно равен линейному, т. е. при условии

$$\alpha \approx \frac{1}{2} \frac{B_{\perp}}{B_0}.$$

Так как $\alpha \ll 1$, то $B_{\perp} \approx B$ и максимальная степень отклонения ($\gamma \neq \text{const}$) от линейности будет иметь порядок B/B_0 .

Рассмотрим влияние ферромагнитного окружения на направление измерительной оси ГМПП. Пусть B_x, B_y и B_z – компоненты измеряемого магнитного поля в месте расположения ГМПП без ферромагнитного окружения. Тогда в присутствии ферромагнетика ГМПП регистрирует значения компонент поля B'_x, B'_y и B'_z , связанные с B_x, B_y и B_z известным соотношением Пуассона [3]

$$\begin{aligned} B'_x &= (1+a) \cdot B_x + b \cdot B_y + c \cdot B_z + P, \\ B'_y &= d \cdot B_x + (1+e) \cdot B_y + f \cdot B_z + Q, \\ B'_z &= g \cdot B_x + h \cdot B_y + (1+k) \cdot B_z + R, \end{aligned} \quad (5)$$

где коэффициенты Пуассона $a, b, c, d, e, f, g, h, k$ учитывают так называемое «мягкое», а коэффициенты P, Q, R – «жесткое» (т. е. постоянное) намагничивание.

Будем считать, что все коэффициенты Пуассона $\ll 1$, а $B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \ll B_0$.

Пусть $0y$ – измерительная ось датчика без ферромагнитного окружения. Тогда $Q \approx B_0$, а $P \ll B_0, R \ll B_0$.

Тогда частота выходного сигнала одноосного ГМПП будет определяться соотношением

$$f = \gamma B_0 + \gamma \left[d \cdot B'_x + (1+e) \cdot B'_y + f \cdot B'_z + \frac{P}{B_0} \cdot B'_x + \frac{R}{B_0} \cdot B'_z \right]$$

или

$$\Delta f = \gamma \left[\left(d + \frac{P}{B_0} \right) \cdot B'_x + (1+e) \cdot B'_y + \left(f + \frac{R}{B_0} \right) \cdot B'_z \right]. \quad (6)$$

Из соотношения (6) следует два важных вывода.

Во-первых, крутизна преобразования изменения внешнего магнитного поля в изменение частоты выходного (информационного) сигнала отлична от γ по основной измерительной оси ($0y$):

$$\frac{df}{dB'_y} = \gamma(1+e). \quad (7)$$

Во-вторых, появляется зависимость частоты выходного сигнала от компонент полей (B'_x и B'_z), перпендикулярных основной измерительной оси ($0y$):

$$\frac{df}{dB'_x} = \gamma \left(d + \frac{P}{B_0} \right), \quad (8)$$

$$\frac{df}{dB'_z} = \gamma \left(f + \frac{R}{B_0} \right). \quad (9)$$

Последнее равносильно дополнительному отклонению измерительной оси ГМПП от его основной измерительной оси ($0y$) в свободном от ферромагнетиков пространстве на некоторый угол α (рис. 4):

$$\alpha = \sqrt{\alpha_{xy}^2 + \alpha_{yz}^2}, \quad (10)$$

где $\alpha_{xy} = d + \frac{P}{B_0}$, $\alpha_{yz} = f + \frac{R}{B_0}$.

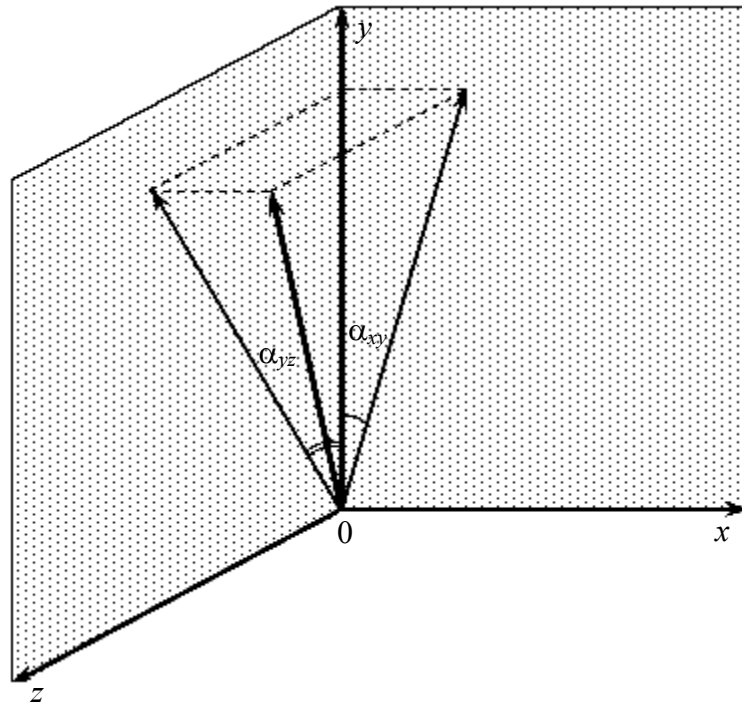


Рис. 4. Дополнительное отклонение измерительной оси ГМПП за счет влияния ферромагнитного окружения

Таким образом, при наличии ферромагнитного окружения крутизна преобразования изменения внешнего магнитного поля в изменение частоты выходного (информационного) сигнала отлична от γ по основной измерительной оси и появляется зависимость частоты выходного сигнала от компонент полей, перпендикулярных основной измерительной оси.

Экспериментально крутизну преобразования можно определить, измерив изменение частоты Δf при изменении внешнего магнитного поля на конечную величину ΔB :

$$\gamma = \frac{\Delta f}{\Delta B}. \quad (11)$$

Тогда абсолютная погрешность измерения $\delta\gamma$ будет равна

$$|\delta\gamma| = \frac{|\delta(\Delta f)| \cdot |\Delta B| + |\delta(\Delta B)| \cdot |\Delta f|}{(\Delta B)^2}, \quad (12)$$

а относительная –

$$\frac{\delta\gamma}{\gamma} = \frac{|\delta(\Delta f)|}{\Delta f} + \frac{|\delta(\Delta B)|}{|\Delta B|}. \quad (13)$$

Одна из проблем измерения крутизны преобразования датчика магнитного поля связана с тем, что степень отклонения от линейности и величина гистерезиса у такого датчика малы, поэтому погрешность определения изменения магнитного поля не должна превышать десятой доли процента, что не позволяет использовать для этих целей стандартные измерители магнитного поля.

Для того чтобы точность экспериментального определения степени отклонения от линейности преобразования $\Delta\gamma/\gamma$ была менее 0,004, необходимо, чтобы относительные погрешности измерения изменений частоты и поля были менее 0,002. Это соответствует тому, что изменение индукции магнитного поля ΔB на 1 Гс должно быть измерено с погрешностью 0,001 Гс. При этом соответствующее изменение частоты будет равно $\Delta f \approx 2800$ кГц и погрешность определения этого изменения должна составлять не более 6 кГц. Это значит, что частоты начального и конечного состояний (до изменения магнитного поля и после) должны быть измерены с погрешностью 1 кГц. Последнее легко обеспечивается практически любым стандартным частотомером при выборе соответствующего времени усреднения (счета).

Для обеспечения малой погрешности определения величины изменения магнитного поля был выбран способ создания внешнего (дополнительного) магнитного поля с помощью проволочной рамки, по обмотке которой пропускался регулируемый и измеряемый с высокой степенью точности ток. В такой рамке, не содержащей ферромагнитных деталей, индукция магнитного поля строго пропорциональна току. Рамка имела размеры 53×62 см и содержала 192 витка медного провода. Ширина намотки 5 см. Используя известные соотношения для расчета магнитного поля, создаваемого отрезком прямого провода с током, для нашей рамки получаем следующую связь между магнитным полем в геометрическом центре рамки B и током I :

$$B(\text{Гс}) = (3,81 \pm 0,01) \cdot I(\text{А}). \quad (14)$$

Все дефекты изготовления рамки приводят только к небольшой систематической погрешности определения коэффициента пропорциональности между B и I и не влияют на линейность зависимости B от I .

Измерение тока в рамке проводилось с помощью цифрового мультиметра с погрешностью отсчета 0,001А. В этом случае относительная погрешность измерения ΔB в 0,002 обеспечивается изменением тока на

$\Delta I = 0,5$ А. Это соответствует изменению ΔB приблизительно на 2 Гс и частоты Δf на 5600кГц. Тогда основная погрешность будет определяться погрешностью изменения тока и полная погрешность измерения крутизны преобразования γ не будет превышать 0,002.

В соответствии с этими оценками погрешностей была выбрана следующая методика измерения степени отклонения от линейности преобразования изменения частоты выходного сигнала одноосного гетеромагнитного преобразователя. Ток I в рамке, создающей дополнительное магнитное поле, изменялся от -3 А до $+3$ А с шагом $\Delta I = 0,5$ А, и на каждом шаге частотомером с погрешностью ± 1 кГц измерялась частота выходного сигнала f_n как функция I_n ($n = 1, 2, \dots$ – номер шага). По соотношению (14) на каждом шаге вычислялось соответствующее значение B_n и рассчитывалось изменение $\Delta B_n = B_{n+1} - B_n$, а также вычислялось соответствующее значение изменения частоты $\Delta f_n = f_{n+1} - f_n$. Далее по этим данным вычислялась крутизна преобразования:

$$\gamma_n = \frac{\Delta f_n}{\Delta B_n}. \quad (15)$$

Так как Δf_n и ΔB_n вычисляются по результатам двух измерений, то число значений γ_n получается на одно меньше, чем число N шагов измерений. Поэтому каждое значение γ_n следует относить к середине интервала внешнего магнитного поля B_n и B_{n+1} .

По результатам расчета γ_n находится среднее значение крутизны преобразования $\langle \gamma \rangle$

$$\langle \gamma \rangle = \frac{\sum_{n=1}^{N-1} \gamma_n}{N-1},$$

которое в случае линейности преобразования должно быть постоянной величиной, и среднеквадратичное отклонение

$$\sigma_\gamma = \frac{\sum_{n=1}^{N-1} (\gamma_n - \langle \gamma \rangle)^2}{N-1}. \quad (16)$$

Степень отклонения от линейности определялась как $\sigma / \langle \gamma \rangle$. Результат признавался достоверным, если это значение превышало погрешность измерения, которая в нашем случае оценивалась как 0,002.

Экспериментальное определение численного значения крутизны преобразования γ в одноосном гетеромагнитном датчике магнитного поля проводи-

лось на установке, блок-схема которой представлена на рис. 5. В качестве генеромагнитного преобразователя использовался датчик, описанный в [4].

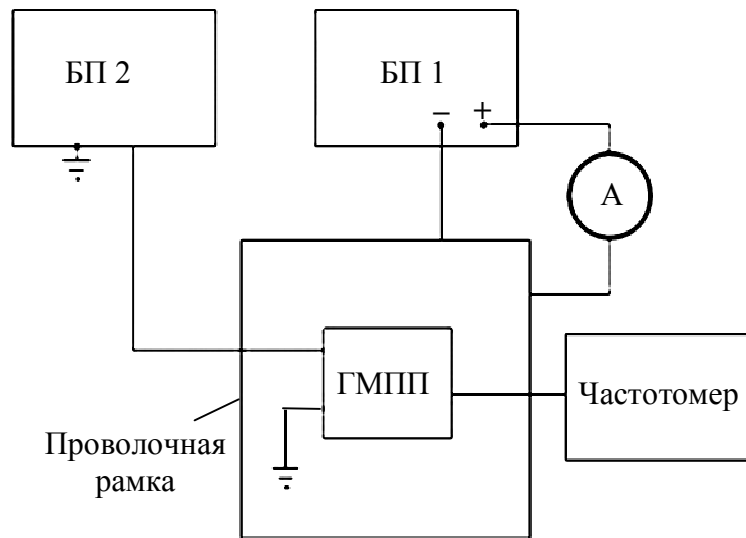


Рис. 5. Блок-схема установки для определения численного значения крутизны преобразования

Типичная экспериментальная зависимость γ от изменения магнитного поля B для случая, когда дополнительное магнитное поле рамки с током направлено параллельно измерительной оси датчика, показана на рис. 6. Видно, что в диапазоне изменения внешнего поля ± 10 Гс крутизна преобразования не постоянна, а изменяется около некоторого среднего значения.

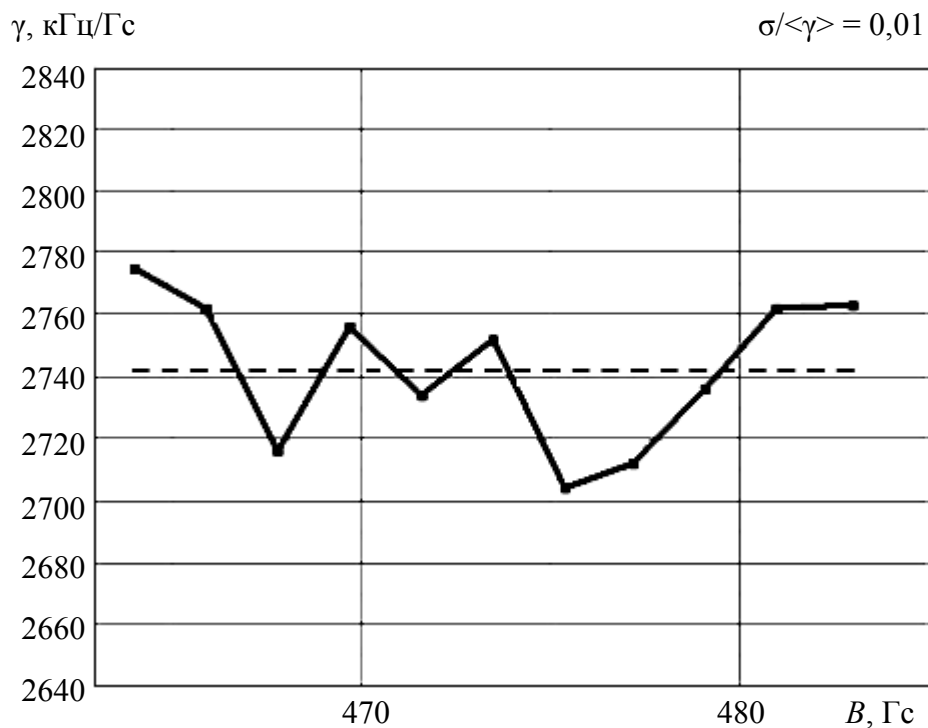


Рис. 6. Экспериментальная зависимость крутизны преобразования от внешнего магнитного поля

Такое непостоянство крутизны преобразования ГМПП не следует из классической теории, рассмотренной выше. Наиболее вероятное объяснение этого эффекта может состоять в том, что в электрической схеме СВЧ-генератора ГМПП наряду с основной цепью обратной связи существует еще несколько побочных цепей, что приводит к отклонению частоты генерации ферромагнитного резонанса в ЖИГ-резонаторе. Однако при этом относительное среднеквадратичное отклонение $\sigma/\langle\gamma\rangle$ составляет 0,01.

Для проверки наличия гистерезиса измерялись выходные частоты ГМПП как при увеличении, так и при уменьшении внешнего поля. Результаты представлены на рис. 7. Видно, что в пределах погрешности измерений гистерезис не наблюдается.

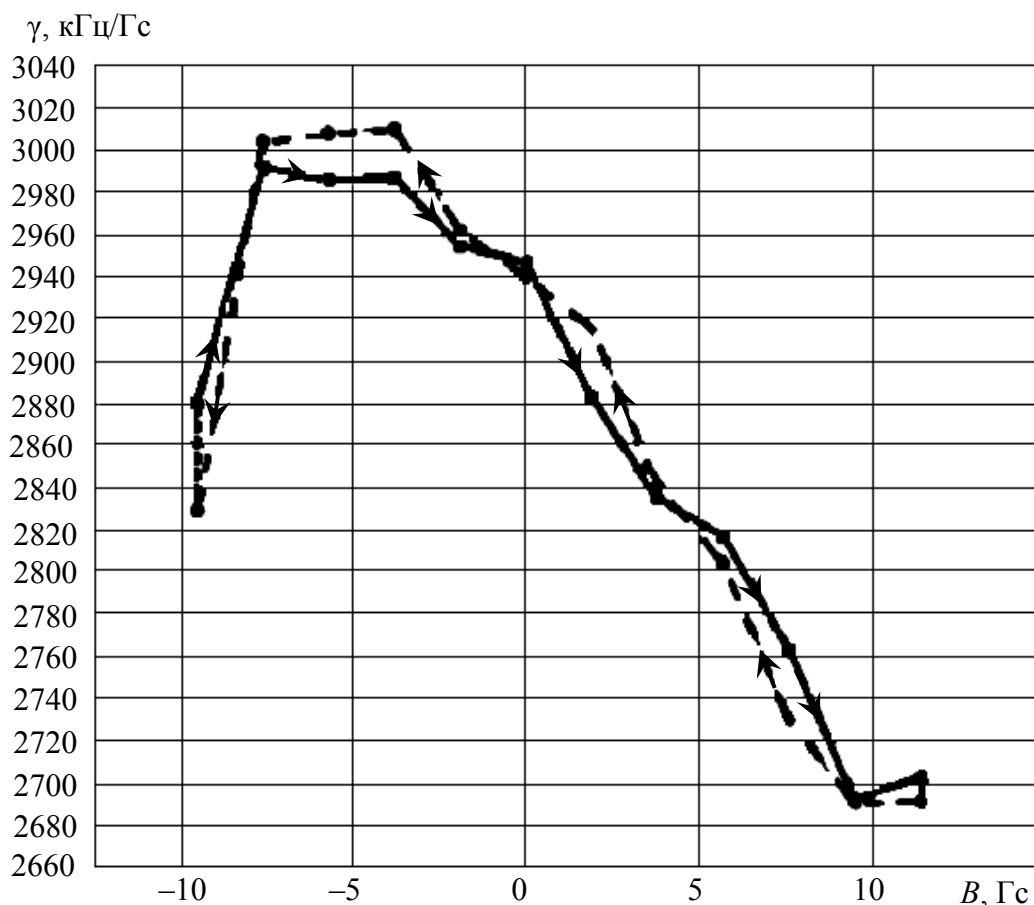


Рис. 7. Зависимость крутизны преобразования от магнитного поля при увеличении (сплошная линия) и уменьшении (пунктир) магнитного поля

Зависимость γ от B для случая изменения внешнего магнитного поля в более широком диапазоне значений ± 60 Гс показана на рис. 8. Такое уширение диапазона было получено за счет дополнительного поля внешнего постоянного магнита, размещенного над датчиком. Участки, где измерения не проводились, отмечены прямыми пунктирными линиями. Видно, что в таком широком диапазоне измеряемых полей отклонение от линейности не превышает 1%. Столь широкий диапазон измеряемых полей (± 60 Гс) явля-

ется существенным достоинством гетеромагнитного датчика, отличающим его от магниторезистивного [5]. При этом частота выходного сигнала гетеромагнитного датчика практически линейно зависит от магнитного поля.

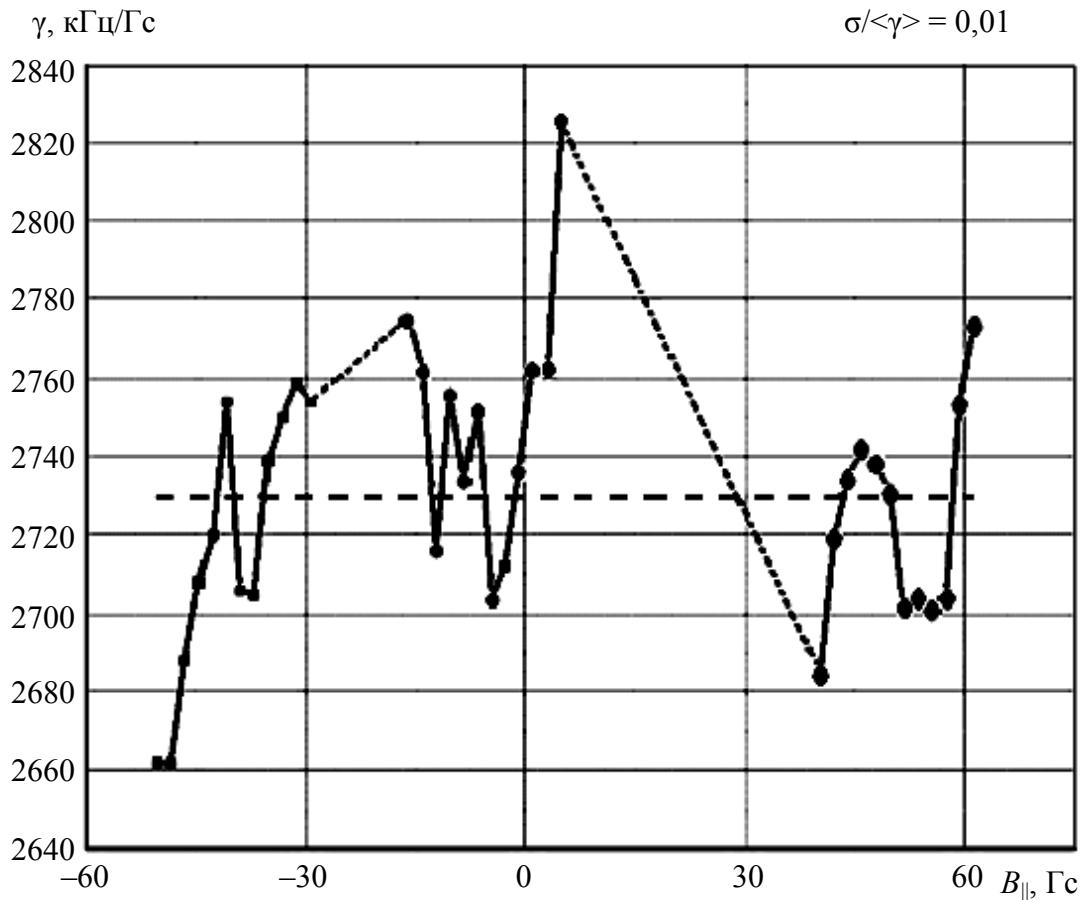


Рис. 8. Экспериментальная зависимость крутизны преобразования от внешнего магнитного поля в широком диапазоне значений

Для проверки вывода теории о том, что влияние поперечной по отношению к измерительной оси компоненты магнитного поля приводит к квадратичной зависимости частоты выходного сигнала ГМПД от величины внешнего поля, одноосный гетеромагнитный датчик в рамке с током был установлен так, что его измерительная ось стала перпендикулярна вектору магнитного поля в центре рамки. Полученные для этого случая зависимости частоты выходного сигнала f и поперечной крутизны преобразования $\frac{\Delta f}{\Delta B_{\perp}}$ представлены на рис. 9. Диапазон изменения магнитного поля, в котором нелинейность преобразования меньше 0,01, составляет ± 3 Гс, что соответствует теоретической оценке.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты подтверждают правильность теоретических выводов. При этом область линейного преобразования в пределах $\pm 0,01$ отклонения от линейности даже при наличии поперечной составляющей превышает аналогичные характеристики магниторезистивных датчиков [5].

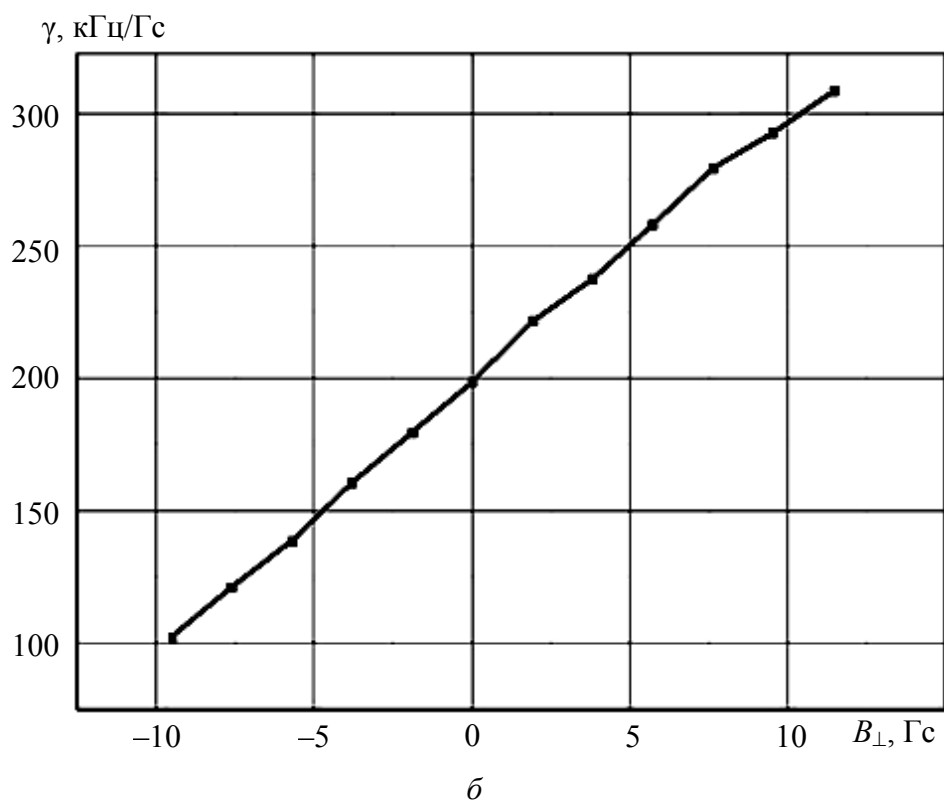
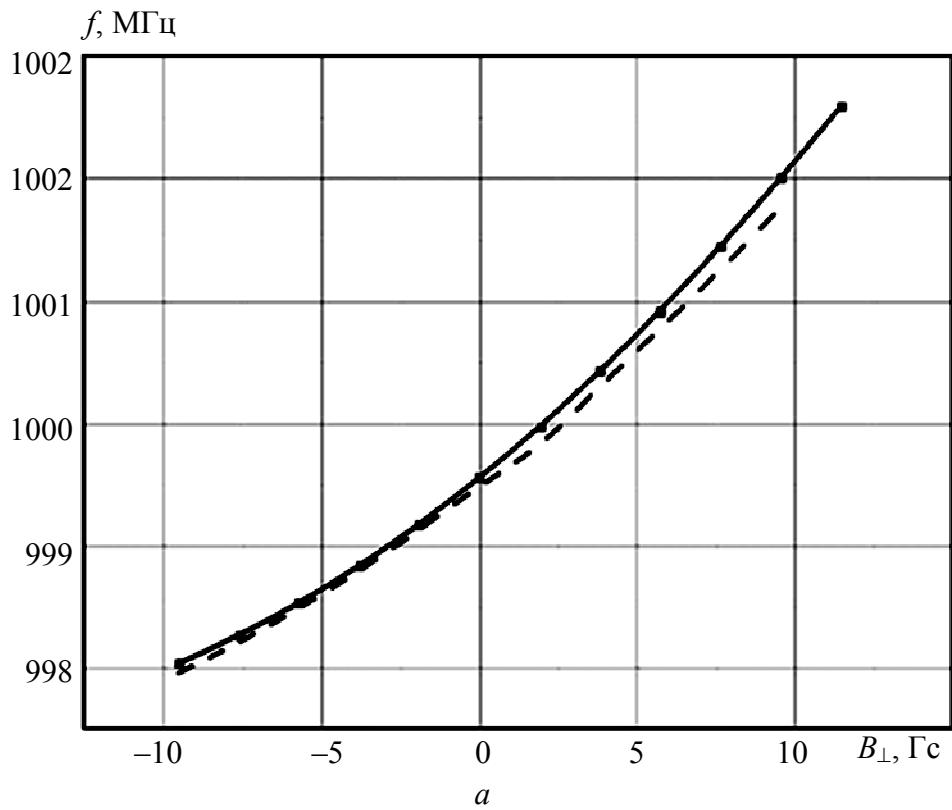


Рис. 9. Зависимость частоты выходного сигнала (а) и крутизны преобразования (б) от величины поперечной составляющей внешнего магнитного поля; пунктирная линия – результат расчета, сплошная – получена экспериментальным путем

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Стальмахов В. С., Игнатъев А. А.* Лекции по спиновым волнам. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1983. 181 с.
2. *Ваишковский А. В., Стальмахов В. С., Шараевский Ю. П.* Магнитостатические волны в электронике сверхвысоких частот. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1993. 320 с.
3. *Семевский Р. Б., Аверкиев В. В., Яроцкий В. А.* Специальная магнитометрия. СПб. : Наука, 2002. 228с.
4. *Игнатъев А. А., Куликов М. Н., Норов Ю. В., Сотов Л. С., Тугушов Д. В.* Экспериментальное исследование векторного магнитоэлектронного магнитометра // Гете-ромагнитная микроэлектроника : сб. докл. и ст. II и III науч.-техн. совещ. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2005. Вып. 2. С. 97–109.
5. *Маргелов А.* Магниторезистивные датчики положения компании Honeywell // CNIP News. 2005. № 3. С. 60–65.

УДК 537.613, 537.622.4, 537.621.4, 537.876.4

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И МОДЫ ПЛАНАРНОГО ФЕРРИТОВОГО ВОЛНОВОДА КОНЕЧНОЙ ШИРИНЫ

А. В. Садовников, К. В. Бубликов, С. Е. Шешукова

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: SadochnikovAV@gmail.com

В настоящей работе приводится детальное исследование процессов распространения волн в планарной ферритовой пленке конечной ширины. Предложена модификация методики численного моделирования электродинамических характеристик ферритового волновода конечной ширины, проведена оценка ее эффективности. Исследована эффективность расчета электродинамических характеристик планарных ферритовых структур при использовании различных граничных условий.

Ключевые слова: тонкая ферритовая пленка, поверхностная волна, ферритовый волновод конечной ширины, граничные условия, магнитные стенки, металлические стенки, метод конечных элементов.

Electrodynamical Properties and Modes of Finite width Planar Ferrite Waveguide

A. V. Sadochnikov, K. V. Bublikov, S. E. Sheshukova

The present work focuses on the detailed study of the processes of electromagnetic wave propagation in finite width planar ferrite film. The method of computation of electrodynamic characteristics of finite width ferrite waveguide is proposed. The efficiency of method is estimated. Different boundary conditions are used and compared.

Key words: ferrite film, surface wave, finite-width ferrite waveguide, boundary conditions, magnetic walls, electrical walls, finite element method.

В последнее время публикуется большое количество работ, посвященных как теоретическому, так и экспериментальному исследованию магнитных микро- и наноразмерных структур (см., например, [1]). Наиболее простой тип волноведущих структур, такой как планарный волновод конечной

ширины, может быть сформирован на основе тонких ферритовых пленок, например, из железо-иттриевого граната (ЖИГ). Такие структуры могут использоваться при разработке различных функциональных устройств обработки сигналов СВЧ-диапазона длин волн (ответвители, линии задержки, фильтры, фазовращатели), а также благодаря малому затуханию в ЖИГ-пленках для управления свойствами распространяющихся в них волн [2–6].

Электродинамические характеристики волноведущих структур, выполненных на основе ЖИГ, варьируются в широком диапазоне благодаря возможности управления рабочей частотой в этих устройствах внешним магнитным полем и существованию различных видов дисперсии для распространяющихся волн (поверхностных, объёмных прямых и обратных) [3]. Сегодня актуальной задачей является определение спектра и дисперсионных характеристик волн, распространяющихся в ЖИГ-волноводе. Одним из видов таких волн являются поверхностные, их распространение в регулярном ферритовом волноводе конечной ширины хорошо изучено [7], но многомодовый характер, присущий реальным структурам конечной ширины, таким как, например, планарный ферритовый волновод, требует более детального рассмотрения. Методы расчета дисперсии волн в ферритовых волноведущих структурах конечной ширины были рассмотрены в работах [8, 9]. Целью данной работы было изучить влияние различных граничных условий на модовый состав и электродинамические характеристики ферритовых волноведущих структур конечной ширины при численном моделировании методом конечных элементов.

Численное моделирование планарного волновода на основе ферритовой пленки

Для численного электродинамического моделирования был использован метод конечных элементов при решении волнового уравнения, полученного непосредственно из уравнений Максвелла [3, 4]. Рассмотрим методику расчета волноведущих структур [10], поперечные сечения которых представлены на рис. 1.

На границах расчетной области использовались магнитные и электрические (металл) стенки. При этом сверху и снизу структуры (см. рис. 1, *a*) находился металл, а боковые стенки (электрические либо магнитные) менялись для оценки влияния их типа на результат. При моделировании также имеется возможность задать идеально согласованные (поглощающие) слои *PML* (*Perfectly Matched Layer*) [11, 12], что позволит выполнить анализ открытых волноведущих структур. *PML* задаются таким образом, что волна, падающая на границу, слабо отражаясь, практически полностью проходит через нее, а затем поглощается вне расчетной области. Для анализа открытых структур исследуемая система окружается поглощающими слоями, в области которых искусственно вводится затухание, плавно нарастающее по мере удаления от границы моделируемой области вглубь

слоя. Идеально поглощающие слои можно рассматривать как некое анизотропное вещество, которого не существует в природе и которое имеет малый коэффициент отражения и большой коэффициент поглощения.

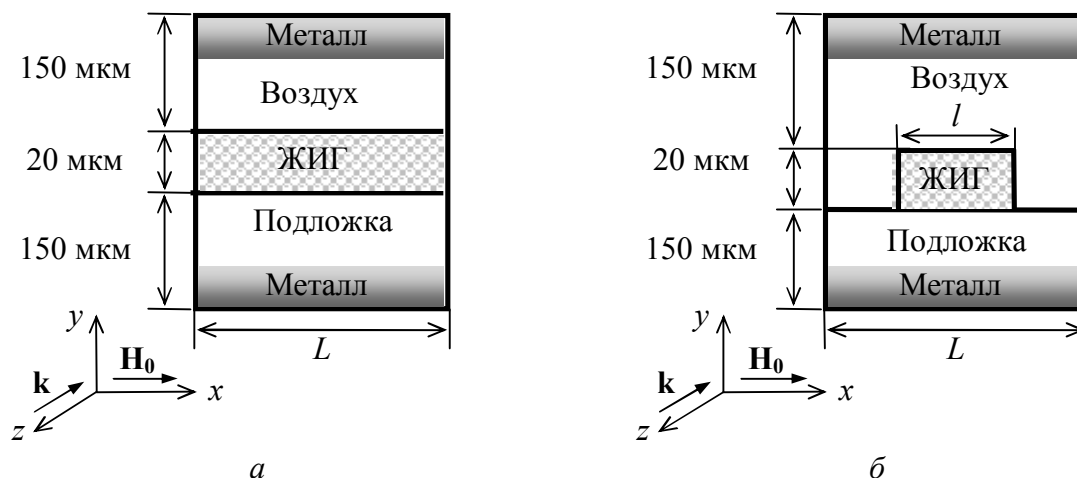


Рис. 1. Область численного моделирования (поперечное сечение волновода плоскостью), направления внешнего магнитного поля и распространения волны в структурах *а* и *б* (открытый волновод)

Как видно из рис. 1, волноведущая структура состоит из феррита и подложки из галлий-гадолиниевого граната, при этом использовались две конфигурации: торцы ЖИГ-плёнки упирались в границы расчетной области (см. рис. 1, *а*) либо между торцами плёнки и границами ячейки задавался воздушный зазор (см. рис. 1, *б*). Второй вариант волноведущей структуры будем называть открытой и считать, что она подходит для моделирования ЖИГ-пленки в открытом пространстве, так как магнитные и электрические поля сосредоточены главным образом в области пленки. Этот факт упрощает анализ открытых структур, поскольку использование *PML* затрудняет процедуру численного моделирования.

Анализируемая структура ориентирована во внешнем магнитном поле таким образом, что оно направлено вдоль оси x , при моделировании задавалось значение $H_0 = 300$ Э, ЖИГ-плёнка намагничивалась до насыщения $4M_0 = 1750$ Гс. Ширина расчетной области L для структуры, представленной на рис. 1, *а*, равнялась ширине ЖИГ-пленки и варьировалась при моделировании. Для структуры с рис.1, *б* появляется такой параметр, как ширина l пленки, меньшая по величине, чем L .

Для метода конечных элементов задавалась треугольная сетка с элементом характерного размера 70 мкм, при этом вблизи ЖИГ-пленки, где происходит локализация электромагнитного поля, проводилось уменьшение этого размера до 15 мкм.

Результаты, полученные при моделировании структуры, изображенной на рис. 1, *а*, с границами в виде магнитных стенок, представлены на рис. 2, 3. Анализ выполнялся для разных значений ширины L пленки. Результаты для значения $L = 60$ мкм (черные линии) и $L = 1000$ мкм (серые линии) представлены на рис. 2. Из полученных для каждого значения L дисперсионных

характеристик (см. рис. 2) хорошо виден многомодовый характер распространения волн в структуре конечной ширины. Видно, что при ширине пленки 1000 мкм наблюдается хорошее соответствие дисперсий ширинных мод поверхностной волны и поверхностной магнитоэлектрической волны (ПМСВ) Деймона–Эшбаха (магнитоэлектрическое приближение для безграничной ферритовой пленки) [13], при уменьшении параметра L происходила значительная трансформация дисперсионных кривых с их смещением в область больших волновых чисел k .

Результаты моделирования структуры, приведенной на рис. 1, а, с границами в виде металлических стенок показаны на рис. 4.

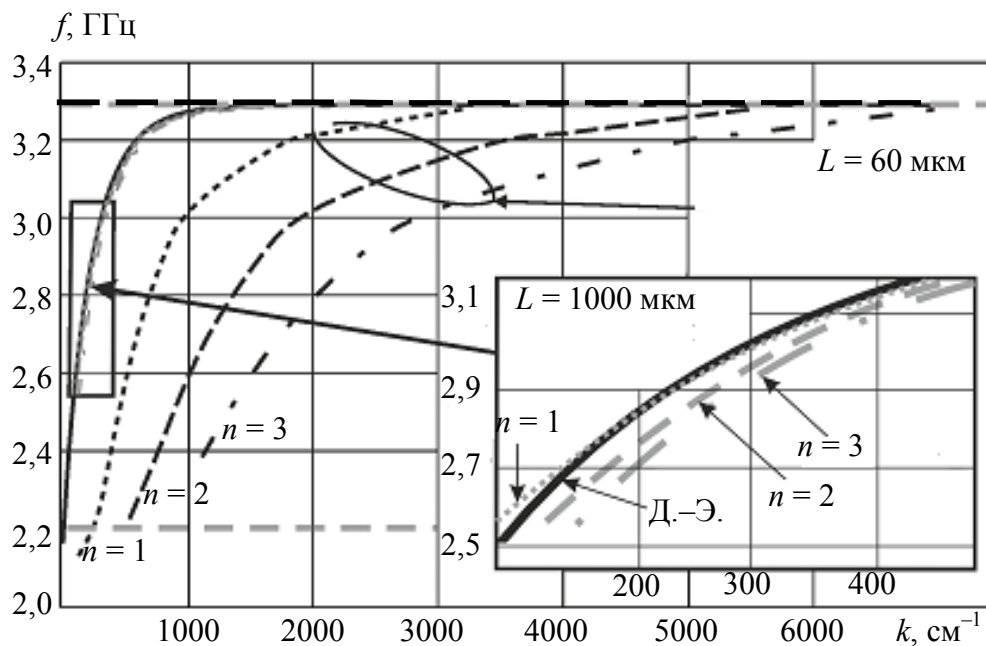


Рис. 2. Результаты численного моделирования (дисперсия волноведущей структуры (см. рис. 1, а) с магнитными стенками); Д.-Э. – волна Деймона–Эшбаха; горизонтальные серые штриховые линии – область существования ПМСВ. Стрелками указаны условные обозначение первых трех мод для $L = 60 \text{ мкм}$ и вставка с увеличенным масштабом первых трех мод при $L = 1000 \text{ мкм}$ и их условным обозначением

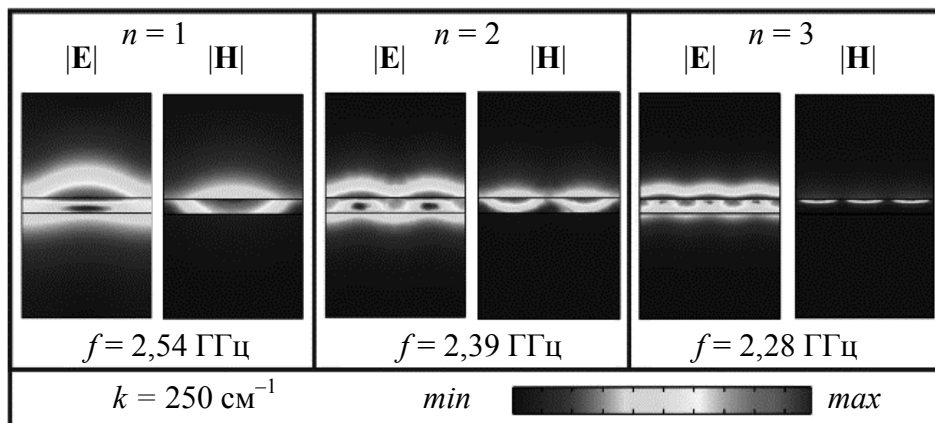


Рис. 3. Распределение электрических и магнитных полей в волноводе структуры (см. рис. 1, а) с магнитными стенками

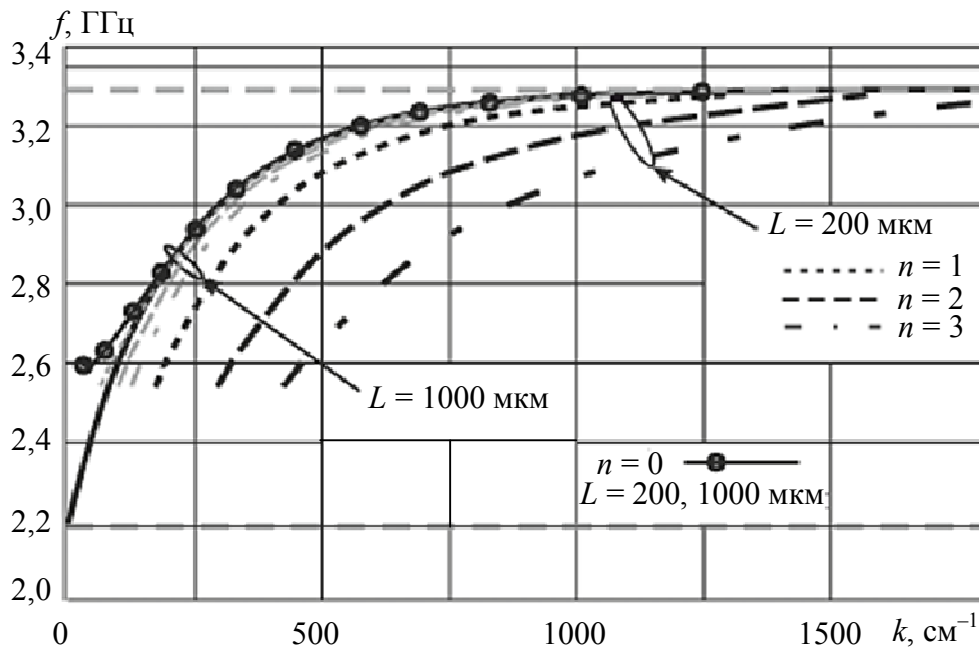


Рис. 4. Дисперсия в ЖИГ-волноводе (см. рис. 1, а) с электрическими стенками. Черная сплошная линия – волна Дэймона–Эшбаха; горизонтальными серыми штриховыми линиями отмечена область существования ПМСВ

Можно сделать вывод, что использование такого типа граничных условий на торцах ЖИГ-пленки позволяет рассчитать так называемую нулевую моду (на рис. 4 отмечена черными кружками), не зависящую от параметра L и имеющую однородную вдоль оси x конфигурацию электрического $|\mathbf{E}|$ и магнитного полей $|\mathbf{H}|$. Она соответствует волне Дэймона–Эшбаха в безграничном ферритовом слое. Разница при малых k вызвана влиянием верхней металлической границы при делокализации полей в этой частотной области, так как

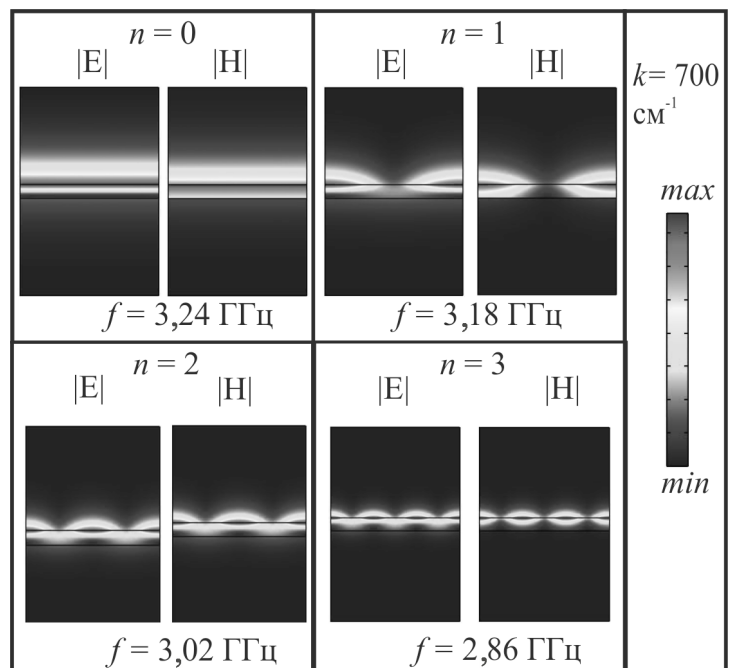


Рис. 5. Распределение электрических и магнитных полей в волноводе (см. рис. 1, а) с электрическими стенками

эта граница не может быть учтена в указанном приближении [13]. Распределение $|\mathbf{E}|$ и $|\mathbf{H}|$ в поперечном сечении волновода (см. рис. 1, а) с магнитными и электрическими стенками вдоль торцевых границ приведено на рис. 3, 5 (при значении $k = 700 \text{ см}^{-1}$).

Видно влияние граничных условий на распределение полей и, как следствие, на формирование многомодового характера распространения МСВ в ограниченной по ширине структуре. Очевидно, что с уменьшением L поперечная неоднородность полей возрастает, что и приводит в конечном итоге к трансформации дисперсионных характеристик мод поверхностной волны.

Результаты численного моделирования волновода второго типа (см. рис. 1, б) приведены на рис. 6–8.

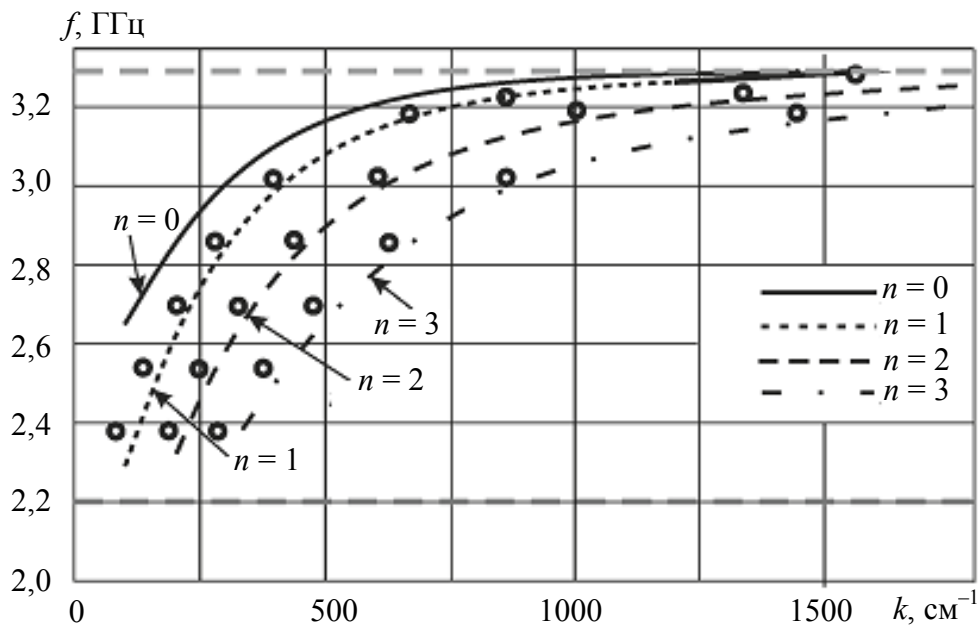


Рис. 6. Результаты моделирования волновода (см. рис. 1, б) с магнитными стенками. Сплошные линии – аналитические результаты [7]; кружки – результаты численного расчета. Горизонтальными серыми штриховыми линиями отмечена область существования ПМСВ

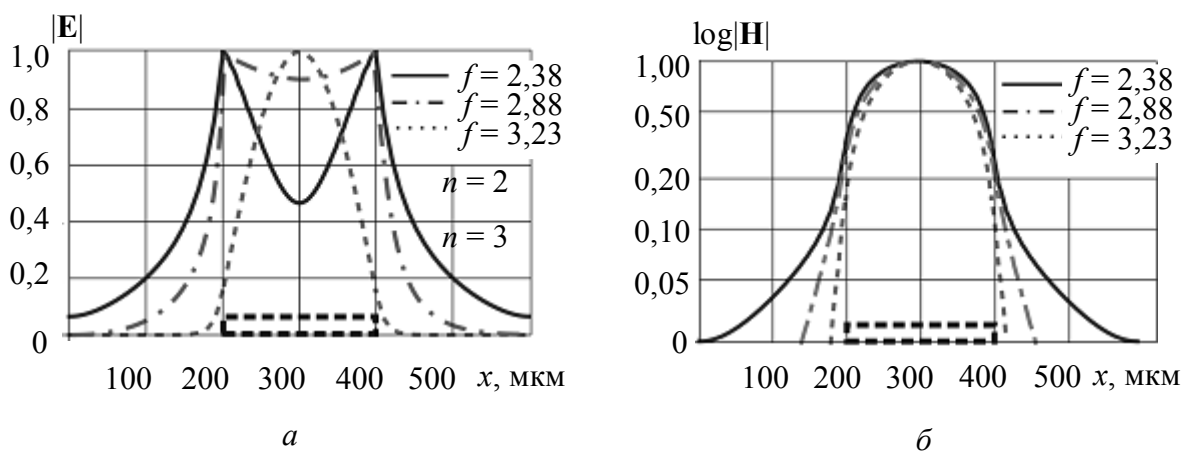


Рис. 7. Распределение электрического (а) и магнитного (б) полей внутри волновода (см. рис. 1, б) вдоль горизонтальной линии, проходящей через середину ЖИГ-пленки. Напряженность полей получена для разных частот первой моды

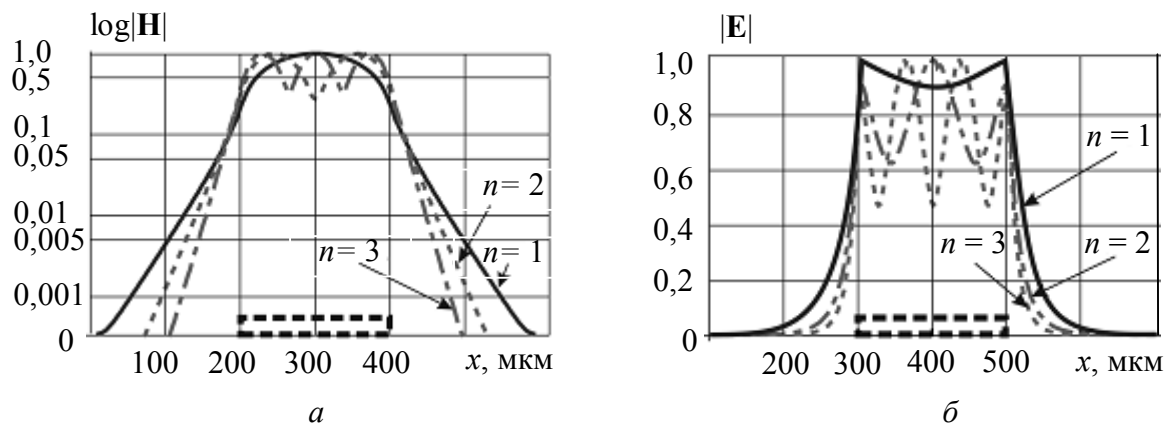


Рис. 8. Распределение электрического (*a*) и магнитного (*б*) полей внутри волновода (см. рис. 1, *б*) вдоль горизонтальной линии, проходящей через середину ЖИГ-пленки. Напряженность полей получена для разных мод при частоте 2,93 ГГц

Быстрое спадание $|E|$ и $|H|$ компонент вблизи границ (см. рис. 7, 8) демонстрирует возможность рассматривать эту структуру как открытую. Можно также сделать вывод, что локализация электромагнитных полей вблизи ЖИГ-пленки усиливается с ростом частоты и с увеличением номера волновой моды.

Оценка различия между аналитическими результатами [7] и численным моделированием структур с рис. 1, *a*, *б* с магнитными стенками приводится на рис. 9. Для оценки был введен параметр δ , определяемый соотношением

$$\delta(f) = \frac{|k_{\text{числ}} - k_{\text{теор}}|}{k_{\text{числ}}} \cdot 100\%,$$

где $k_{\text{числ}}$ и $k_{\text{теор}}$ – значения, полученные при численном моделировании и из аналитического соотношения [7] соответственно.

Разница между теорией и численным анализом для структуры рис. 1, *a* составляет менее 5%, а для структуры рис. 1, *б* – менее 1%. В обоих случаях максимальное различие достигается в области малых волновых чисел. Такие результаты вызваны тем, что [7] учитывает верхнюю металлическую границу, но не учитывает боковые граничные условия и расстояние до них. Можно сделать вывод о необходимости электродинамического анализа именно вблизи нижней частотной границы существования ПМСВ, когда конфигурация волноведущей структуры оказывает максимальное влияние на свойства волн.

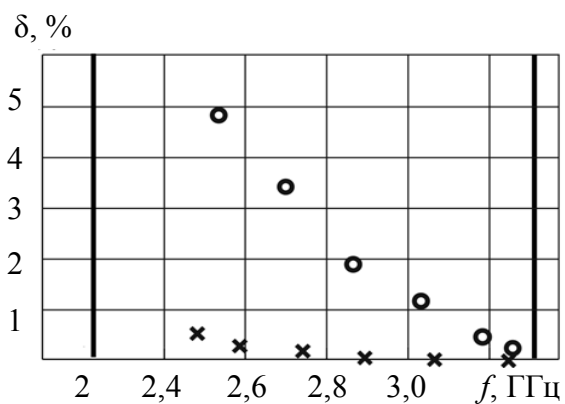


Рис. 9. Различие между аналитическими результатами [7] и численным анализом для структур, изображенных на рис. 1, *a* (крестики) и на рис. 1, *б* (кружки) с магнитными стенками. Вертикальными линиями отмечена область существования ПМСВ

Детальное изучение процессов распространения поверхностных волн в тонкопленочном планарном ферритовом волноводе было проведено с помощью численного моделирования методом конечных элементов. Из результатов анализа видно, что уменьшение ширины ЖИГ-пленки приводит к увеличению волнового числа распространяющихся ширинных мод при фиксированной частоте. Распределения электрического и магнитного полей объясняют причину расхождения результатов с магнитостатическим приближением, которое наиболее сильно проявляется в области малых волновых чисел ($k \sim 100 \text{ см}^{-1}$) при делокализации полей у ЖИГ-пленки, которая зависит от частоты и номера моды.

Проведена оценка эффективности моделирования методом конечных элементов электродинамических характеристик планарных ферритовых структур при различных граничных условиях (электрические стенки, магнитные стенки, *PML*). Исследовано влияние границ на модовый состав и электродинамические характеристики ЖИГ-волноводов конечной ширины. Выявлено, что электрические стенки позволяют проводить анализ волн в безграничной пленке, в остальном результаты совпадают качественно и количественно.

Очевидно, что при уменьшении размеров устройств требуются все более точные методы анализа распространения в них волн, учитывающие ширину структуры, границы и нагрузки. Распределение полей в расчетной области и спадание $|\mathbf{E}|$ - и $|\mathbf{H}|$ -компонент, а также возможный учет затухания мод поверхностной волны в электродинамической задаче может найти применение при расчете таких структур, как латерально связанные ферритовые пленки.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 13-07-12409, 13-02-00732, 14-02-00976 А), президентской программы поддержки ведущих научных школ РФ (проект НШ-828.2014.2), гранта правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования (проект 11.G34.31.0030) и стипендии Президента РФ (СП-1551.2013.5).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Krawczyk M., Grundler D.* Review and prospects of magnonic crystals and devices with reprogrammable band structure // *J. Phys. : Condens. Matter.* 2014. Vol. 26, № 12. P. 2–33.
2. *Demokritov S. O., Slavin A. N.* Magnonics. From fundamentals to applications. N. Y. : Springer, 2013. 262 p.
3. *Вашковский А. В., Стальмахов В. С., Шараевский Ю. П.* Магнитостатические волны в электронике сверхвысоких частот. Саратов : Изд-во. Сарат. ун-та, 1994. 311 с.
4. *Kruglyak V. V., Demokritov S. O., Grundler D.* Magnonics // *J. of Phys. D : Applied Physics.* 2010. Vol. 43, № 26. P. 2–15.
5. *Садовников А. В., Рожнёв А. Г., Шешукова С. Е.* Невзаимность поверхностных магнитостатических волн в периодической ферромагнитной структуре со сложным поперечным сечением и несимметричной нагрузкой // *Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2012. Вып. 13 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности.* С. 102–107.

6. Садовников А. В., Бубликов К. В., Гришин С. В. Управление дисперсией медленных волн в произвольно намагниченном ферритовом слое // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2013. Вып. 15 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. С. 50–57.
7. O’Keeffe T. W., Patterson R. W. Magnetostatic surface-wave propagation in finite samples // J. Appl. Phys. 1973. Vol. 49, № 9. P. 4886–4995.
8. Васильев И. В., Ковалев С. И. Электродинамическая теория волноводных структур с магнитостатическими волнами // Радиотехника и электроника. 1993. № 12. С. 2174–2185.
9. Vasil’ev I. V., Kovalev S. I. Electrodynamics theory of finite magnetostatic waveguides // IEEE Trans. On MTT. 1994. Vol. 42, № 7. P. 1238–1245.
10. Садовников А. В., Рожнёв А. Г. Моделирование распространения магнитостатических волн в одномерных магнитных кристаллах // Изв. высш. учеб. завед. Прикладная нелинейная динамика. 2012. Т. 20, № 1. С. 143–159.
11. Berenger J. A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves // J. of Comp. Physics. 1994. Vol. 114, № 2. P. 185–200.
12. Mittra R., Pekel U. A new look at the perfectly matched layer (PML) concept for the reflectionless absorption of electromagnetic waves // IEEE Microwave and Guided Wave Letters. 1995. Vol. 5, № 3. P. 84–86.
13. Damon R. W., Eshbach J. R. Magnetostatic modes of a ferromagnet slab // J. Phys. Chem. Solids. 1961. Vol. 19. P. 308–320.

УДК 616.15-073-076.3: 535.853: 519.21

ОКОННОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРОЗРАЧНОЙ СРЕДЫ С ЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

Н. Г. Олейник, В. А. Павлючук

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail : PavluchukVA@yandex.ru

Проведен спектральный анализ средней мощности распределения яркости в цифровом изображении прозрачной среды с зернистой структурой (мазка крови) на основе оконного преобразования Фурье. По сравнению с классическим преобразованием оно является более эффективным для нестационарных сигналов и процессов, в том числе цифровых изображений. Показано, что можно отсеивать высокочастотные шумы, выбирая оптимальную ширину окна.

Ключевые слова: цифровая обработка изображений, частотно-временное представление функций, нестационарный сигнал, помехи, мазок крови.

Windowed Fourier Transform of Digital Imaging for Transparent Environment with Granular Structure

N. G. Oleynik, V. A. Pavlyuchuk

We analyzed the power spectra for brightness distribution within digital imaging of transparent environment with granular structure (blood film). This was based on windowed Fourier transform, which, in comparison to the standard Fourier transform, is considered to be more efficient for non-stationary signals including digital signals and imaging. We demonstrated that it is possible to eliminate the high-frequency noises and to choose the optimal window wideness.

Key words: digital imaging processing, time-frequency function representation, non-stationary signal, noises, blood film.

Для оценки зернистости прозрачных сред с зернистой структурой ранее был разработан микрофотометрический метод [1], основанный на том, что распределение светового потока, прошедшего через образец среды при его равномерном освещении, несёт достаточно полную информацию о структуре образца.

В качестве такой среды в работах [2–4] рассматривается мазок крови, структура которого представляет собой набор форменных элементов (зерен), имеющих разные размеры, обладающих неодинаковой степенью прозрачности и хаотично расположенных в слое мазка. В этом случае распределение на плоскости коэффициента пропускания средой светового потока можно рассматривать как случайное поле $T(x, y)$.

Усовершенствованный микрофотометрический метод [5] предполагает использование вместо оптического аналогового сканирующего микрофотометра цифрового сканера с весьма высокой – более 10^4 dpi – разрешающей способностью и последующую обработку полученного при электронном сканировании цифрового изображения прозрачной среды с зернистой структурой. Этот метод даёт возможность проводить экспресс-анализ мазков крови и позволяет, наряду с другими методами, получить дополнительную информацию о параметрах клеток крови.

Полученное после сканирования цифровое изображение слоя среды (в нашем случае – мазка крови) можно представить в виде двумерной матрицы, содержащей квантованные безразмерные значения яркости, например, с помощью встроенных функций математической системы *MathCAD* (функция *READ_HLS_LIGHT* выдает матрицу, представляющую *HLS*-компоненты яркости). Все значения яркости меняются от 0 до 255. Таким образом, происходит перевод случайного поля $T(x, y)$ в двумерную матрицу яркости $M_{i,j}$, которая удобна для дискретных частотно-временных представлений и преобразований сигналов.

Цифровое изображение слоя среды (мазка крови) в оттенках серого представлено на рис. 1. Оно содержит и случайные помехи, вызванные неравномерностью распределения слоя среды на поверхности стеклянной подложки, а также неидеальной поверхностью подложки (царапины, микротрещины и т. д.). Поэтому пространственное распределение коэффициента пропускания и, следовательно, распределение яркости изображения следует рассматривать как неоднородное (нестационарное по координатам) случайное поле.

Традиционный аппарат представления сложных сигналов с помощью преобразования Фурье является малоэффективным для функций с локальными особенностями, нестационарных процессов, в том числе и для цифровых изображений [6].

Это связано с тем, что преобразование Фурье отображает глобальные сведения о частотах исследуемого сигнала и не дает представления о его локальных свойствах при быстрых временных изменениях спектрального состава, так как в частотной области происходит их «размазывание» по всему частотному диапазону спектра.

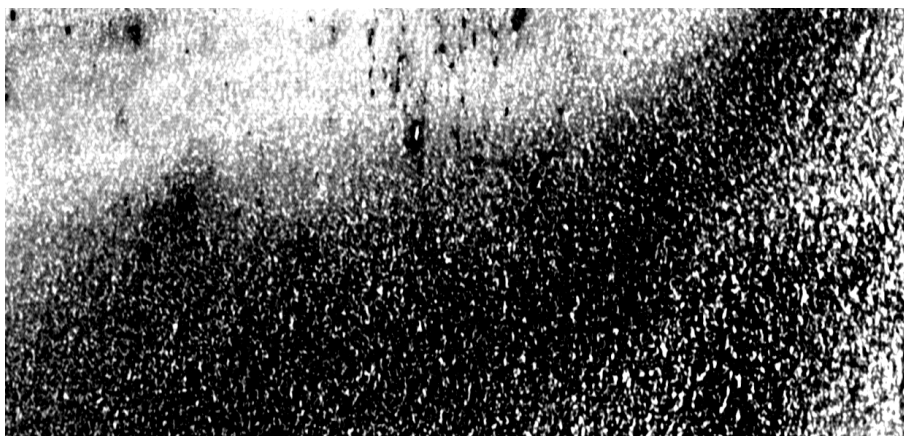


Рис. 1. Участок цифрового изображения мазка крови

Поэтому при обработке цифрового изображения объектов используют другие методы спектрального анализа, позволяющие с высокой степенью точности представлять спектры сложных сигналов. К таким современным методам частотно-временных представлений и преобразований сигналов можно отнести, в частности, оконное преобразование Фурье [6].

Оконное преобразование выполняется в соответствии с выражением

$$S(\omega) = \int s(x) w(x-b) \exp(-j\omega x) dx,$$

что позволяет представлять результат преобразования в виде функции двух переменных – частоты и положения окна. Функция $w(x-b)$ представляет собой функцию сдвига окна преобразования по координате x .

Результатом оконного преобразования является семейство спектров, отображающее изменение спектра сигнала по интервалам сдвига окна преобразования.

В качестве окна преобразования используют как простейшее прямоугольное окно (функция $w(x-b)$ в пределах окна равна 1, а за его границами – 0), так и специальные весовые окна (типа трапеции, окно Хемминга и т. д.), обеспечивающие малые искажения спектра за счет нейтрализации явления Гиббса на границах оконных отрезков сигналов. При этом для каждого положения окна на оси x вычисляется свой комплексный спектр, причем в пределах окна сигнал считается стационарным.

Эффективная ширина b оконной функции, как правило, сохраняется постоянной по всему интервалу наблюдения сигнала и обычно устанавливается соизмеримой с интервалом стационарности сигнала. Она задает координатную разрешающую способность оконного преобразования.

В нашем случае при выборе ширины окна исходили из следующих факторов. Во-первых, для пространственного распределения коэффициента пропускания света мазком крови $T(x, y)$, которое рассматривается как случайное поле, минимальный размер окна можно оценить по интервалу корреляции. В работах [3, 4] была рассмотрена двумерная модель случайного составного процесса, которая связывает вероятностные характеристики, в

частности корреляционную функцию $K(\tau)$ этого поля с параметрами среды, такими как размер и коэффициент прозрачности клеток крови, их число в заданном объеме среды. Из результатов, представленных в работе [4] следует, что интервал корреляции не может быть больше 10 мкм.

Во-вторых, частотная разрешающая способность обратно пропорциональна координатной разрешающей способности. При ширине оконной функции, равной b , частотная разрешающая способность определяется значением $\Delta f = 1/b$. Чтобы получить достаточное разрешение по частоте, необходимо иметь в виду, что основная часть спектра Винера мазков крови лежит в диапазоне пространственных частот 100–200 мм^{-1} [3].

Учитывая сказанное выше, а также разрешающую способность сканера [7], ширина окна может быть выбрана в пределах от 14 до 29 pix .

С помощью функции оконного спектрального анализа *spectrum* системы *MathCAD* был обработан по строкам участок изображения мазка крови (рис. 2), так как эта функция позволяет рассчитывать среднюю спектральную мощность сигнала только в одномерном случае.



Рис. 2. Участок изображения мазка крови размером 490×2900 pix

Как показали результаты обработки, постоянная составляющая средней мощности зависит от ширины окна и может быть на порядок больше остальных значений. Поэтому она исключена на рис. 3, где для иллюстрации представлены спектры средней мощности коэффициента пропускания $S_i(f)$ для различных строк i матрицы яркости, причем ширина прямоугольного окна составляла 145 pix . При такой ширине особенно заметно различие в поведении спектров для разных строк. Объясняется это тем, что низкочастотные составляющие, играющие здесь главную роль, в основном определяются шумом, вызванным неоднородностью слоя, и в меньшей степени – шумом подложки. Спектр $S_c(f)$, усредненный по 15 строкам матрицы, также представлен на рис. 3.

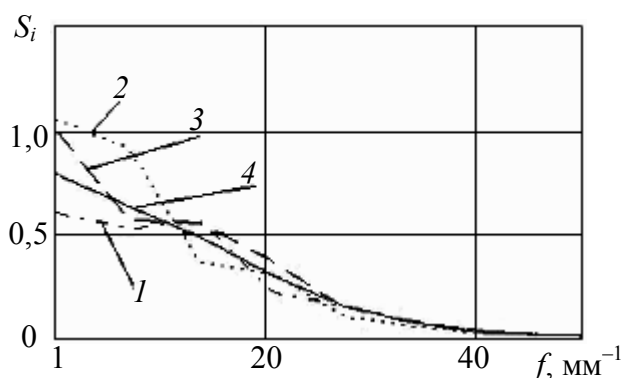


Рис. 3. Спектры средней мощности коэффициента пропускания мазка крови: 1 – $i = 20$; 2 – $i = 120$; 3 – $i = 200$; 4 – S_c

Относительный спектр $Sr(f)$, также усредненный по 15 строкам матрицы, но полученный при ширине окна 14 *pix*, изображен на рис. 4 (кривая 1). Как уже отмечалось, постоянная составляющая средней мощности достаточно велика (при этом окне она отличается от остальных на два порядка). Поэтому все значения спектра нормированы на значение его первой составляющей.

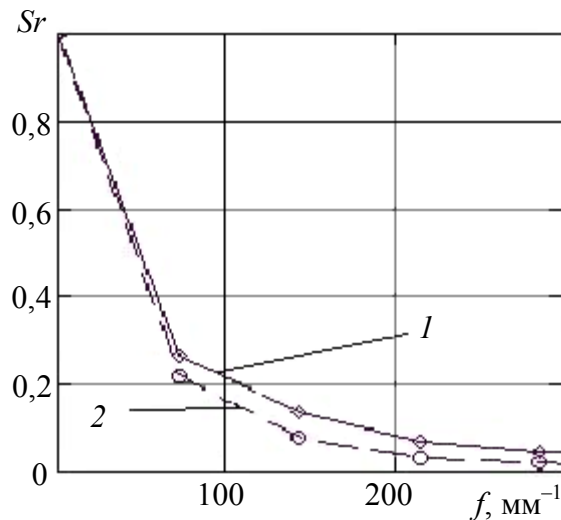


Рис. 4. Относительные спектры средней мощности коэффициента пропускания: 1 – эксперимент; 2 – расчет

Кривая 2 (см. рис. 4) представляет такой же относительный спектр, но рассчитанный на основе указанной выше теоретической вероятностной модели составного процесса, которая была использована для расчета спектра Винера (спектра средней мощности) применительно к эритроцитам, составляющим основную массу форменных элементов крови [3]. Эта модель связывает спектр Винера коэффициента пропускания света мазком крови с конкретной структурой мазка, задаваемой формой, размером, коэффициентом прозрачности клеток крови, их числом. Перечисленные параметры клеток могут являться случайными величинами.

При расчете предполагалось, что проекцией эритроцита является круг с фиксированным диаметром 7,2 мкм и постоянным коэффициентом прозрачности $\alpha = 0,3$, а среднее число клеток на единицу площади $L = 0,1$. При таких параметрах спектры (кривые 1 и 2 на рис.4) наиболее близки друг к другу. Это позволяет утверждать, что заданная ширина окна была выбрана правильно, охвачены наиболее значимые пространственные частоты, характерные для данного мазка крови.

Таким образом, с помощью оконного спектрального анализа средней мощности можно отсеивать высокочастотные составляющие с малым уровнем мощности, выбирая оптимальную ширину окна. Однако чтобы избавиться от низкочастотных помех, необходимо использовать другие методы представления и преобразования нестационарных сигналов и полей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вендровский К. В., Вейцман А. И. Фотографическая структурометрия. М. : Искусство, 1982. 270 с.
2. Климов В. А., Коблова Н. Г., Олейник Н. Г., Павлючук В. А., Харитонов И. Б. Микрофотометрическая установка для измерения спектров Винера мазка крови // Биомедицинская радиоэлектроника. 1999. № 4. С. 51–54.
3. Климов В. А., Коблова Н. Г., Кольцова М. В., Олейник Н. Г., Павлючук В. А., Харитонов И. Б. Спектр Винера пространственного распределения коэффициента пропускания света мазком крови // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2006. № 5. С. 9–14.
4. Олейник Н. Г., Павлючук В. А., Харитонов И. Б. Моментные функции пространственного распределения коэффициента пропускания света мазком крови // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2008. № 11. С. 49–53.
5. Коблова Н. Г., Олейник Н. Г., Павлючук В. А., Юсова А. С. Применение электронного сканирования для экспресс-анализа вероятностных характеристик мазков крови // Актуальные проблемы электронного приборостроения : материалы Междунар. науч.-техн. конф. Саратов : СГТУ, 2008. С. 459–465.
6. Дьяконов В. П. Вейвлеты. От теории к практике. М. : СОЛОН-Р, 2002. 448 с.
7. Олейник Н. Г., Павлючук В. А. О возможности анализа крови по цифровому изображению мазка // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та. 2013. Вып. 14 : Гетеромагнитная микро - и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. С. 66–72.

УДК 539.182/.184, 519.677

АЛГОРИТМЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СПЕКТРОВ РЕЗОНАНСНОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ МОЛЕКУЛ ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

**М. К. Березин, М. Л. Чернавина, Г. Н. Тен, А. В. Новоселова,
В. И. Березин, А. Ю. Пономарев, К. В. Березин**

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: nusena1975@mail.ru, berezinkv@yandex.ru

Описан программный комплекс для моделирования спектров флуоресценции с индивидуальных колебательных уровней возбужденных электронных состояний при резонансном лазерном возбуждении.

Ключевые слова: эффект Герцберга–Теллера, вибронное взаимодействие, флуоресценция, матрица Душинского, спектр поглощения, интегралы Франка–Кондона.

Algorithms of Numerical Simulation of the Molecular Resonance Fluorescence Spectra at Laser Excitation

**M. K. Berezin, M. L. Chernavina, G. N. Ten, A. V. Novoselova,
V. I. Berezin, A. Yu. Ponomarev, K. V. Berezin**

A program for fluorescence spectra modeling from selected vibrational levels (SVL (selected vibrational level)-levels) of the excited electronic states with resonant laser excitation is described.

Key words: Herzberg–Teller effect, vibronic interaction, fluorescence Duschinsky matrix, absorption spectra, Franck–Condon integrals.

Расчет интегралов Франка–Кондона (ИФК) для переходов с уровня тона и обертона выполнялся с применением их аналитических представлений через элементы матриц A , B , C , D и E [1–12]. Методика их расчета основана на построении комплекса квантовых моделей молекул в основном и возбужденном электронных состояниях с применением методов *ab initio*, теории функционала плотности (*DFT*-методов) и современных методов решения задач молекулярной динамики, таких как масштабирование квантово-механических силовых полей, использование шкал для масштабирования частот, вычисление эффективных силовых полей, оценка ангармонических эффектов и др. Моделирование спектров *selected vibrational levels (SVL)* флуоресценции выполняется в адиабатическом приближении и основано на вычислении интегралов Франка–Кондона с учетом эффекта «перепутывания» нормальных координат при электронном возбуждении – эффекта Душинского. Результаты моделирования при необходимости в дальнейшем могут быть скорректированы с учетом эффектов Герцберга–Теллера и неадиабатичности. Целью исследования является рассмотрение динамики многоуровневых квантовых систем (молекул) при взаимодействии вещества с электромагнитным излучением различной природы (в частности, с когерентным лазерным излучением).

Для алгоритмизации расчета интенсивностей в спектрах резонансной флуоресценции было создано 13 модулей для расчета ИФК. С целью ускорения вычислительного процесса были получены более простые выражения для общих членов вложенных сумм, используемых для расчета ИФК с уровня тона $SVLKN$ и обертона $SVLKN$ (K и N – обозначение типа ИФК):

$$SVL1 = \sqrt{u1!v1!} \frac{A_{ii}^{s1} C_{jj}^{t1} E_{ij}^{m11}}{s1!t1!m1!} \frac{B_i^{\alpha'_1} B_j^{\alpha''_1}}{|\alpha'_1|!|\alpha''_1|}, \quad (1)$$

$$SVL2 = \sqrt{u1!v1!v2!} \frac{A_{ii}^{s1} C_{jj}^{t1} C_{ff}^{t2} E_{ji}^{m11} E_{fi}^{m12} (2C_{jf})^{k12}}{s1!t1!m1!} \frac{B_i^{\alpha'_1} D_j^{\alpha''_1} D_f^{\alpha''_2}}{|\alpha'_1|!|\alpha''_1|!|\alpha''_2|!}, \quad (2)$$

где $u1, u2, u3, u4$ – квантовые числа осцилляторов возбужденного электронного состояния; $v1, v2, v3, v4$ – квантовые числа осцилляторов основного электронного состояния; $\alpha'_1 = u1 - 2s1 - m1$; $\alpha''_1 = v1 - 2t1 - m1$; $\alpha'_2 = u1 - 2s1 - m1 - m2$; $\alpha''_2 = v1 - 2t1 - k12 - m1$; $\alpha''_3 = v2 - 2t2 - k12 - m2$;

$$SVL21 = \sqrt{u1!v1!v2!v3!} \frac{A_{ii}^{s1} C_{jj}^{t1} C_{ff}^{t2} C_{gg}^{t3} E_{ji}^{m11} E_{fi}^{m12} E_{gi}^{m13} (2C_{jf})^{k12} (2C_{jg})^{k13} (2C_{fg})^{k23}}{s1!t1!m1!} \times$$

$$\times \frac{B_i^{\alpha'_1} D_j^{\alpha''_1} D_f^{\alpha''_2} D_g^{\alpha''_3}}{|\alpha'_1|!|\alpha''_1|!|\alpha''_2|!|\alpha''_3|!}, \quad (3)$$

где $\alpha'_1 = u1 - 2s1 - m1 - m2 - m3$; $\alpha''_2 = v2 - 2t2 - k12 - k23 - m2$;
 $\alpha''_1 = v1 - 2t1 - k12 - k13 - m1$; $\alpha''_3 = v3 - 2t3 - k13 - k23 - m3$;

$$\begin{aligned}
SVL31 = & \sqrt{u1!v1!v2!v3!v4!} \times \\
& \times \frac{A_{ii}^{s1} C_{jj}^{t1} C_{ff}^{t2} C_{gg}^{t3} C_{rr}^{t4} E_{ji}^{m11} E_{fi}^{m12} E_{gi}^{m13} E_{ri}^{m14} (2C_{jf})^{k12} (2C_{jg})^{k13} (2C_{jr})^{k14} (2C_{fg})^{k23}}{s1!t1!t2!t3!t4!m1!m1!m1!m1!m1!m1!m1!k12!k13!k14!k23!} \times \\
& \times \frac{B_i^{\alpha'_1} D_j^{\alpha'_2} D_f^{\alpha'_3} D_g^{\alpha'_4} D_r^{\alpha'_5}}{|\alpha'_1|!|\alpha'_2|!|\alpha'_3|!|\alpha'_4|!|\alpha'_5|!}, \tag{4}
\end{aligned}$$

где $\alpha'_1 = u1 - 2s1 - m11 - m12 - m13 - m14$; $\alpha'_2 = v2 - 2t2 - k12 - k23 - k24 - m12$;
 $\alpha'_3 = v1 - 2t1 - k12 - k13 - k14 - m11$; $\alpha'_4 = v3 - 2t3 - k13 - k23 - k34 - m13$;
 $\alpha'_5 = v4 - 2t4 - k14 - k24 - k34 - m14$.

Дополнительно для исключения повторов с помощью неравенств были наложены ограничения на пределы изменений колебательных квантовых чисел ν в основном электронном состоянии.

Расчет интенсивностей вибронных полос с уровня тона и обертона

Для управления модулями была введена задающая матрица-столбец $NS11$, которая определяет тип вибронного перехода (рис. 1).

Если в задающей матрице $NS11$ указана единица, то соответствующий модуль реализует расчет, если ноль – то нет. Допустимо любое сочетание 0 и 1. Справа от столбца $NS11$ указаны типы вибронных переходов, для которых вычисляются интенсивности в каждом модуле, и неравенства для квантовых чисел, которые исключают повторы для частот вибронных переходов. В типах переходов для каждого квантового числа ν в скобках указано его предельное значение, вшитое в программу. По желанию пользователя указанные значения могут быть изменены. Например, первый модуль рассчитывает интенсивности прогрессий вплоть до 11-го члена включительно.

При большом числе нормальных колебаний наибольшие затраты машинного времени требуются для модулей 8–13, так как в них рассчитывается большое число сочетаний частот нормальных колебаний в комбинационных переходах. Степень фотонности (сумма квантовых чисел) для таких переходов уменьшена, чтобы расчет выполнялся в реальном времени. Удобство задающей матрицы $NS11$ (табл. 1) состоит в том, что процесс моделирования можно начинать, например, с исследований прогрессий. В этом случае используется только первый модуль, и вычислительный процесс не требует больших затрат машинного времени.

Задающая матрица-столбец $NS11$, определяющая тип вибронного перехода

$NS11$	Тип перехода	Неравенства для квантовых чисел
1	$1 - u1(i) \dots v1(11)$	$v1$
0	$2 - u1(i) \dots v1(5) v2(5)$	$v1 = v2$
0	$3 - u1(i) \dots v1(4) v2(9)$	$v1 < v2$
0	$4 - u1(i) \dots v1(2) v2(2) v3(7)$	$v1 = v2 < v3$
0	$5 - u1(i) \dots v1(2) v2(3) v3(6)$	$v1 < v2 < v3$
0	$6 - u1(i) \dots v1(3) v2(3) v3(3)$	$v1 = v2 = v3$
0	$7 - u1(i) \dots v1(4) v2(4) v3(2)$	$v1 = v2 > v3$
0	$8 - u1(i) \dots v1(2) v2(2) v3(2) v4(2)$	$v1 = v2 = v3 = v4$
0	$9 - u1(i) \dots v1(1) v2(1) v3(1) v4(5)$	$v1 = v2 = v3 < v4$
0	$10 - u1(i) \dots v1(1) v2(1) v3(3) v4(3)$	$v1 = v2 < v3 = v4$
0	$11 - u1(i) \dots v1(1) v2(1) v3(2) v4(4)$	$v1 = v2 < v3 < v4$
0	$12 - u1(i) \dots v1(1) v2(2) v3(2) v4(1)$	$v1 = v2 = v3 > v4$
0	$13 - u1(i) \dots v1(1) v2(2) v3(2) v4(3)$	$v1 < v2 = v3 < v4$

Для сравнения с экспериментом предусмотрено выделение из рассчитанного вибронного спектра отдельных линий, например линий прогрессии с помощью матрицы

$$NU1 = \begin{pmatrix} 31337 & 31336,9 & 1,4 \\ 30660 & 30659,9 & 0,9 \\ 29983 & 29982,9 & 0,36 \\ 29306 & 29305,9 & 0,17 \\ 28629 & 28628,9 & 0,04 \end{pmatrix},$$

где элементы $NU1_{s,1}$ и $NU1_{s,2}$ матрицы $NU1$ задают частотный интервал, в котором лежит частота ν .

В первых двух столбцах матрицы $NU1$ указаны границы узких интервалов, в пределах которых лежат линии прогрессии. Матрица заполняется согласно неравенству для частот (см. табл. 1). В третьем столбце – опытные интенсивности. Матрица $NU1$ задается после проведения расчета интенсивностей вибронных полос, на основании которого заполняются первые два столбца этой матрицы. При последующем моделировании на основании матрицы $NU1$ автоматически строится матрица $INU1$, в которой первые три столбца (частоты прогрессий и опытные интенсивности) совпадают в пределах допустимой погрешности с таковыми в матрице $NU1$, а четвертый столбец содержит вычисленные относительные интенсивности

$$INU1 = [\nu (\nu - \Delta\nu) I_{оп}^{отн} I_{выч}^{отн}],$$

где ν , $\nu - \Delta\nu$ – границы узких интервалов, в пределах которых лежат линии прогрессии; $I_{\text{оп}}^{\text{отн}}$ – опытная относительная интенсивность полосы; $I_{\text{выч}}^{\text{отн}}$ – вычисленная относительная интенсивность полосы (табл. 2).

Таблица 2

Элементы матрицы $INU1$

ν	$\nu - \Delta\nu$	$I_{\text{оп}}^{\text{отн}}$	$I_{\text{выч}}^{\text{отн}}$
30396	30395,9	1,40	1,32
29719	29718,9	0,90	0,93
29042	29041,9	0,36	0,46
28365	28364,9	0,17	0,18
27688	27687,9	0,04	0,06

Путем прямого варьирования исходных параметров задачи, например, смещений нормальных координат d можно, используя матрицу $INU1$, добиваться согласования вычисленных интенсивностей линий прогрессий с экспериментальными.

В спектрах SVL -флуоресценции, и прежде всего 0-0 флуоресценции, нельзя измерить интенсивность 0-0 полосы из-за присутствия лазерной полосы возбуждения. Поэтому относительная интенсивность вибронных полос оценивается по отношению к линии того же спектра, выбранной в качестве линии сравнения. Для выбора линии сравнения в программе предусмотрена матрица $IST1$

$$IST1 = \begin{pmatrix} j & \nu1 \\ f & \nu2 \\ g & \nu3 \\ r & \nu4 \end{pmatrix}.$$

Эта матрица содержит номера колебаний (i, f, g, r) и квантовые числа ($\nu1, \nu2, \nu3, \nu4$) для перехода, который выбирается в качестве стандарта и по отношению к которому будут вычисляться интенсивности. Частота стандартного перехода в спектре флуоресценции вычисляется по формуле

$$\Delta\Omega_{\text{флуор}} = (\nu1\omega2_j - \nu2\omega2_f - \nu3\omega2_g - \nu4\omega2_r) \cdot 10^3,$$

где ω – частоты колебаний осцилляторов в основном электронном состоянии.

Общее правило для выбора стандартного перехода: после предварительного расчета на печать выводится расширенная матрица результатов

$$\text{RESU1} = \begin{pmatrix}
 0 & 0 & 0 & 0 & i \\
 0 & 0 & 0 & 0 & y \\
 0 & 0 & 0 & 0 & l \\
 0 & 0 & 0 & 0 & p \\
 0 & 0 & 0 & 0 & u1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & u2 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & u3 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & u4 \\
 6 & 6 & 6 & 6 & j \\
 0 & 0 & 0 & 0 & f \\
 0 & 0 & 0 & 0 & g \\
 0 & 0 & 0 & 0 & r \\
 1 & 2 & 3 & 4 & v1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & v2 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & v3 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & v4 \\
 -1,201 & 1,055 & -0,780 & 0,513 & \text{ИФК} \\
 30396 & 29719 & 29042 & 28365 & \Omega \\
 -677 & -1354 & -2031 & -2708 & \Delta\Omega1 \\
 1,320 & 0,931 & 0,464 & 0,183 & IF
 \end{pmatrix}$$

Матрица *RESU1* содержит 20 строк. Отдельный столбец соответствует одному вибронному переходу. В каждом столбце сверху вниз указаны основные параметры перехода – первые восемь строк содержат номера и квантовые числа осцилляторов возбужденного электронного состояния, следующие восемь строк – номера и квантовые числа осцилляторов основного электронного состояния, участвующих в вибронном переходе. Далее печатаются относительный интеграл ИФК, частота перехода Ω (см^{-1}), колебательный сдвиг $\Delta\Omega1$ (см^{-1}) и относительная интенсивность вибронной полосы *IF* в спектре *SVL*-флуоресценции. Программа, реализующая выше описанный алгоритм, получила название *SVLU1*.

Далее необходимо выбрать в матрице *RESU1* переход, например, имеющий максимальную интенсивность в экспериментально наблюдаемой прогрессии, выписать из этой же матрицы номер колебания и квантовые числа, которые ему соответствуют, и подставить их в матрицу $\Delta\Omega1_{\text{флуор}}$, а затем сделать новый расчет.

В результате вычисленные интенсивности становятся относительными и их можно сравнивать с экспериментальными, отнесенными к выбран-

ной линии прогрессии. Если в матрицу $IST1$ подставить нули для всех элементов, то интенсивность вибронного перехода будет вычисляться по отношению к интенсивности 0-0 перехода. В спектрах SVL -флуоресценции отсчет колебательного сдвига осуществляется не от 0-0 полосы, а от лазерной линии возбуждения. Поэтому в программе предусмотрен расчет именно такого сдвига $\Delta\Omega_{\text{флуор}}$, что позволяет легко сравнивать опытные и вычисленные частоты вибронных переходов. Тип решаемой задачи определяется задающей матрицей $NS1$

$$NS1 = (i \quad u1(i)),$$

в которой указаны номер i -го осциллятора (нормального колебания), с уровня которого происходит SVL -флуоресценция, и квантовое число уровня $u1(i)$. В результате данная программа может рассчитать интенсивности вибронных полос в спектре 0-0 флуоресценции ($u1(i) = 0$) и в спектрах SVL -флуоресценции с уровня тона и обертонов ($u1(i) = 1, 2, 3, \dots$) любого нормального колебания.

Вторым типом SVL -флуоресценции, наиболее часто встречающимся в экспериментальной практике, является флуоресценция с комбинационного колебательного уровня $u1(i)\omega_{1i} + u2(y)\omega_{1y}$. Здесь $\omega_{1i,y}$ – частоты колебаний в возбужденном электронном состоянии.

Расчет интенсивностей вибронных полос с комбинационного уровня

Для расчета ИФК, соответствующих SVL -флуоресценции с комбинационного уровня, были получены формулы общих членов сумм, входящих в алгоритм расчета ИФК. Для четырех основных типов переходов они имеют вид

$$SVL4 = \sqrt{u1!u2!v1!} \frac{A_{ii}^{s1} A_{yy}^{s2} C_{jj}^{t1} E_{ji}^{m11} E_{jy}^{m21} (2A_{iy})^{n12}}{s1!s2!t1!m11!m21!n12!} \frac{B_i^{\alpha'_1} B_y^{\alpha'_2} D_j^{\alpha''_1}}{|\alpha'_1|!|\alpha'_2|!|\alpha''_1|!},$$

где $\alpha'_1 = u1 - 2s1 - m11$; $\alpha'_2 = u2 - 2s2 - n12 - m21$; $\alpha''_1 = v1 - 2t1 - m11 - m21$;

$$SVL5 = \sqrt{u1!u2!v1!v2!} \frac{A_{ii}^{s1} A_{yy}^{s2} C_{jj}^{t1} C_{ff}^{t2} E_{ji}^{m11} E_{fi}^{m12} E_{jy}^{m21} (2A_{iy})^{n12} (2C_{ff})^{k12}}{s1!s2!t1!t2!m11!m12!m21!m22!n12!k12!} \frac{B_i^{\alpha'_1} B_y^{\alpha'_2} D_j^{\alpha''_1} D_f^{\alpha''_2}}{|\alpha'_1|!|\alpha'_2|!|\alpha''_1|!|\alpha''_2|!},$$

где $\alpha'_1 = u1 - 2s1 - n12 - m11 - m12$; $\alpha''_1 = v1 - 2t1 - k12 - m11 - m21$;

$\alpha'_2 = u2 - 2s2 - n12 - m21 - m22$; $\alpha''_2 = v2 - 2t2 - k12 - m12 - m22$;

$$SVL6 = \sqrt{u1!u2!v1!v2!v3!} \times$$

$$\times \frac{A_{ii}^{s1} A_{yy}^{s2} C_{jj}^{t1} C_{ff}^{t2} C_{gg}^{t3} E_{ji}^{m11} E_{fi}^{m12} E_{gi}^{m13} E_{jy}^{m21} E_{fy}^{m22} E_{gy}^{m23} (2A_{iy})^{n12} (2C_{jf})^{k12} (2C_{jg})^{k13} (2C_{fg})^{k23}}{s1!s2!t1!t2!t3!m1!m2!m3!m2!m2!m23!n1!k1!k1!k2!k2!k3!k3!} \times$$

$$\times \frac{B_i^{\alpha'_1} B_y^{\alpha'_2} D_j^{\alpha''_1} D_f^{\alpha''_2} D_g^{\alpha''_3}}{|\alpha'_1|!|\alpha'_2|!|\alpha''_1|!|\alpha''_2|!|\alpha''_3|!},$$

где $\alpha'_1 = u1 - 2s1 - n1 - m1 - m2 - m3$; $\alpha''_1 = v1 - 2t1 - k1 - k2 - m1 - m2$;
 $\alpha'_2 = u2 - 2s2 - n1 - m2 - m2 - m3$; $\alpha''_2 = v2 - 2t2 - k1 - k2 - m2 - m2$;
 $\alpha''_3 = v3 - 2t3 - k1 - k2 - m3 - m3$;

$$SVL32 = \sqrt{u1!u2!v1!v2!v3!v4!} \times$$

$$\times \frac{A_{ii}^{s1} A_{yy}^{s2} C_{jj}^{t1} C_{ff}^{t2} C_{gg}^{t3} C_{rr}^{t4} E_{ji}^{m11} E_{fi}^{m12} E_{gi}^{m13} E_{ri}^{m14} E_{jy}^{m21} E_{fy}^{m22} E_{gy}^{m23} E_{ry}^{m24}}{s1!s2!t1!t2!t3!t4!m1!m2!m3!m4!m2!m2!m23!m24!} \times$$

$$\times \frac{(2A_{iy})^{n12} (2C_{jf})^{k12} (2C_{jg})^{k13} (2C_{jr})^{k14} (2C_{fg})^{k23} (2C_{fr})^{k24} (2C_{gr})^{k34}}{n1!k1!k1!k2!k2!k3!k3!k4!k4!k4!k4!k4!k4!} \times$$

$$\times \frac{B_i^{\alpha'_1} B_y^{\alpha'_2} D_j^{\alpha''_1} D_f^{\alpha''_2} D_g^{\alpha''_3} D_r^{\alpha''_4}}{|\alpha'_1|!|\alpha'_2|!|\alpha''_1|!|\alpha''_2|!|\alpha''_3|!|\alpha''_4|!},$$

где $\alpha'_1 = u1 - 2s1 - n1 - m1 - m2 - m3 - m4$; $\alpha''_1 = v2 - 2t2 - k1 - k2 - m2 - m2$;
 $\alpha'_2 = u2 - 2s2 - n1 - m2 - m2 - m3 - m4$; $\alpha''_2 = v3 - 2t3 - k1 - k2 - m3 - m3$;
 $\alpha''_3 = v1 - 2t1 - k1 - k2 - k3 - m1 - m2$; $\alpha''_4 = v4 - 2t4 - k1 - k2 - k3 - m4 - m4$.

Расчет интенсивности в спектрах SVL-флуоресценции с комбинационных уровней реализуется программой SVLU1U2 [3] по той же схеме, что и в программе SVLU1 (см. выше) с использованием 13 модулей.

Логическая схема программного комплекса для компьютерного моделирования спектров резонансной флуоресценции (SVL-флуоресценции) многоатомных молекул представлена в табл. 3.

Исходные данные ω_{01} , ω_{02} , Z и d , приведенные в первой строке табл. 3, формируются после масштабирования квантово-механических силовых полей в основном и возбужденном электронных состояниях в рамках квантовых моделей. Дополнительно к этому введен параметр i_{00} , который позволяет вычислять интенсивность в той шкале, в которой заданы экспериментальные интенсивности, когда интенсивность 0-0 полосы принимается равной 1, 10, 100...

Число рассчитанных вибронных переходов в многоатомной молекуле может быть очень большим, однако интенсивность многих переходов оказывается очень малой. Поэтому введен параметр I_0 , с помощью которого на печать выводятся только интенсивности тех переходов, у которых $I_{\text{выч}} > I_0$.

Логическая схема программного комплекса для компьютерного моделирования спектров резонансной флуоресценции (SVL-флуоресценции) многоатомных молекул

Исходные данные			
d – смещение нормальных координат (Å (а. е. м.) ^{1/2})	$\omega 02$ – частота нормальных колебаний в основном электронном состоянии	$\omega 01$ – частота нормальных колебаний в возбужденном электронном состоянии	Z – матрица Душинского
$i00 = 1(10,100,\dots)$ – шкала для интенсивностей 0–0-перехода	$\nu 00$ – частота вибронного перехода		$I0 = 10^{-2}$ – ограничитель минимальной интенсивности выводимой на печать
Управляющие параметры			
$ND = 1$ или 0 – расчет с учетом или без учета эффекта Душинского		$NU = 1$ или 0 – вводится или не вводится матрица частотных интервалов	
Программы			
$SNLU1$		$SVLU1U2$	
Тип решаемой задачи			
$NS1 = \begin{pmatrix} i & u1(i) \end{pmatrix}$		$NS2 = \begin{pmatrix} i & u1(i) \\ y & u2(y) \end{pmatrix}$	
Задающие матрицы для отдельных типов переходов			
$NS11$		$NS22$	
Матрицы для задания линий сравнения			
$IST1$		$IST2$	
Матрицы частотных интервалов для выделенных отдельных линий			
$NU1$		$NU2$	
Матрицы частот и вычисленных интенсивностей выделенных линий			
$INU1$		$INU2$	
Матрицы частот и вычисленных интенсивностей вибронных переходов			
$RESU1$		$RESU1U2$	
Построение вибронного спектра с помощью программы моделирования и визуализации контуров спектральных линий IX CONTOUR			

Управляющий параметр ND позволяет проводить расчет без учета эффекта Душинского, когда матрица Душинского автоматически становится единичной. Параметр NU обеспечивает расчет без введения матрицы частотных интервалов. Остальные параметры, приведенные в табл. 3 – типы матриц и их структуры были описаны выше, когда излагались алгоритмы программ $SVLU1$ и $SVLU1U2$.

Моделирование спектров SVL -флуоресценции заканчивается графическим построением полного спектра с помощью специальной программы для построения контуров вибронных полос.

Таким образом, полагаясь на описанную в статье структуру программного комплекса для моделирования спектров SVL -флуоресценции многоатомных молекул на основе квантовых моделей молекул в основном

и возбужденном электронных состояниях, авторами были предложены оптимальные алгоритмы для расчета интегралов Франка–Кондона и интенсивностей вибронных полос. В связи с этим была представлена структура управляющих параметров, которая позволяет моделировать спектры резонансной флуоресценции в интерактивном режиме.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кон В.* Электронная структура вещества – волновые функции и функционалы плотности // *Успехи физич. наук.* 2002. Т. 172, № 3 (март). С. 336–348.
2. *Попл Дж.* Квантово-химические модели PDF // *Успехи физич. наук.* 2002. Т. 172, № 3 (март). С. 349–356.
3. *Frisch M. J., Trucks G. W., Schlegel H. B.* Gaussian 03. URL : <http://www.gaussian.com/> (дата обращения : 15.04.2014).
4. *Baker J., Jarzecki A. A., Pulay P.* Direct scaling of Primitive valence force constants : An alternative approach to scaled quantum mechanical force fields // *J. Phys. Chem. A.* 1998. Vol. 102. P. 1412–1424.
5. *Березин К. В.* Расчет частот колебаний и интенсивностей полос в КР спектре // *Оптика и спектр.* 2003. Т. 94, № 3. С. 309–314.
6. *Yoshida H., Ehara A., Matsuura H.* Density functional vibrational analysis using wavenumber-linear scale factors // *Chem. Phys. Lett.* 2000. Vol. 325, № 4. P. 477–483.
7. *Березин К. В., Нечаев В. В., Кривохижина Т. В.* Применение метода линейного масштабирования частот в расчетах нормальных колебаний многоатомных молекул // *Оптика и спектр.* 2003. Т. 94, № 3. С. 398–401.
8. *Березин К. В., Черняев С. Н., Курносоев Н. А., Березин В. И.* Проблемы оптической физики. Саратов : Новый ветер, 2008. 139 с.
9. *Березин К. В., Нечаев В. В., Элькин П. М.* Ангармонический анализ колебательных состояний пиримидина методом функционала плотности // *Оптика и спектр.* 2004. Т. 97, № 2. С. 221–231.
10. *Грибов Л. А., Баранов В. И., Зеленцов Д. Ю.* Электронно-колебательные спектры многоатомных молекул. М. : Наука, 1997. 476 с.
11. *Березин В. И., Богачев Н. В., Абахаева З. М.* Применение ЭВМ в молекулярной спектроскопии. Саратов : Изд-во Саратов. гос. ун-та, 1989. 92 с.
12. *Березин К. В., Березина Р. И.* Проблемы оптической физики. Саратов : Новый ветер, 2002. 148 с.

УДК 378.147.88

ПРИМЕНЕНИЕ НЕМАГНИТНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ПОМЕХ

А. А. Игнатъев, Л. А. Романченко, А. А. Солопов*, Е. С. Зайцева

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: kof@sgu.ru

*ОАО «Тантал»
Россия, 410040, Саратов, пр. 50 лет Октября, 110А
E-mail: solopov@tantal-2.renet.ru

Приведены результаты исследований по применению цилиндрических немагнитных экранов для датчиков слабых магнитных полей с целью подавления внешних гармонических магнитных помех.

Ключевые слова: датчик слабых магнитных полей, подавление магнитных помех, немагнитные экраны.

Using of Nonmagnetic Cylindrical Screens for Suppression of Harmonic Magnetic Interference

A. A. Ignatiev, L. A. Romanchenko, A. A. Solopov, E. S. Zaiceva

Presented the results of researches on using of nonmagnetic cylindrical screens for sensors of weak magnetic fields to suppress of harmonic magnetic interference.

Key words: sensor of weak magnetic fields, suppression of magnetic interference, nonmagnetic screen.

Датчики слабых магнитных полей обладают высокой чувствительностью к изменению магнитного поля. Так, современные высокочувствительные датчики (магниторезистивные, индукционные, в том числе феррозондовые, магниторезонансные, на основе эффекта сверхпроводимости (*Superconducting Quantum Interference Device (SQUID* или СКВИД)), могут обнаружить изменение магнитного поля порядка единиц–десятков нТл, и даже 10^{-15} Тл (СКВИД-магнитометры) [1]. Но при столь высокой чувствительности датчики могут реагировать на магнитные помехи разного происхождения, что крайне нежелательно, так как при этом искажаются результаты измерений [2]. Поэтому датчики слабых магнитных полей нуждаются в эффективной защите от магнитных помех.

Для подавления внешних быстропеременных магнитных помех могут быть использованы цилиндрические экраны, выполненные из немагнитных проводящих материалов [3, 4]. Центр такого цилиндра должен совпадать с магниточувствительным элементом датчика, а его ось – с направлением измеряемой компоненты магнитного поля. Взаимное расположение датчика магнитного поля и экрана показано на рис. 1.

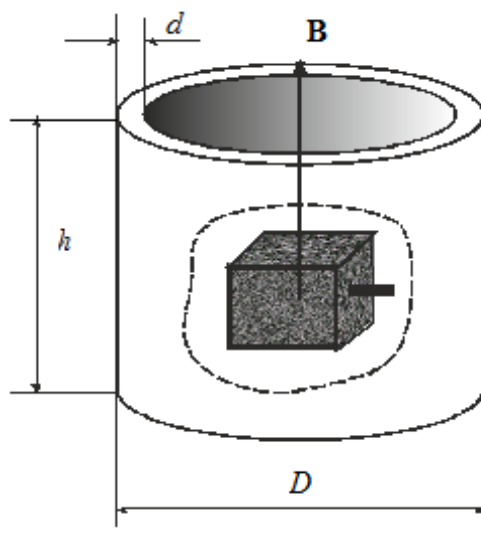


Рис. 1. Датчик магнитного поля внутри экранирующего цилиндра

Магнитное поле B складывается из поля подмагничивания датчика и внешнего магнитного поля. При этом внешнее магнитное поле содержит в себе как измеряемое магнитное поле (медленно изменяющееся во времени), так и магнитное поле, являющееся помехой.

Принцип подавления помех основан на явлении электромагнитной индукции. Быстрые высокочастотные изменения внешнего магнитного поля (например, промышленные помехи) приводят к возникновению в цилиндре индукционного тока I , величина которого определяется по формуле

$$I = \frac{\varepsilon_{\text{инд}}}{R} = -\frac{1}{R} \left(L \frac{dI}{dt} + \frac{d\Phi_{\text{внеш}}}{dt} \right), \quad (1)$$

где $\varepsilon_{\text{инд}}$ – ЭДС индукции; $R = \rho \frac{l}{S}$ – сопротивление цилиндра; ρ – удельное сопротивление, соответствующее материалу цилиндра; $l = \pi \cdot D$ – периметр основания цилиндра; D – диаметр цилиндра; $S = d \cdot h$ – площадь поперечного сечения цилиндра, расположенная в плоскости, перпендикулярной направлению индукционного тока; L – индуктивность цилиндра; I – индукционный ток в цилиндре; $\Phi_{\text{внеш}} = -\frac{1}{L} \cdot \frac{\pi}{4} D^2 B_{\text{внеш}}(t)$ – внешний магнитный поток через площадь, ограниченную цилиндром.

Соотношение (1) преобразуется к линейному неоднородному дифференциальному уравнению

$$\frac{dI}{dt} + \frac{R}{L} I = -\frac{1}{L} \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \frac{dB_{\text{внеш}}(t)}{dt}. \quad (2)$$

Общим решением такого однородного уравнения является $I = I_0 e^{-\frac{R}{L}t}$. Чтобы найти частное решение неоднородного уравнения, необходимо задать вид функции, определяющей помехи $B = B_{\text{внеш}}(t)$.

При гармонической помехе $B_{\text{внеш}}(t) = B_m \cos \omega t$ и при условии, что индукционные токи однородны по всему периметру цилиндра и лежат в плоскостях, перпендикулярных оси цилиндра, это решение для индукционного тока имеет вид

$$I(t) = \frac{1}{L} \frac{\pi D^2}{4} \frac{B_m}{1 + \frac{\omega^2 L^2}{R^2}} \frac{\omega L}{R} \left(\sin \omega t - \frac{\omega L}{R} \cos \omega t \right). \quad (3)$$

Индукционное магнитное поле в центре цилиндра определяется

$$B_{\text{инд}} = \frac{\mu_0}{D \sqrt{1 + \left(\frac{h}{D}\right)^2}} I, \quad (4)$$

и с учетом выражения (3) примет вид

$$B_{\text{инд}} = \frac{\mu_0 \pi D}{4L \sqrt{1 + \left(\frac{h}{D}\right)^2}} \frac{B_m}{1 + \frac{\omega^2 L^2}{R^2}} \frac{\omega L}{R} \left(\sin \omega t - \frac{\omega L}{R} \cos \omega t \right). \quad (5)$$

Тогда в центре цилиндра суммарное магнитное поле можно представить как сумму внешнего $B_{\text{внеш}}$ и индуцированного $B_{\text{инд}}$ полей

$$B_{\text{действ}} = B_{\text{внеш}}(t) + B_{\text{инд}}(t) = \beta \cdot B_m \sin(\omega t + \varphi),$$

где коэффициент β рассчитывается по формуле

$$\beta = \sqrt{\left(1 - 2 \frac{\pi \mu_0 D}{4L \sqrt{1 + \left(\frac{h}{D}\right)^2}} \cdot \left(1 - \frac{\pi \mu_0 D}{8L \sqrt{1 + \left(\frac{h}{D}\right)^2}}\right) \cdot \frac{\left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}{1 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}\right)}. \quad (6)$$

Эффективность подавления помех оценивается с помощью коэффициента подавления помех, который является обратной величиной β

$$\Gamma = \frac{1}{\beta}.$$

Использование немагнитных цилиндрических экранов приводит к подавлению высокочастотных помех, а датчик магнитного поля в результате регистрирует только медленные изменения магнитного поля. Необходимо отметить, что такой способ подавления магнитных помех применим к любым датчикам магнитного поля.

При проведении экспериментальных исследований эффективности подавления быстропеременных магнитных помех использовался магнитоэлектронный датчик слабых магнитных полей с геометрическими размерами $2,5 \times 3 \times 4$ (см), расположенный внутри алюминиевого цилиндра с диаметром $\varnothing = 7,5$ см, высотой $h = 15,5$ см и толщиной стенок $\sigma = 0,3$ см. Удельное сопротивление алюминия $\rho = 2,5 \cdot 10^{-8}$ Ом·м. Рассчитанное значение сопротивления такого цилиндра составляет $R = 12,66 \cdot 10^{-6}$ Ом.

Для создания преднамеренной магнитной помехи применялась рамка с размерами 80×80 см, на которую был намотан медный провод с числом витков $N = 100$. Частота помехи в пределах от 50 до 1500 Гц задавалась генератором низких частот. Спектр выходного сигнала неэкранированного датчика при частоте помехи 1000 Гц, наблюдаемый на экране анализатора спектра и определяющий девиацию частоты, показан на рис.2.

При экранировании датчика указанным алюминиевым цилиндром происходило существенное уменьшение девиации частоты датчика (рис. 3).

При проведении теоретических исследований подавления гармонических магнитных помех с частотой 1000 Гц индуктивность кольца рассчитывалась по приближенной формуле

$$L = \mu_0 b \left(\log \left(\frac{8b}{a} \right) - \frac{7}{4} \right), \quad (7)$$

где b и a – радиус и толщина стенок цилиндра соответственно. Радиус цилиндра при расчетах изменялся в пределах от 0,05 до 0,3 м, а толщина стенок принималась равной 2 мм.

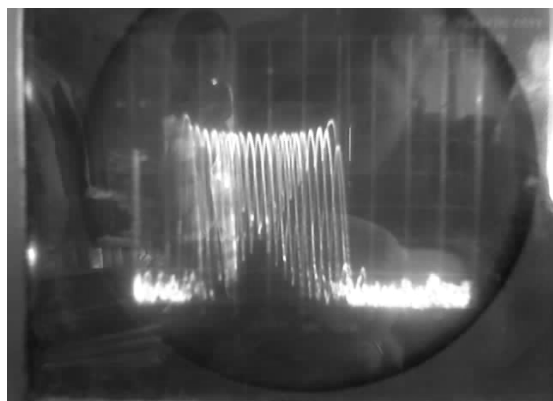


Рис.2. Спектр сигнала незранированного датчика при преднамеренной магнитной помехе частотой 1000 Гц

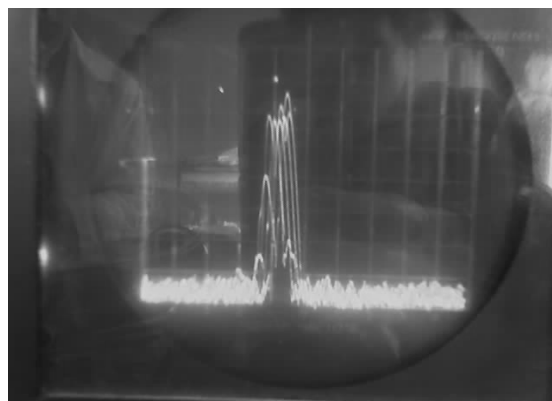


Рис. 3. Спектр сигнала датчика, экранированного алюминиевым цилиндром от преднамеренной магнитной помехи с частотой 1000 Гц

Результаты проведенных расчетов представлены в таблице и на рис. 4 (сплошной линией показана зависимость коэффициента подавления от радиуса цилиндра при высоте $h = 0,1$ м, пунктирной – при $h = 0,2$ м).

b , м	$L \cdot 10^{-7}$, Гн	l , м	$h = 0,1$ м		$h = 0,2$ м	
			$R \cdot 10^{-5}$, Ом	Г	$R \cdot 10^{-5}$, Ом	Г
0,05	2,66576	0,314	3,925	1,342927	1,963	1,197092
0,07	4,02817	0,440	5,495	1,375790	2,748	1,243385
0,1	6,20281	0,628	7,850	1,387644	3,925	1,145790
0,15	10,06870	0,942	11,775	1,378508	5,888	1,085117
0,17	11,67870	1,068	13,345	1,372718	6,673	1,072546
0,2	14,14820	1,256	15,700	1,364046	7,850	1,059148
0,25	18,38650	1,570	19,625	1,350931	9,81250	1,044921
0,3	22,75130	1,884	23,550	1,339816	11,77501	1,036001

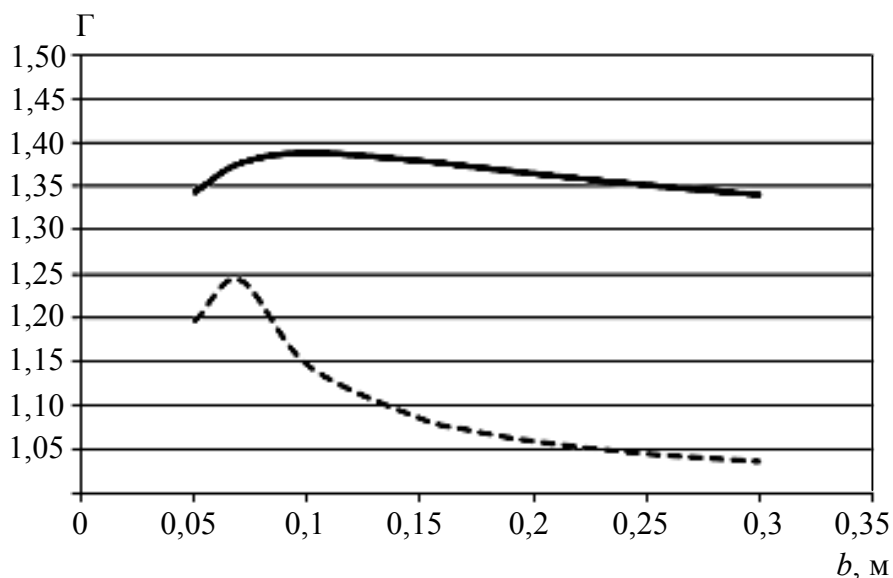


Рис 4. Зависимость коэффициента подавления внешних гармонических помех от геометрических размеров экрана

Видно, что наиболее эффективно подавление помех происходит при использовании цилиндров с радиусом 0,07–0,2 м и высотой 0,1 м.

Таким образом, проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что целесообразно применять немагнитные цилиндры в качестве экранов, защищающих датчики слабых магнитных полей от высокочастотных магнитных помех. Кроме того, для экранирования датчика с геометрическими размерами $2,5 \times 3 \times 4$ (см) предпочтительнее использование экранирующих цилиндров с толщиной стенок не менее 2 мм, радиусом от 7 до 20 см и высотой от 10 до 20 см.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кочемасов Ю. Н., Колегаев Ю. Б. Сравнительный анализ характеристик датчиков магнитного поля // Датчики и системы. 2001. № 4. С. 30–34.
2. Смирнов Б. М. Определение индукции геомагнитного поля на фоне магнитных помех подвижного объекта // Измерительная техника. 2003. № 11. С. 52–58.
3. Куликов М. Н., Романченко Л. А. Подавление быстропеременных магнитных полей в устройствах (системах) измерения слабых магнитных полей // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2007. № 5. С. 43–46.
4. Игнатьев А. А., Куликов М. Н., Ляшенко А. В., Романченко Л. А. Подавление быстропеременных магнитных помех в датчиках магнитного поля // Датчики и системы – 2006 : сб. тр. Всероссийской науч.-практ. конф. «Создание и развитие датчиков для систем измерения, контроля, управления и диагностики» (Россия, г. Москва, 30–31 мая 2006 г.). Пенза : ФНПЦ ФГУП «НИИ физических измерений», 2006. С. 308–310.

**ПОСТАНОВКА И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ
ОБРАТНОЙ ЭЛЕКТРОННО-КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ЗАДАЧИ
НА ОСНОВЕ СПЕКТРОВ РЕЗОНАНСНОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ**

**М. К. Березин, М. Л. Чернавина, Г. Н. Тен, А. В. Новоселова,
В. И. Березин, А. Ю. Пономарев, К. В. Березин**

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: nusena1975@mail.ru, berezinkv@yandex.ru

Обсуждаются компьютерные методы решения обратной вибронной задачи на основе спектров резонансной флуоресценции с применением современных методов квантовой механики для построения динамических моделей. Предложен алгоритм и составлены программы для решения обратной вибронной задачи по спектрам резонансной флуоресценции при лазерном возбуждении.

Ключевые слова: обратная электронно-колебательная (вибронная) задача, спектр резонансной флуоресценции, матрица Душинского, эффект Герцберга–Теллера, интегралы Франка–Кондона, электронное возбуждение.

**Algorithm and Program for the Inverse Vibronic Problem
on the Basis of Resonance Fluorescence Spectra Analysis**

**M. K. Berezin, M. L. Chernavina, G. N. Ten, A. V. Novoselova,
V. I. Berezin, A. Yu. Ponomarev, K. V. Berezin**

In this article discussed computer methods of the inverse vibronic problem solution on the basis of the resonance fluorescence spectra by means of modern quantum chemical methods for dynamic models constructing. The algorithm and the programs for the inverse vibronic problem solution based on the resonance fluorescence spectra with application at laser excitation are offered.

Key words: inverse problem, resonance fluorescence spectra, Duschinsky matrix, Herzberg–Teller effect, Franck–Condon integrals, vibronic interaction.

Большинство методик решения обратной электронно-колебательной (вибронной) задачи в основном касаются спектров поглощения. Не менее информативными являются и спектры резонансной флуоресценции с индивидуальных колебательных уровней *selected vibrational levels (SVL)* флуоресценции. Между этими двумя типами спектров имеются два основных различия. Первое, чисто техническое различие, обусловлено тем, что для получения спектров *SVL*-флуоресценции требуются лазеры с перестраиваемой частотой, а второе, чисто методическое – отсутствие в этих спектрах 0-0-полосы излучения, которая всегда закрыта возбуждающей линией лазера. По этой причине относительные интенсивности полос могут оцениваться только по отношению к линии сравнения. Последнее обстоятельство требует разработки иных методов решения обратной вибронной задачи.

Постановка наиболее важной обратной вибронной задачи сводится к вычислению смещений нормальных координат и изменению геометрии молекулы при электронном возбуждении по интенсивностям вибронных

полос в спектрах *SVL*-флуоресценции. Фактически постановка и решение такой задачи сводится к исследованию динамики многоуровневых квантовых систем (например, молекул) при взаимодействии вещества с электромагнитным излучением различной природы (в частности, с когерентным лазерным излучением).

Методика решения обратной электронно-колебательной задачи

Продемонстрируем методику решения на примере полосы спектра *SVL*-флуоресценции, расположенной в области низких частот от 0-0-полосы (с нулевого колебательного уровня, 0-0-флуоресценции, т. е. перехода между нулевым колебательным уровнем первого возбужденного электронного состояния и нулевым колебательным уровнем основного электронного состояния). Относительная интенсивность (по отношению к 0-0-полосе) основного тона полносимметричного колебания на частоте $\nu_{00} - \omega_j''$ определяется в приближении Франка–Кондона [1–4] соотношением

$$I_{\text{изл}}^{\text{отн}} = \frac{S}{S_{00}} = \left(\frac{\nu_{00} - \omega_j''}{\nu_{00}} \right)^4 D_j^2, \quad (1)$$

где D_j – элементы матрицы D , которая связана с матрицей приведенных смещений нормальных координат Δ' соотношением [4]

$$D = -\frac{1}{\sqrt{2}} \alpha^{-1} \Delta', \quad (2)$$

а матрица α имеет элементы, зависящие от частоты нормальных колебаний молекулы в двух электронных состояниях и элементов ортогональной матрицы J Душинского [5]

$$\alpha_{ij} = \frac{\omega_i' + \omega_j''}{2\sqrt{\omega_i' \omega_j''}} J_{ij}. \quad (3)$$

Выберем указанную линию (0-0-полосу) в качестве линии сравнения. Тогда для относительных интенсивностей первого и второго обертонов в прогрессии по j -у колебанию будем иметь

$$\begin{aligned} I_{n21} &= \left(\frac{\nu_{00} - 2\omega_j''}{\nu_{00} - \omega_j''} \right)^4 \left(\frac{2c_{jj} + D_j^2}{\sqrt{2}D_j} \right)^2, \\ I_{n31} &= \left(\frac{\nu_{00} - 3\omega_j''}{\nu_{00} - \omega_j''} \right)^4 \left(\frac{6c_{jj} + D_j^3}{\sqrt{6}D_j} \right)^2. \end{aligned} \quad (4)$$

Путем преобразования этих соотношений получим два алгебраических уравнения относительно D_j , выраженных через опытные относительные интенсивности I_n21 и I_n31 :

$$\begin{aligned} D_j^2 - G0D_j + 2C1 &= 0, \\ D_j^2 - G1 + 6C1 &= 0, \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} G0 &= \left(\frac{v_{00} - \omega_j''}{v_{00} - 2\omega_j''} \right)^2 (2I_n21)^{\frac{1}{2}}, \\ G1 &= \left(\frac{v_{00} - \omega_j''}{v_{00} - 3\omega_j''} \right)^2 (6I_n31)^{\frac{1}{2}}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} C1 &= \frac{\gamma_j^2 - 1}{2(\gamma_j^2 + 1)}, \\ \gamma_j &= \left(\frac{\omega_j''}{\omega_j'} \right)^{\frac{1}{2}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Оба уравнения определяют одну и ту же величину D_j . Одна может быть использована как основная, а вторая нужна для контроля. В дальнейшем можно использовать и их среднее значение. Знак D_j предварительно устанавливается по результатам решения прямой вибронной задачи в нулевом приближении.

Вычисленную величину $D_j = D_j^{\text{эт}}$ теперь можно использовать как эталон для оценки интенсивности 0-0 полосы излучения по формуле

$$I_{00}^{\text{теор}} = \left(\frac{v_{00}}{v_{00} - \omega_j''} \right)^4 \frac{S(v_{00} - \omega_j'')}{(D_j^{\text{эт}})^2}, \quad (8)$$

где $S(v_{00} - \omega_j'')$ – площадь контура головной линии прогрессии, которая может оцениваться в произвольных единицах, например в пикселях, при сплошной заливке экспериментального контура.

Из формулы (8) видно, что интенсивность $I_{00}^{\text{теор}}$ (площадь контура 0-0-полосы) оценивается в тех же единицах, что и площадь головной полосы $S(v_{00} - \omega_j'')$. Естественно, что для надежного расчета $I_{00}^{\text{теор}}$ для спектра 0-0-флуоресценции в целом следует выбрать самую интенсивную головную

линию, т. е. j -е колебание, которое имеет самую длинную прогрессию. Если в приведенных выше формуле (1) заменить s_{00} на $I_{00}^{\text{теор}}$, то получим общую формулу для оценки параметра D_s полносимметричных колебаний по интенсивностям головных линий

$$D_s = \left(\frac{v_{00}}{v_{00} - \omega_s''} \right)^2 \left(\frac{S(v_{00} - \omega_s'')}{I_{00}^{\text{теор}}} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{v_{00} - \omega_j''}{v_{00} - \omega_s''} \right)^2 \left(\frac{S(v_{00} - \omega_s'')}{S(v_{00} - \omega_j'')} \right)^{\frac{1}{2}} D_j^{\text{эгр}}. \quad (9)$$

Знак D_s устанавливается по результатам решения прямой вибронной задачи в нулевом приближении. Формируя из D_s матрицу D , можно вычислить приведенные смещения нормальных координат Δ'

$$\Delta' = -\sqrt{2}\alpha D = -\sqrt{2}E^{-1}D \quad (10)$$

и сами смещения d

$$d_j = \sqrt{\frac{h}{2\pi\omega_j'}} \Delta'_j. \quad (11)$$

Последним шагом в алгоритме является расчет матрицы изменений ΔS геометрических параметров молекулы при электронном возбуждении по формуле

$$\Delta S = L'd, \quad (12)$$

где L' – матрица формы колебаний в возбужденном электронном состоянии.

Описанный алгоритм решения обратной вибронной задачи для спектра 0-0-флуоресценции был аппроксимирован и на другие типы спектров SVL -флуоресценции.

Для каждого типа вибронного спектра были составлены уравнения расчета элементов матрицы D . Ниже приведены нелинейные уравнения расчета параметров матрицы B для основных тонов полносимметричных колебаний по опытным относительным интенсивностям линий в прогрессиях спектров SVL -флуоресценции.

1. Спектр SVL -флуоресценции с нулевого уровня (0-0-флуоресценция). Прогрессия вычисляется для j -го колебания:

$$D_j^2 - G0D_j + 2C_j = 0, \quad (13)$$

$$D_j^2 - G1 + 6C_j = 0, \quad (14)$$

$$G0 = \left(\frac{v_{00} - \omega_j''}{v_{00} - 2\omega_j''} \right)^2 (2I_n 21)^{\frac{1}{2}}, \quad (15)$$

$$G1 = \left(\frac{v_{00} - \omega_j''}{v_{00} - 3\omega_j''} \right)^2 (6I_n 31)^{\frac{1}{2}}, \quad (16)$$

где $I_n 21$ – отношение интенсивности первого обертона к основному тону;
 $I_n 31$ – отношение интенсивности второго обертона к основному тону.

2. Спектр *SVL*-флуоресценции с уровня основного тона j -го колебания. Прогрессия вычисляется для j -го колебания:

$$D_j^3 - G2D_j^2 - 2(E_j - C_j)D_j + G2E_j = 0, \quad (17)$$

$$D_j^4 + [3(2C_j - E_j)G3]D_j^2 + E_j(G3 - 6C_j) = 0, \quad (18)$$

$$G2 = \left(\frac{v_{00} + \omega_j' - \omega_j''}{v_{00} + \omega_j' - 2\omega_j''} \right)^2 (2I_n 21)^{\frac{1}{2}}, \quad (19)$$

$$G3 = \left(\frac{v_{00} + \omega_j' - \omega_j''}{v_{00} + \omega_j' - 3\omega_j''} \right)^2 (6I_n 31)^{\frac{1}{2}}.$$

3. Спектр *SVL*-флуоресценции с уровня основного тона j -го колебания. Прогрессия вычисляется для i -го колебания ($i \neq j$):

$$\begin{aligned} D_i^2 - H2D_i + 2C_i &= 0, \\ D_i^2 - H3 + 6C_i &= 0, \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} H2 &= \left(\frac{v_{00} + \omega_j' - \omega_i''}{v_{00} + \omega_j' - 2\omega_i''} \right) (2I_n 21)^{\frac{1}{2}}, \\ H3 &= \left(\frac{v_{00} + \omega_j' - \omega_i''}{v_{00} + \omega_j' - 3\omega_i''} \right)^2 (6I_n 31)^{\frac{1}{2}}. \end{aligned} \quad (21)$$

4. Спектр *SVL*-флуоресценции с уровня первого обертона j -го колебания. Прогрессия вычисляется для j -го колебания:

$$\begin{aligned} D_j^4 - G31D_j^3 + 2(A_j + C_j - 2E_j)D_j^2 - \\ - 2G31(A_j - E_j)D_j + 2(2A_jC_j - E_j^2) &= 0, \end{aligned} \quad (22)$$

$$D_j^4 + 2\left(3C_j + A_j - 3E_j - \frac{G4}{2}\right)D_j^2 + 6\left[2A_jC_j - 2E_jC_j + E_j^2 - \frac{G4(A_j - E_j)}{3}\right] = 0. \quad (23)$$

5. Спектр *SVL*-флуоресценции с комбинационного уровня двух основных тонов j и i . Прогрессия вычисляется для j -го колебания:

$$D_j^3 - G5D_j^2 - 2(E_j - C_j)D_j + G5E_j = 0, \quad (24)$$

$$D_j^4 - 3\left(E_j - 2C_j + \frac{G6}{3}\right)D_j^2 - 6C_jE_j + G6E_j = 0, \quad (25)$$

$$G5 = \left(\frac{\nu_{00} + \omega'_j + \omega'_i - \omega''_j}{\nu_{00} + \omega'_j + \omega'_i - 2\omega''_j}\right)^2 (2I_n 21)^{\frac{1}{2}}, \quad (26)$$

$$G6 = \left(\frac{\nu_{00} + \omega'_j + \omega'_i - \omega''_j}{\nu_{00} + \omega'_j + \omega'_i - 3\omega''_j}\right)^2 (6I_n 31)^{\frac{1}{2}}, \quad (27)$$

где ω''_j , ω'_j , $\gamma_j = \left(\frac{\omega''_j}{\omega'_j}\right)$, $A_j = -\frac{\gamma_j^2 - 1}{2\gamma_j^2(\gamma_j^2 + 1)}$, $C_j = \frac{\gamma_j^2 - 1}{2(\gamma_j^2 + 1)}$, $E_j = \frac{2}{\gamma_j^2 + 1}$ – частоты колебаний в основном и возбужденном электронных состояниях.

**Алгоритмы расчета и программы решения
обратной вибронной задачи для спектра 0-0-флуоресценции,
аппроксимированного на другие типы спектров *SVL*-флуоресценции**

На основе уравнений, представленных в формулах (13)–(27), было создано 5 программ автоматизированного расчета смещений нормальных координат и изменения геометрии молекулы при электронном возбуждении по опытным интенсивностям линий в прогрессиях *SVL*-флуоресценции с одновременным расчетом интенсивностей линий в прогрессиях по найденным смещениям нормальных координат с учетом эффекта Душинского.

В каждой программе имеется 7 модулей, которые используют следующие исходные данные:

ω_{02} – частота нормальных колебаний в основном электронном состоянии (в ед. 10^3 см^{-1});

ω_{01} – частота нормальных колебаний в возбужденном электронном состоянии (в ед. 10^3 см^{-1});

Z – матрица Душинского;

ν_{00} – частота 0-0 перехода (в ед. см^{-1});

L' – матрица форм колебаний в возбужденном электронном состоянии;

$IEXP$ – матрица опытных интегральных интенсивностей в прогрессиях SVL -флуоресценции.

Исходные данные получают с помощью программного комплекса [5, 6], который выполняет масштабирование квантовомеханических силовых полей в двух электронных состояниях, вычисляет матрицу Душинского и исходную матрицу смещений нормальных координат при электронном возбуждении в декартовых и естественных колебательных координатах в рамках квантовых моделей с применением методов *ab initio* и теории функционала плотности (ТФП) [7–8], а также базовой программы [9].

Результаты модельного расчета

Ниже приведены некоторые примеры расчета интенсивности в прогрессиях двух колебаний с номерами 1 и 4 в спектре SVL -флуоресценции с уровня комбинационного тона:

– номера колебаний, с комбинационного уровня которых происходит флуоресценция $J = 4, I = 2$;

– управляющие параметры программы: $ND = 1$ или 0 – расчет с учетом или без учета эффекта Душинского; $PAB = 1$ или 0 – частоты выводятся в шкале колебательного сдвига $\Delta\Omega$ или в шкале вибронных частот $\nu_{00} - \Delta\Omega$ (в ед. см^{-1});

– матрица опытных интегральных интенсивностей в прогрессиях колебаний с номерами 1 и 4:

$$IEXPUIU2 = \begin{pmatrix} 1 & -4 \\ 1,222 & 0,482 \\ 0,324 & 0,110 \\ 0,060 & 0,771 \\ 0,009 & 0,915 \\ 0,001 & 0,616 \\ 0 & 0,301 \\ 0 & 0,118 \\ 0 & 0,040 \end{pmatrix} N(\pm)$$

Отрицательный номер колебания «-4» означает, что колебание номер 4 имеет отрицательное значение смещения d_4 (-0,399):

$$d01 = \begin{pmatrix} 0,203 \\ 0,050 \\ 0 \\ -0,399 \end{pmatrix},$$

где $d01$ – матрица вычисленных смещений нормальных координат (в ед. Å (а.е.м.)^{1/2}) для колебаний с номерами 1, 2, 3, 4.

Результаты экспериментального расчета

Вычисленное значение среднеквадратичного отклонения σ опытных и вычисленных интенсивностей составляет 0,77 или 0,069. Эти данные используются в дальнейшем при вычислении частот и интенсивностей линий. В итоге на печать выводятся результаты вычислений в прогрессиях двух колебаний с номерами 1 и 4 (таблица)

Опытные и вычисленные частоты и интенсивности линий в прогрессиях двух колебаний с номерами 1 и 4, которые выводятся на печать

$\Delta\Omega$ (см ⁻¹)	$I_1^{\text{оп}}$	$I_1^{\text{выч}}$	$\Delta\Omega$ (см ⁻¹)	$I_4^{\text{оп}}$	$I_4^{\text{оп}}$
Колебание 1			Колебание 4		
1147	1,222	1,116	677	0,482	0,332
2294	0,324	0,313	1354	0,110	0,183
3441	0,060	0,062	2031	0,771	0,901
4588	0,009	0,010	2708	0,915	1,016
5735	0,001	0,001	3385	0,616	0,675
6882	0	0	4062	0,301	0,330
8029	0	0	4739	0,118	0,130
9176	0	0	5416	0,040	0,044

Таким образом, авторами данной статьи предложен алгоритм и составлены программы для решения обратной вибронной задачи по спектрам резонансной флуоресценции при лазерном возбуждении. Алгоритм включает в себя следующие этапы:

- расчет параметров D_j для основных тонов полносимметричных колебаний в приближении одномерного осциллятора на основе решения системы двух нелинейных уравнений;
- поиск корней двух уравнений и выбор общего корня D_j ;
- расчет смещений нормальных координат d в приближении одномерного осциллятора;
- расчет смещений нормальных координат d с учетом эффекта Душинского путем минимизации среднеквадратичных отклонений опытных и вычисленных интенсивностей в прогрессиях;

- расчет изменения геометрии молекулы при электронном возбуждении;
- расчет интенсивности линий в прогрессиях с учетом эффекта Дюшинского;
- построение вычисленного вибронного спектра с помощью программ моделирования и визуализации контуров спектральных линий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Герцберг Г. Электронные спектры и строение многоатомных молекул. М.: Мир, 1969. 772 с.
2. Грибов Л. А., Баранов В. И., Зеленцов Д. Ю. Электронно-колебательные спектры многоатомных молекул. М.: Наука, 1997. 476 с.
3. Березин В. И., Богачев Н. В., Абахаева З. М. Применение ЭВМ в молекулярной спектроскопии. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1989. 92 с.
4. Березин К.В., Березина Р. И. Проблемы оптической физики. Саратов : Изд-во «Новый ветер», 2002. 148 с.
5. Березин К. В., Черняев С. Н., Курносоев Н. А., Березин В. И. Проблемы оптической физики. Саратов : Изд-во «Новый ветер», 2008. 139 с.
6. Березин К. В., Березин В. И., Березин М. К. Проблемы оптической физики и биофотоники. Саратов : Изд-во «Новый ветер», 2009. 184 с.
7. Кон В. Электронная структура вещества – волновые функции и функционалы плотности // Успехи физич. наук. 2002. Т. 172, № 3 (март). С. 336–348.
8. Попл Дж. Квантово-химические модели PDF // Успехи физич. наук. 2002. Т. 172, № 3 (март). С. 349–356.
9. Frisch M. J., Trucks G. W., Schlegel H. B. Gaussian 03. URL : <http://www.gaussian.com/> (дата обращения : 15.04.2014).

УДК 681.3.001.57

ПРОЦЕССОР С УЛУЧШЕННОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ БИТАМИ ДАННЫХ ДЛЯ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ, ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ, КРИПТОГРАФИИ, МОБИЛЬНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

С. И. Назаров, Л. С. Сотов, А. В. Ляшенко*

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: slskit@mail.ru

*ОАО «Институт критических технологий»
Россия, 410040, Саратов, пр. 50 лет Октября, 110А
E-mail: tantal@renet.ru

В работе описана структура RISC-процессора с улучшенной манипуляцией битами данных. Разработанное устройство предназначено для средств навигации, обработки сигналов и изображений, криптографии, мобильных диагностических устройств. Процессор обеспечивает увеличение производительности от 2 до 10 раз за счет выполнения специальных инструкций произвольной перестановки, выборки и размещения групп битов данных. Предложенное решение имеет эффективную аппаратную реали-

зацию и высокое быстродействие. Показано, что предлагаемый процессор обладает преимуществами, включающими расширенную функциональность, улучшенное быстродействие и сниженную аппаратную сложность.

Ключевые слова: микропроцессор, инструкция перестановок, инструкции группирования и размещения битов, многоуровневая коммутационная сеть, архитектура OPENRISC 1000.

The Enhanced Bit Manipulation Processor for Navigation, Digital Signal Processing, Image Treatment, Cryptography, Mobile Diagnostic Devices

S. I. Nazarov, L. S. Sotov, A. V. Ljashenko

The architecture of enhanced bit manipulation RISC microprocessor is described. The microprocessor designed for navigation, digital signal processing, image treatment, cryptography and mobile diagnostic devices. The performance of microprocessor is increased from two to ten times because microprocessor can evaluate special instructions of permutation, subword extracting and subword depositing. The offered decision has effective hardware implementations and high speed. It is shown that in comparison with existing microprocessors the developed microprocessor has advantages including expanded functionality, the improved performance and the lowered hardware complexity.

Key words: microprocessor, permutation instruction, subword extract instruction, subword deposit instruction, multistage interconnection network, OPENRISC 1000 architecture.

Существует много важных приложений, таких как криптография, обработка изображений, кодирование, распознавание образов, проектирование аппаратуры, моделирование и др., где манипуляции с битами данных занимают значительную часть общего объёма вычислений. При этом можно выделить несколько команд, выполнение которых требуется особенно часто:

- извлечение группы бит данных *pex* (*parallel extract*);
- размещение битов в заданных позициях машинного слова *pdep* (*parallel deposit*);
- произвольная перестановка битов машинного слова;
- осуществление логического и циклического сдвигов битов машинного слова.

Логический и циклический сдвиги могут осуществлять большинство микропроцессоров. Но этого недостаточно для обеспечения высокопроизводительной обработки на битовом уровне.

В работе [1] был предложен способ структурного синтеза устройств разбиения строки входных данных для реализации инструкций группировки *grp* (*group*), выборки *pex* (*parallel extract*), размещения *pdep* (*parallel deposit*) и показано, что используя предложенный подход построения универсального устройства для манипуляций с битами данных, можно осуществить инструкции логического и циклического сдвигов данных.

Обзор задач, в которых использование приведенных выше инструкций обеспечивает увеличение производительности вычислительной системы от 2 до 10 раз, приведен в [2].

Устройства манипуляции битами данных просты при последовательной обработке машинного слова [3], но при разработке таких устройств существует проблема: достаточно высокая аппаратурная сложность блока декодирования битов управления переключателями [4, 5]. Аналогичная проблема возникает и при других подходах к разработке устройства, основанных, например, на использовании многоуровневой коммутационной сети *butterfly* [6]. В работе [7] показано, что при осуществлении логических и циклических сдвигов битов данных на базе обратной топологии сети *butterfly* удастся существенно упростить декодер бит управления и увеличить его быстродействие. При этом для построения универсального модуля манипуляции битами требуется две сети *butterfly* и *ibutterfly*, реализующие прямые и обратные преобразования. В работах [8–11] предпринят ряд шагов по упрощению и повышению быстродействия устройств, осуществляющих манипуляции битами данных, а в работе [12] описана практическая реализация универсального устройства манипуляции битами данных.

В работе [13] предложен способ построения универсального модуля, входящего в арифметико-логическое устройство процессора, для выполнения логических и циклических сдвигов, перестановок, осуществления выборки и размещения групп битов данных. Решение имеет эффективную аппаратурную реализацию, в частности для его реализации требуется только одна многоуровневая коммутационная сеть *baseline*.

Целью данной статьи является обоснование выбора архитектуры базового ядра и описание разработки и основных особенностей 32-разрядного RISC-процессора с улучшенной манипуляцией битами данных (OP-БМ) для средств навигации, обработки сигналов и изображений, криптографии, мобильных диагностических устройств.

Обоснование выбора архитектуры базового ядра микропроцессора для реализации OP-БМ

Параметры встраиваемых микропроцессорных ядер с открытым кодом приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты сравнения

Параметр	Процессорное ядро			
	<i>ARM</i>	<i>MIPS</i>	<i>SPARC</i> 2-ядерный <i>LEON3</i>	<i>OR1200</i>
Области применения микропроцессорного ядра	1	2	2	1
Стоимость лицензии на микропроцессорное ядро	100000\$	75000\$	100\$	0
Возможность использования в одной микросхеме нескольких микропроцессорных ядер	+	+	+	+
Средства энергосбережения	+	-	-	+

Параметр	Процессорное ядро			
	<i>ARM</i>	<i>MIPS</i>	<i>SPARC</i> 2-ядерный <i>LEON3</i>	<i>OR1200</i>
Средства цифровой обработки сигналов	-	-	-	+
Открытость схемотехники микросхемы для подключения своих <i>IP</i> -блоков и компонентов других производителей	+	+	+	+
Наличие в свободном доступе периферийных <i>IP</i> блоков, таких как контроллер дисплея, графический ускоритель, контроллер <i>CD Card</i> и т.п.	-	-	-	+
Переносимость исходных кодов микропроцессорного ядра на другие топологические библиотеки, чтобы обеспечивался переход на другую полупроводниковую фабрику	+	+	+	+

Примечание. Знак «+» – соответствие параметру, знак «-» – параметр отсутствует).

Следует отметить, что в табл. 1 не попали некоторые из доступных микропроцессорных ядер, например *PowerPC*, *Microblaze* и т. п. Однако они в той или иной степени обладают рассмотренными выше свойствами микропроцессорных ядер *ARM* и *MIPS*.

По распространённости микропроцессорного ядра лидером является *ARM*, далее следует *MIPS*, затем *SPARC* и *OpenRISC*.

В отношении области применения микропроцессорного ядра проведенный краткий анализ позволяет условно разделить рассмотренные микропроцессоры на 2 группы:

– с достаточно сложной высокопроизводительной архитектурой и умеренным энергопотреблением для мультипроцессорных распределённых вычислительных систем (*MIPS*, *SPARC*);

– с простой архитектурой и умеренной производительностью и низким энергопотреблением для мобильных систем с возможностью организации мультипроцессорных конфигураций (*ARM*, *OpenRISC*).

Все рассмотренные микропроцессорные ядра доступны, однако использование ядер *ARM* и *MIPS* связано со значительными начальными затратами (75–100 тыс. долл.). Лицензия на использование ядер *SPARC* недорогая (100 долл.), однако дополнительные компоненты могут стоить до нескольких десятков тысяч долларов. Наиболее доступными являются ядро и дополнительные компоненты *OpenRISC* 1200.

Все рассмотренные микропроцессорные ядра можно использовать в одной микросхеме, включающей несколько микропроцессорных ядер.

При разработке встроенных систем важными функциями являются энергосбережение и цифровая обработка сигналов. Причем первая есть у процессоров *ARM* и *OpenRISC*, а вторая – только у процессоров *OpenRISC*.

Открытыми схемотехническими решениями для подключения *IP*-блоков и компонентов других производителей являются *OpenRISC* и *SPARC*. Микропроцессорные ядра *ARM* и *MIPS* также допускают подключение *IP*-блоков и компонентов других производителей, однако потребуются дополнительные затраты. Кроме того, изменение архитектуры ядер *ARM* и *MIPS* проблематично.

Все рассмотренные микропроцессорные ядра обладают свойством переносимости исходных кодов микропроцессорного ядра на различные библиотеки производителя.

Из сравнения параметров, приведенных в табл. 1, следует, что только архитектуры *SPARC* и *OpenRISC* не требуют значительных (до 100 тыс. долл.) начальных вложений и наиболее доступны для применения.

Для мобильных систем с низким энергопотреблением целесообразно использовать в 1,5–2 раза более простое и, следовательно, более дешевое при реализации ядро на базе *OpenRISC 1000*.

Исходя из проведенного анализа данных, представленных в табл. 1, а также учитывая открытость *Hardware Description Language (HDL)* описаний и доступность лицензии на микропроцессорное ядро, для реализации ОП-БМ была выбрана базовая архитектура ядра *OpenRISC 1000*.

Процессорное ядро архитектуры OpenRISC

Процессорное ядро архитектуры *OpenRISC 1000* описывает семейство 32- и 64-разрядных процессоров с возможностью работы с плавающей точкой и выполнения векторных операций. Компания *ORSoC* предлагает профессиональную поддержку технологии *OpenCores* [14].

В настоящее время *OpenRISC 1000* проект, апробированный для создания недорогих процессоров, может быть выполнен на ПЛИС и в виде специализированных микросхем (*ASIC*).

Некоторые коммерческие организации реализовали свои проекты на базе архитектуры *OpenRISC 1000*, например проект *ORC32-1208*, осуществленный *ORSoC*, и проекты *BA12*, *BA14* и *BA22*, развиваемые фирмой *Beyond Semiconductor*. Компании *Flextronics International* и *Jennic Limited* создали *OpenRISC* как часть специализированной микросхемы. Фирма *Samsung* использует *OpenRISC 1000* в системе *ir DTV (SDP83 B-Series, SDP92 C-Series, SDP1001/SDP1002 D-Series, SDP1103/SDP1106 E-Series)*.

TechEdSat – первая *NASA OpenRISC Linux* архитектура, представленная в октябре 2012 г.

OpenRISC Linux архитектура использовалась на международной космической станции. Аппаратурное обеспечение, установка и тестирование выполнялись *ААС Microtec* и *ААС Microtec North America*.

Реализацией 32-разрядного процессора на базе *OpenRISC 1000* является процессор *OpenRISC 1200*. Блок-схема ядра этого процессора представлена на рис. 1.

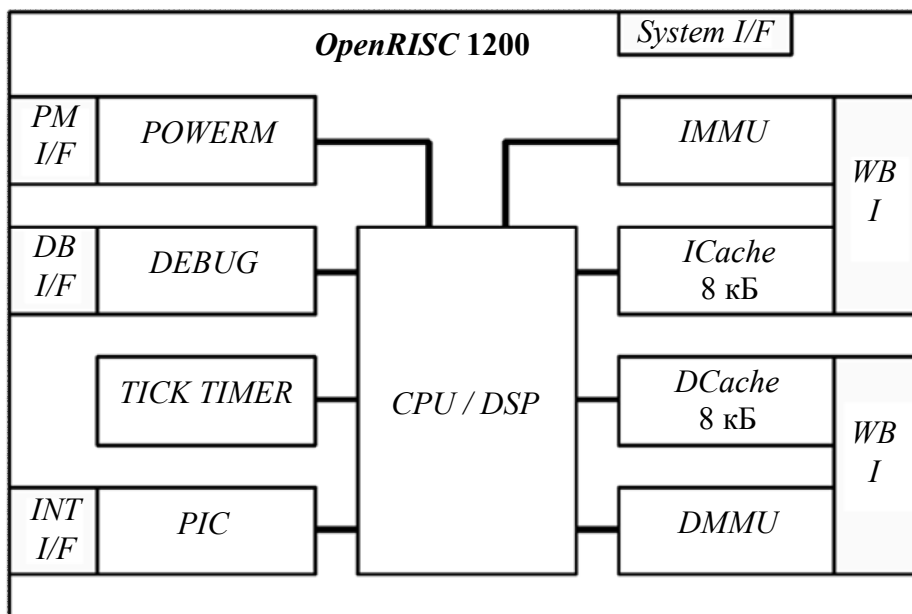


Рис. 1. Структурно-функциональная схема модуля осуществления инструкций манипуляции битами данных

Основой ядра является *CPU/DSP* высокопроизводительное центральное процессорное устройство с блоком цифровой обработки сигнала. Устройство *CPU* имеет 32-разрядную архитектуру, реализующую набор инструкций *ORBIS32*. Высокая производительность достигается использованием скалярного пятиступенчатого конвейера, обеспечивающего непрерывный поток обрабатываемых данных. Большинство инструкций процессор выполняет за один тактовый импульс.

Связь ядра *OpenRisc* с периферийными устройствами осуществляется шиной *WISHBORN*, что упрощает расширение системы дополнительными модулями собственной разработки. Эта шина выбрана потому, что широко используется для построения процессорных архитектур и не требует лицензирования.

В состав процессора может входить модуль вычислений с плавающей запятой, величина модулей кеш-памяти может изменяться в широких пределах. Процессор имеет производительность не менее *250 MIPS* при тактовой частоте *250 МГц*. Преимуществом его использования в системах реального времени является предсказуемость числа тактов, за которое выполняется прикладная задача.

Процессор имеет программируемый контроллер внешних прерываний *PIC* и 32 регистра общего назначения.

Модуль операций с плавающей точкой процессора позволяет выполнять операции с 32-разрядными числами за один такт генератора тактовых импульсов процессора.

Блок умножения с накоплением *DSP MAC 32×32* выполняет операцию с 32-разрядными числами за один такт.

Процессор имеет гарвардскую микроархитектуру с отдельными одноканальными блоками кеш-памяти прямого отображения для инструкций (*ICache*) и для данных (*DCache*), размеры которой могут меняться от 1 до 64 кБ.

Устройство управления памятью согласно гарвардской модели разделено на блок управления памятью с инструкциями *IMMU* и блок управления памятью с данными *DMMU*.

Каждый из блоков *IMMU* и *DMMU* включает одноканальный буфер ассоциативной трансляции (*lookaside buffer TLB*) размером 64 записи. Размер *TLB* может меняться в пределах от 16 до 256 записей.

Процессор имеет линейное адресное пространство с 32-битными виртуальными адресами и физическими адресами длиной от 24 до 32 бит. Размер страницы адресного пространства составляет 8 кБ.

Для экономии энергии процессор имеет в своем составе современный модуль управления питанием *POWERM* (см. рис. 1). Использование этого модуля дает возможность уменьшить потребляемую процессором энергию от 2 до 100 раз. При этом осуществляется программное переключение тактовой частоты процессора для режима с экономичным потреблением электроэнергии или для режима ожидания. Переключение режимов осуществляется также по внешнему прерыванию. В процессоре реализована технология уменьшения энергопотребления в цифровых системах за счёт запрета подачи тактовых сигналов на неиспользуемые цепи (*Dynamic clock gating*).

Улучшенный блок модуля отладки процессора *DEBUG* (см. рис. 1) включает устройство обработки исключений и позволяет выполнять трассировку программ, вводить в них точки останова и проводить мониторинг данных.

Интегрированный таймер *TICK TIMER* (см. рис. 1) предназначен для управления заданиями и точного измерения временных интервалов. Максимальный временной диапазон – 2^{32} длин тактовых импульсов. Реализованы маскируемое прерывание по времени и режимы одноразовой, повторной или непрерывной работы.

Программируемый контроллер прерываний *PIC* (см. рис. 1) с двумя приоритетами обслуживает 2 источника немаскируемых прерываний и 30 источников маскируемых прерываний.

Возможными областями применения процессора являются *Internet*-приложения, локальные сети и телекоммуникации, встраиваемые микропроцессорные устройства, портативные и беспроводные приложения, домашняя бытовая, автомобильная электроника.

Таким образом, платформа *OpenRISC* – общедоступная платформа процессора, которая обеспечивает много важных преимуществ по сравнению с другими коммерческими решениями:

- нет лицензионных сборов за использование *IP*-блоков, нет никаких ограничений на то, как использовать процессор;
- имеется доступ к исходному коду всех дополнительных *IP*-блоков;

– независимая технология: дизайн может легко быть перенесен между различными технологиями (*FPGA*, структурированный *ASIC* или стандартный *ASIC*);

– гибкий дизайн, так как клиент имеет полный доступ к исходному коду и возможность добавления/изменения/повторного использования дизайна.

Процессоры на базе архитектуры *OpenRISC* позиционируются, так же как и процессоры *ARM*, как основа для создания *достаточно производительных, дешевых микроконтроллеров с малым энергопотреблением.*

Архитектура процессора ОР-БМ

Процессор ОР-БМ выполнен на базе процессорного ядра *OR1200*. Изменены были арифметико-логическое устройство и модуль декодирования адресов регистров специального назначения (*SPR*) и доступа к *SPR*. В структуру процессора был добавлен блок модулей манипуляции битами данных, который будет описан далее. В работах [15, 16] были предложены алгоритм создания битовых преобразований и его аппаратурная реализация. На основе развития идей, положенных в основу этих работ, были сформулированы и доказаны положения, которые легли в основу использованного блока модулей манипуляции битами данных. Для автоматизированного формирования описаний модулей манипуляции битами данных с произвольной разрядностью был разработан программный модуль *GENBASE*.

Микропроцессор *OR1200* может выполнять 4 команды сдвига: *Shift Left Logical* – логический сдвиг влево; *Shift Right Logical* – логический сдвиг вправо; *Rotate Right* – циклический сдвиг вправо; *Shift Right Arithmetic* – арифметический сдвиг вправо.

В микропроцессоре ОР-БМ эти команды выполняются в блоке модулей манипуляции битами данных. Этот модуль также выполняет новые команды манипуляции данными, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Команды ОР-БМ для манипуляции битами данных

Команда	Описание
<i>bsn r₁ = r₂, ar.b₁, ar.b₂, ar.b₃</i>	Осуществление инструкции перестановки битов данных с использованием многоуровневой коммутационной сети <i>baseline</i> в соответствии с управляющими кодами в регистрах <i>ar.b₁</i> , <i>ar.b₂</i> , <i>ar.b₃</i> микропроцессора и запись результата в регистр <i>r₁</i> микропроцессора
<i>pex r₁ = r₂, r₃, ar.b₁, ar.b₂, ar.b₃</i>	Статическая инструкция извлечения группы битов из регистра <i>r₂</i> и размещение их в начале регистра <i>r₁</i> в соответствии с управляющими кодами в регистрах <i>ar.b₁</i> , <i>ar.b₂</i> , <i>ar.b₃</i> микропроцессора и запись результата в регистр <i>r₁</i> микропроцессора

Инструкция	Описание
$pdep\ r_1 = r_2, r_3, ar.b_1, ar.b_2, ar.b_3$	Статическая инструкция размещения группы битов регистра r_2 в регистре r_1 в соответствии с управляющими кодами в регистрах $ar.b_1, ar.b_2, ar.b_3$ микропроцессора и запись результата в регистр r_1 микропроцессора
$shr\ r_1 = r_2, r_3$	Логический сдвиг данных в регистре r_2 микропроцессора вправо на число бит, содержащееся в регистре r_3 микропроцессора, и запись результата в регистр r_1 микропроцессора
$shl\ r_1 = r_2, r_3$	Логический сдвиг данных в регистре r_2 микропроцессора влево на число бит, содержащееся в регистре r_3 микропроцессора, и запись результата в регистр r_1 микропроцессора
$rotr\ r_1 = r_2, r_3$	Циклический сдвиг данных в регистре r_2 микропроцессора вправо на число бит, содержащееся в регистре r_3 микропроцессора, и запись результата в регистр r_1 микропроцессора
$rotl\ r_1 = r_2, r_3$	Циклический сдвиг данных в регистре r_2 микропроцессора влево на число бит, содержащееся в регистре r_3 микропроцессора, и запись результата в регистр r_1 микропроцессора

Структурно-функциональная схема универсального устройства, осуществляющего инструкции, перечисленные в табл. 2, представлена на рис. 2: 1 – многоуровневая коммутационная сеть *baseline*; 2 – блок формирования битов маскирования и управления; 3 – мультиплексор 2→1 входных данных; 4 – мультиплексор 2→1 выходных данных; 5 – блок маскирования данных на входе; 6 – блок маскирования данных на выходе; 7 – m -разрядный мультиплексор 2→1 битов управления, где $m = n \log_2(n)/2$; 8 – входной соединитель; 9 – выходной соединитель; X_1-X_n – n -разрядный вход данных блоков 1, 5, 6, 8 и 9; $C_{1,1}-C_{n/2,k}$ – m -разрядный вход кода управления блока 1, где $k = \log_2(n)$; $X_{1,1}-X_{1,n}$ и $X_{2,1}-X_{2,n}$ – первый и второй входы, а Y_1-Y_n выход мультиплексоров 2→1 входных и выходных данных, блоков 1, 3, 4, 8 и 9; $C_{1,1,1}-C_{1,n/2,k}$ и $C_{2,1,1}-C_{2,n/2,k}$ – первый и второй m -разрядный вход блока 7, где $m = nk/2$, $k = \log_2(n)$; C_1-C_{n-1} – $(n-1)$ -разрядный выход кода управления блока 2; A_0-A_{k-1} – k -разрядный вход значения числа сдвига данных; AOR – бинарный вход управления первым блоком побитовой дизъюнкции; RL – бинарный вход управления направлением сдвига данных; $AMUX$ – бинарный вход управления n -разрядным мультиплексором 2→1 битов маскирования; $AIOR$ – бинарный вход управления n -разрядным мультиплексором 2→1 входных данных и вторым блоком побитовой дизъюнкции; $AOUT$ – бинарный вход управления n -разрядным мультиплексором 2→1 выходных данных; AC – бинарный вход управления m -разрядным мультиплексором 2→1 битов управления; F_1-F_n – вход битов маскирования входных и выходных данных; FO_1-FO_n – выход битов маскирования выходных данных; FI_1-FI_n – выход битов маскирования входных данных.

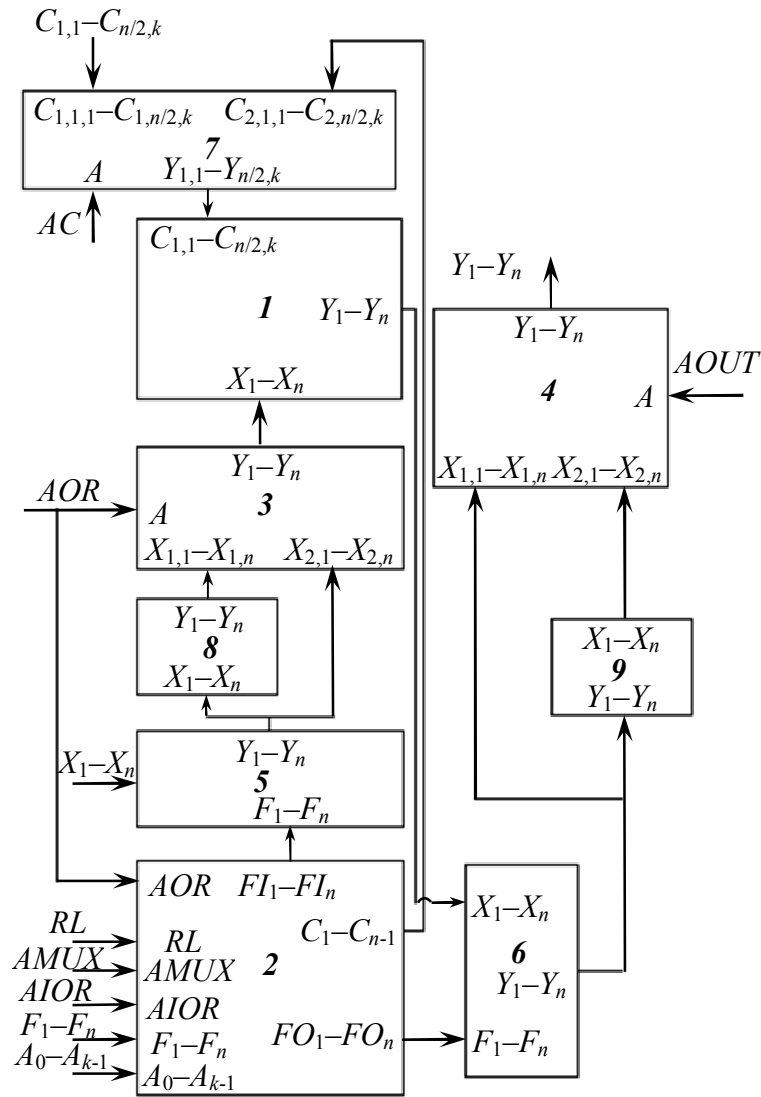


Рис.2. Структурно-функциональная схема модуля осуществления инструкций манипуляции битами данных

Выходной соединитель имеет n -разрядный вход X_1-X_n данных, n -разрядный выход Y_1-Y_n данных, где каждый входной разряд X_i с номером i , $i = 1, \dots, n$ соединен с выходным разрядом Y_j с номером j , причем если i – нечетное число, то $j = m$, если i – четное число, то $j = m + n/2$, где $m = \xi_{k-1}(\dots \xi_2(\xi_1(1))) \dots$, \dots , $\xi_p(x) = 2x-1+a_p$ значение a_p определяется двоичным представлением номера i : $i = a_{k-1}2^{k-1} + \dots + a_12^1 + a_02^0 + 1$. Таким образом, число m определяется путем последовательного вычисления функции ξ_p , где $p = 2, 3, 4, \dots, k$. Аргументом функции ξ_p является значение функции ξ_{p-1} , а аргументом функции ξ_1 будет 1. Обозначим через RP перестановку битов данных, которую выполняет выходной соединитель. Тогда входной соединитель аналогичен выходному, но выполняет обратную перестановку битов RP^{-1} .

В процессе работы модуля (см. рис. 2) на n -разрядный вход X_1-X_n устройства подаются данные, например, из регистра r_2 микропроцессора. При реализации инструкций rex или $pdep$ на n -разрядный вход F_1-F_n битов маскирования подаются биты маскирования, например, из регистра r_3 мик-

ропроцессора. Для реализации инструкций *bsn*, *pex* или *pdep* на m -разрядный вход $C_{1,1}–C_{n/2,k}$ кода управления матрицей, где $k = \log_2(n)$, подаются коды управления, например, из регистров *ar.b₁*, *ar.b₂*, *ar.b₃* микропроцессора. Для осуществления инструкций *shr*, *shl*, *rotr*, *rotl*, логического и циклического сдвигов на k -разрядный вход $A_0–A_{k-1}$ подается значение числа сдвига данных. Значение числа сдвига данных может содержаться, например, в младших битах регистра r_2 микропроцессора, так как при выполнении инструкций *shr*, *shl* биты маскирования создаются блоком формирования битов маскирования и управления, а при выполнении инструкций *rotr*, *rotl* биты маскирования не используются.

После выполнения одной из инструкций *bsn*, *pex*, *pdep* или сдвигов данных результат формируется на n -разрядном выходе данных $Y_1–Y_n$ устройства и записывается, например, в регистр r_1 микропроцессора.

Обоснование возможности осуществления приведенных выше инструкций можно найти в [1, 17, 18].

Режим работы модуля (см. рис. 2) задается подачей на бинарные входы управления *AOR*, *RL*, *AMUX*, *AIOR*, *AOUT*, *AC* управляющих сигналов в соответствии с табл. 3.

Таблица 3

Сигналы управления устройством перестановок и сдвигов битов данных

Инструкции	<i>RL</i>	<i>AOUT</i>	<i>AC</i>	<i>AMUX</i>	<i>AOR</i>	<i>AIOR</i>
<i>shr</i> $r_1=r_2, r_3$	0	1	1	0	1	–
<i>shl</i> $r_1=r_2, r_3$	1	1	1	0	1	–
<i>rotr</i> $r_1=r_2, r_3$	0	1	1	1	1	1
<i>rotl</i> $r_1=r_2, r_3$	1	1	1	1	1	1
<i>pex</i> $r_1=r_2, ar.b_1, ar.b_2, ar.b_3$	–	1	0	1	1	0
<i>pdep</i> $r_1=r_2, ar.b_1, ar.b_2, ar.b_3$	–	0	0	1	0	1
<i>bsn</i> $r_1=r_2, ar.b_1, ar.b_2, ar.b_3$	–	0	0	1	1	1

Для моделирования процессора была разработана поведенческая модель, которая исследовалась с использованием программной среды *SYSTEM STUDIO* [19, 20].

Микропроцессор ОР-БМ на ПЛИС *SPARTAN-6* фирмы *Xilinx*

Микропроцессор ОР-БМ был реализован и успешно протестирован с использованием ПЛИС *SPARTAN-6* фирмы *Xilinx*. Ниже приведены основные характеристики разработанной тестовой платы с микропроцессором ОР-БМ:

- микропроцессор ОР-БМ на базе *FPGA Xilinx Spartan-6 LX45*;
- частота тактового генератора микропроцессора 50 МГц;
- производительность 50 *MIPS*;
- оперативное запоминающее устройство размером 128МБ на базе *DDR2*;
- интерфейс Ethernet 100 Мб;
- универсальный асинхронный приёмопередатчик *UART*;

- интерфейс *HDMI* для подключения платы к монитору;
- установленный AC-97 кодек, разъемы для подключения микрофона и наушников;
- постоянное запоминающее устройство объемом 16МБ×4 на базе *SPI Flash* для конфигурирования и хранения данных;
- программируемый интерфейс для параллельного ввода-вывода информации.

На разработанной плате была успешно сгенерирована, загружена и проверена операционная система *Linux*. Образ операционной системы записывался в постоянное запоминающее устройство на плате вместе с образом процессора и загружался после включения питания или нажатия кнопки «Сброс».

Микропроцессорная плата может использоваться для решения задач без загрузки операционной системы. Для этого было опробовано программное обеспечение *u-boot* для загрузки приложений по сети с использованием 100 Мб или через универсальный асинхронный приёмопередатчик *UART*. Кроме этого, для выполнения фиксированной задачи её код может быть записан вместе с образом процессорного ядра в постоянное запоминающее устройство и загружен после включения питания.

Таким образом, в статье обоснован выбор *OPENRISC* в качестве базового ядра микропроцессора ОР-БМ. Приведены основные особенности 32-разрядного *RISC* микропроцессора ОР-БМ с улучшенной манипуляцией битами данных для средств навигации, обработки сигналов и изображений, криптографии, мобильных диагностических устройств. Указаны характеристики разработанной тестовой платы с установленным микропроцессором ОР-БМ, выполненным на базе ПЛИС *SPARTAN-6* фирмы *Xilinx*. Новые команды микропроцессора позволяют увеличить его производительность и сократить энергопотребление от 2 до 10 раз при решении задач обработки изображений, распознавания образов, кодирования, стеганографии, криптографии, обработки сигналов и т. п.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сотов Л. С. Методы синтеза устройств, выполняющих инструкции перестановки битов данных // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2011. Вып. 10 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Прикладные аспекты. Экономика. Методические аспекты физического образования. С. 25–50.
2. Сотов Л. С. Об эффективности использования специальных команд преобразования форматов данных в вычислительной технике // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2011. Вып. 10 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Прикладные аспекты. Экономика. Методические аспекты физического образования. С. 61–80.
3. Пат. 2320000 Российская Федерация, МПК G0 6F 7/76, G0 6F 12/14. Дешифратор управляемой побитовой транспозиции информации, хранимой в персональной ЭВМ / заявители Молодченко Ж. А., Сотов Л. С., Харин В. Н. ; патентообладатель Саратов. гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского. – № 2007105175/09 ; заявл. 13.02.2007 ; опубл. 20.03.2008, Бюл. № 8. – 6 с.
4. Пат. 2390052 Российская Федерация, МПК G0 6F 7/76. Дешифратор управляемой перестановки информации, хранимой в персональной ЭВМ / заявители Молодченко

- ко Ж. А., Сотов Л. С., Харин В. Н. ; патентообладатель Саратов. гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского. – № 2008132009/09 ; заявл. 06.08.2008; опубл. 20.05.2010, Бюл. № 14. – 8 с.
5. Пат. 2390049 Российская Федерация, МПК G0 6F 7/00. Параллельный дешифратор управляемой транспозиции информации, хранимой в персональной ЭВМ / заявители Молодченко Ж. А., Сотов Л. С., Харин В. Н. ; патентообладатель Саратов. гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского. – № 2008139529/09 ; заявл. 07.10.2008 ; опубл. 20.05.2010, Бюл. № 14. – 8 с.
6. *Hilewitz Y., Shi Z. J., Lee R. B.* Comparing Fast Implementations of Bit Permutation Instruction // Proceedings of the 38th Annual Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. Pacific Grove, California, USA. 2004. P. 1856–1863.
7. *Hilewitz Y., Lee R.* A New Basis for Shifters in General-Purpose Processors for Existing and Advanced Bit Manipulations // IEEE Transactions on Computing. Washington, DC, USA, 2009. Vol. 58, № 8. P. 1035–1048.
8. *Молодченко Ж. А., Сотов Л. С., Харин В. Н.* Математические модели транспозиционных преобразований // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2007. Т. 5, № 12. С. 58–60.
9. *Соболев С. С., Харин В. Н., Сотов Л. С.* Модели устройств кросс-кластерных перестановок данных в ЭВМ // Вестн. компьютерных и информационных технологий. 2009. № 12. С. 51–55.
10. *Молодченко Ж. А., Сотов Л. С., Харин В. Н.* Модели аппаратных функциональных формирователей перестановок // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. Т. 7, № 10. С. 78–84.
11. *Сотов Л. С.* Комбинаторная модель функционального формирователя разбиений бинарного множества // Информационные технологии. 2010. № 10. С. 46–52.
12. Пат. 2488161 Российская Федерация, МПК G0 6F 11/00. Устройство перестановок и сдвигов битов данных в микропроцессорах / заявитель Сотов Л. С. ; патентообладатель Саратов. гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского. – № 2011145864/08 ; заявл. 14.11.2011 ; опубл. 20.07.2013, Бюл. № 20. – 27 с.
13. *Сотов Л. С., Ачкасов В. Н.* Универсальный модуль манипуляции битами данных в микропроцессорах // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2011. Вып. 11. Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Прикладные аспекты. Экономика. Методические аспекты физического образования. С. 57–73.
14. OpenRisc. URL : <http://ru.wikipedia.org/wiki/OpenRISC> (дата обращения 01.04.2014).
15. *Молодченко Ж. А., Харин В. Н., Сотов Л. С.* Алгоритм создания диверсификационного метода битовых преобразований // Естественные и технические науки. 2007. № 6. С. 222–225.
16. *Молодченко Ж. А., Харин В. Н., Овчинников С. В., Сотов Л. С.* Модели аппаратных акселераторов перестановок бинарных множеств // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2008. Вып. 4 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Прикладные аспекты. Устройства различного назначения. С. 11–23.
17. *Сотов Л. С., Соболев С. С., Харин В. Н.* Кросс-кластерная коммутационная матрица для аппаратной поддержки управляемой перестановки данных в криптографических системах // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2009. № 4. С. 56–63.
18. *Молодченко Ж. А., Сотов Л. С., Харин В. Н.* Аппаратный акселератор сервера форматирования данных // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. Пенза : Изд-во Пензенского ун-та, 2007. Т. 1. С. 134–136.
19. *Сотов Л. С., Хвалин А. Л.* Средства разработки и исследования архитектурных моделей в сапр System Studio. Ч. 1 : Использование инструментов system studio при моделировании матричного генератора перестановок // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2008. Вып. 5 : Прикладные аспекты микро- и наноэлектроники. С. 121–145.
20. *Сотов Л. С., Хвалин А. Л.* Средства разработки и исследования архитектурных моделей в САПР System Studio. Ч. 2 : Основные объекты SYSTEMC и их использование // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2008. Вып. 5 : Прикладные аспекты микро- и наноэлектроники. С. 146–176.

МИНИАТЮРНАЯ КУРСОВЕРТИКАЛЬ ДЛЯ КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ

А. А. Игнатъев, Г. М. Проскуряков*, А. А. Маслов*

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: kof@sgu.ru

*ОАО «Институт критических технологий»
Россия, 410040, Саратов, пр. 50 лет Октября, 110А
E-mail: kbkt@renet.ru

В статье предложена схема миниатюрной курсовертикали для квазистационарных объектов на основе комплексирования трехосных блоков магнитометров и акселерометров. Приведены разработанные алгоритмы ее функционирования, а также численная оценка предельных погрешностей определения с помощью курсовертикали углов ориентации основания с учетом проявления первичных ошибок датчиков. Курсовертикаль, построенная на основе предлагаемых алгоритмов, может стать достойной альтернативой для зарубежных систем ориентации аналогичного типа.

Ключевые слова: курсовертикаль, трехосный блок магнитометров, трехосный блок акселерометров, алгоритм, функция чувствительности, угол ориентации, оценка погрешности.

Miniature Attitude and Heading Reference System for Quasistationary Objects

A. A. Ignatiev, G. M. Proskuryakov, A. A. Maslov

In the paper the scheme of miniature attitude and heading reference system for quasistationary objects based on the complex of three axes magnetometers and accelerometers blocks is presented. There are given the developed algorithms of its functioning, and also there is made numerical estimation of limit errors in determination of orientation angles of the base considering primary sensor errors by means of attitude and heading reference system. Attitude and heading reference system, constructed on the basis of given algorithms, may become a good alternative for foreign orientation systems of the similar type.

Key words: attitude and heading reference system, three axes magnetometer block, three axes accelerometer block, algorithm, function of sensitivity, angle of orientation, error estimation.

Существует особый класс стационарных и квазистационарных объектов, для которых выполнение основных функций (наблюдение, слежение, поиск, обнаружение, связь, перехват, навигация, управление и пр.) требует предварительного решения задачи автономной ориентации этого объекта в пространстве. К таким объектам можно отнести подводные или надводные платформы в виде донных или заякоренных буев, неманевренных или маломаневренных подводных аппаратов, гидроакустических поисковых станций, спущенных в воду на трос-кабеле с борта вертолета в режиме висения, мобильные антенные комплексы и системы связи в режиме их остановки, пусковые установки зенитных управляемых ракетных снарядов и переносных зенитных ракетных комплексов, подземные геологоразведочные сна-

ряды в поисковых и эксплуатационных буровых скважинах, корпоративные объекты в виде высаживаемого десанта, разведывательных групп, групп путешественников, альпинистов, охотников, грибников при решении ими задач локальной персональной автономной навигации и пр.

Для построения отсчетных систем координат на борту квазистационарных объектов с учетом требований автономности, малогабаритности (и даже миниатюрности), необходимости достижения высоких показателей точности, надежности, долговечности и отказоустойчивости на практике чаще всего применяются аналитические и полуаналитические бесплатформенные системы ориентации (БСО) на основе использования показаний трехосных блоков магнитометров (ТБМ), акселерометров (ТБА) и гироскопов (ТБГ).

Сформулированные выше требования можно выполнить в наибольшей степени с помощью магнитно-инерциальной курсовертикали (МКВ), построенной в виде миниатюрной измерительно-вычислительной системы на основе использования информации от двух блоков – ТБМ и ТБА (рис. 1).

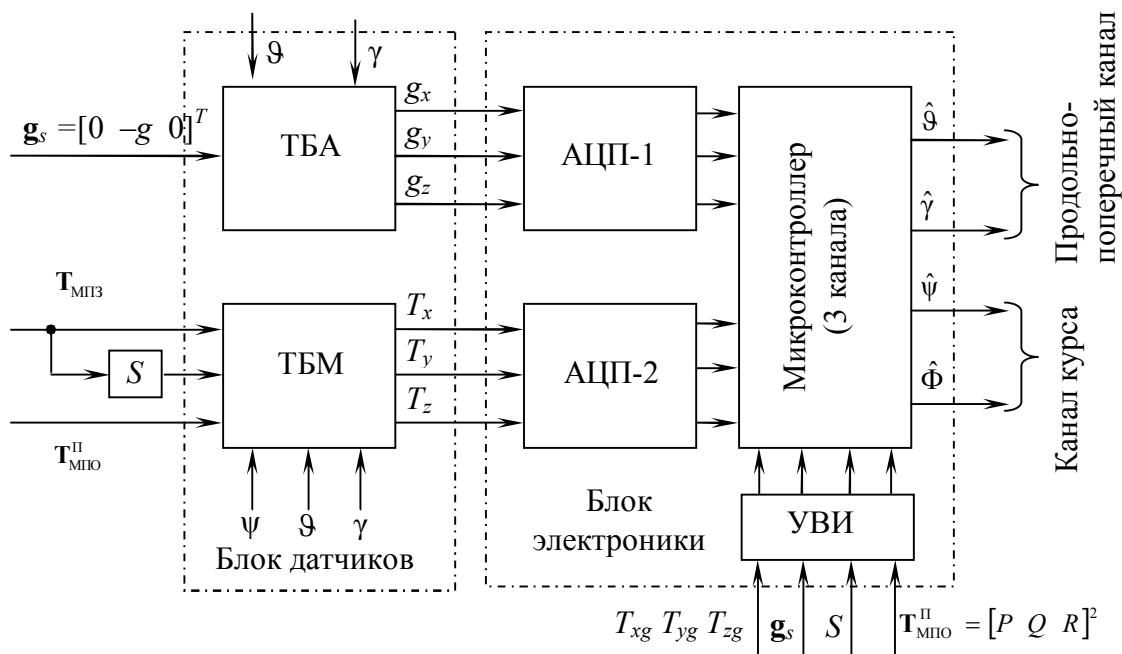


Рис. 1. Блок-схема миниатюрной магнитно-инерциальной курсовертикали: АЦП – аналого-цифровой преобразователь; УВИ – устройство ввода информации

В настоящей работе представлены разработанные алгоритмы функционирования миниатюрной курсовертикали магнитно-инерциального типа (МКВ-МИ) и результаты их исследования. Расчеты показывают, что угловая разрешающая способность блоков ТБМ и ТБА по углам курса (ψ), крена (γ) и тангажа (ϑ) с учетом их пороговых чувствительностей до 100 нТл и $10^{-3} g$ составляет несколько угловых минут, что вполне приемлемо для решения практических задач ориентации.

При построении предлагаемой МКВ-МИ были использованы принцип комплексирования средств измерений, метод обработки многомерной и мно-

госвязанной магнитно-инерциальной информации и способ решения обратных задач магнитно-инерциальных измерений и гетеромагнитометрии [1, 2].

Показания ТБМ и ТБА могут быть описаны с помощью уравнения Пуассона для магнитного квазистационарного основания и векторно-матричного уравнения преобразования координат вектора напряженности \mathbf{g} поля тяжести Земли (ПТЗ) [1]:

$$\mathbf{T} = (S + E) \cdot A_\gamma \cdot A_\vartheta \cdot A_\psi \cdot \mathbf{T}_{\text{МПЗ}} + \mathbf{T}_{\text{МПО}}^{\text{П}}, \quad (1)$$

$$\mathbf{g}_m = A_\gamma \cdot A_\vartheta \cdot A_\psi \cdot \mathbf{g}_s, \quad (2)$$

где \mathbf{T} , $\mathbf{T}_{\text{МПЗ}}$, $\mathbf{T}_{\text{МПО}}^{\text{П}}$ – векторы напряженностей магнитного поля Земли (МПЗ), магнитного поля основания (МПО) и результирующего магнитного поля; \mathbf{g}_s – вектор напряженности ПТЗ, отнесенный к неподвижной системе координат ($s = X_g Y_g Z_g$); \mathbf{g}_m – вектор напряженности ПТЗ, отнесенный к подвижной системе координат ($m = XYZ$); A_γ , A_ϑ , A_ψ – матрицы углов крена, тангажа (дифферента) и истинного курса; S – матрица коэффициентов Пуассона (3×3); E – единичная матрица (1×3). Векторы \mathbf{T} и \mathbf{g}_m – показания блоков ТБМ и ТБА соответственно. Причем

$$\mathbf{T}_{\text{МПЗ}} = [T_{xg} \ T_{yg} \ T_{zg}]^T, \quad (3)$$

$$\mathbf{T}_{\text{МПО}}^{\text{П}} = [P \ Q \ R]^T, \quad (4)$$

$$\mathbf{T} = [T_x \ T_y \ T_z]^T, \quad (5)$$

$$\mathbf{g}_s = [0 \ -g \ 0]^T, \quad (6)$$

$$\mathbf{g}_m = [g_x \ g_y \ g_z]^T. \quad (7)$$

Из уравнения Пуассона (1) видно, что показания ТБМ зависят не только от параметров МПЗ ($\mathbf{T}_{\text{МПЗ}}$), но и от характеристик МПО (S , $\mathbf{T}_{\text{МПО}}^{\text{П}}$) и ориентации основания (ψ , ϑ , γ). Следовательно, ТБМ может рассматриваться как гетеромагнитный модуль, реагирующий на магнитные ($\mathbf{T}_{\text{МПЗ}}$, S , $\mathbf{T}_{\text{МПО}}^{\text{П}}$) и немагнитные (ψ , ϑ , γ) величины [3].

Приведем показания ТБМ к немагнитному основанию:

$$\tilde{\mathbf{T}} = \begin{bmatrix} \tilde{T}_x \\ \tilde{T}_y \\ \tilde{T}_z \end{bmatrix} = (S + E)^{-1} \cdot \begin{bmatrix} T_x & -P \\ T_y & -Q \\ T_z & -R \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Тогда уравнения (1) и (2) можно привести к системе векторно-матричных уравнений:

$$\begin{cases} A \cdot \mathbf{T}_{\text{МПЗ}} = \tilde{\mathbf{T}}, \\ A \cdot \mathbf{g}_s = \mathbf{g}_m. \end{cases} \quad (9)$$

Причем матрица ориентации имеет вид

$$A = A_\gamma \cdot A_\theta \cdot A_\psi = [a_{ij}]_3^3, \quad (10)$$

где a_{ij} – направляющие косинусы.

Разрешая систему уравнений (9) с учетом соотношения (10) относительно направляющих косинусов, получим

$$\begin{aligned} a_{11} &= (\mathbf{g} \cdot T_r^2)^{-1} \cdot [T_{xg} \cdot (\mathbf{g}_x \cdot T_{yg} + \mathbf{g} \cdot \tilde{T}_x) - T_{zg} \cdot (\mathbf{g}_y \cdot \tilde{T}_z - \mathbf{g}_z \cdot \tilde{T}_y)], \\ a_{12} &= -\frac{\mathbf{g}_x}{\mathbf{g}}, \\ a_{13} &= (\mathbf{g} \cdot T_r^2)^{-1} \cdot [T_{zg} \cdot (\mathbf{g}_x \cdot T_{yg} + \mathbf{g} \cdot \tilde{T}_x) + T_{xg} \cdot (\mathbf{g}_y \cdot \tilde{T}_z - \mathbf{g}_z \cdot \tilde{T}_y)], \\ a_{21} &= (\mathbf{g} \cdot T_r^2)^{-1} \cdot [T_{xg} \cdot (\mathbf{g}_y \cdot T_{yg} + \mathbf{g} \cdot \tilde{T}_y) - T_{zg} \cdot (\mathbf{g}_z \cdot \tilde{T}_x - \mathbf{g}_x \cdot \tilde{T}_z)], \\ a_{22} &= -\frac{\mathbf{g}_y}{\mathbf{g}}, \\ a_{23} &= (\mathbf{g} \cdot T_r^2)^{-1} \cdot [T_{zg} \cdot (\mathbf{g}_y \cdot T_{yg} + \mathbf{g} \cdot \tilde{T}_y) + T_{xg} \cdot (\mathbf{g}_z \cdot \tilde{T}_x - \mathbf{g}_x \cdot \tilde{T}_z)], \\ a_{31} &= (\mathbf{g} \cdot T_r^2)^{-1} \cdot [T_{xg} \cdot (\mathbf{g}_z \cdot T_{yg} + \mathbf{g} \cdot \tilde{T}_z) - T_{zg} \cdot (\mathbf{g}_x \cdot \tilde{T}_y - \mathbf{g}_y \cdot \tilde{T}_x)], \\ a_{32} &= -\frac{\mathbf{g}_z}{\mathbf{g}}, \\ a_{33} &= (\mathbf{g} \cdot T_r^2)^{-1} \cdot [T_{zg} \cdot (\mathbf{g}_z \cdot T_{yg} + \mathbf{g} \cdot \tilde{T}_z) + T_{xg} \cdot (\mathbf{g}_x \cdot \tilde{T}_y - \mathbf{g}_y \cdot \tilde{T}_x)]. \end{aligned} \quad (11)$$

Направляющие косинусы a_{ij} ($i, j = \overline{1,3}$), вычисленные по формулам (11), должны удовлетворять следующим условиям:

– коллинеарности осей:

$$\sum_{j=1}^3 a_{ij} = 1 \quad (i, j = \overline{1,3}); \quad (12)$$

– ортогональности осей:

$$\sum_{j=1}^3 a_{ij} \cdot a_{kj} = 0 \quad (i, j, k = \overline{1,3}); \quad (13)$$

- связанности направляющих косинусов;
- невырожденности и нормированности матрицы ориентации

$$\begin{aligned} \det A &= 1, \\ \det A &\neq 0. \end{aligned} \quad (14)$$

Алгоритмы ориентации (алгоритмы работы МКВ-МИ) позволяют вычислить функции углов ориентации основания через направляющие косинусы a_{ij} ($i, j = \overline{1,3}$):

- по каналу курса:

$$\begin{aligned} \sin(\psi) &= \frac{a_{13}}{\sqrt{a_{22}^2 + a_{32}^2}}, \\ \sin(\psi) &= \frac{a_{13}}{\sqrt{a_{11}^2 + a_{13}^2}}, \\ \cos(\psi) &= \frac{a_{11}}{\sqrt{a_{11}^2 + a_{13}^2}}, \\ \cos(\psi) &= \frac{a_{11}}{\sqrt{a_{22}^2 + a_{32}^2}}; \end{aligned} \quad (15)$$

- по каналу крена:

$$\begin{aligned} \sin(\gamma) &= -\frac{a_{32}}{\sqrt{a_{22}^2 + a_{32}^2}}, \\ \sin(\gamma) &= -\frac{a_{32}}{\sqrt{a_{11}^2 + a_{13}^2}}, \\ \cos(\gamma) &= \frac{a_{22}}{\sqrt{a_{22}^2 + a_{32}^2}}, \\ \cos(\gamma) &= \frac{a_{22}}{\sqrt{a_{11}^2 + a_{13}^2}}; \end{aligned} \quad (16)$$

- по каналу тангажа (дифферента):

$$\begin{aligned} \sin(\vartheta) &= a_{12}, \\ \cos(\vartheta) &= \sqrt{a_{11}^2 + a_{13}^2}, \\ \cos(\psi) &= \sqrt{a_{22}^2 + a_{32}^2}. \end{aligned} \quad (17)$$

Проведенный численный анализ выражений (11)–(17) показал, что алгоритмы функционирования МКВ-МИ, описываемые соотношениями (8),

(11)–(17), являются нелинейными, многомерными, а иногда плохо обусловленными (в определенных режимах качки основания дают неустойчивые расходящиеся решения).

Для проверки правильности вычислений по алгоритмам ориентации (11)–(17) в конце сеанса обработки полученной магнито-инерциальной информации необходимо проводить контроль по алгоритму нормировки тригонометрических функций углов курса, крена и тангажа:

$$\begin{aligned}\sin^2(\psi) + \cos^2(\psi) &\equiv 1, \\ \sin^2(\gamma) + \cos^2(\gamma) &\equiv 1, \\ \sin^2(\vartheta) + \cos^2(\vartheta) &\equiv 1.\end{aligned}\tag{18}$$

Для немагнитного или слабомагнитного основания алгоритмы работы МКВ можно упростить, положив условия $S = 0$, $T_{\text{МПО}}^{\text{II}} = 0$, исключив преобразование (8) и подставив формулы (11) в соотношения (15)–(17).

Проведенный анализ предложенных алгоритмов показывает, что в условиях квазигоризонтального положения основания ($\vartheta \approx \gamma \approx 0$) алгоритмы функционирования МКВ-МИ в виде соотношений (8), (11)–(18) проявляют избирательную чувствительность при различных углах курсов $\psi \in [0, 360^\circ]$ к первичным погрешностям датчиков – ΔT для ТБМ и Δg для ТБА.

Для численной оценки чувствительности разработанных алгоритмов к первичным погрешностям датчиков на основе теории функций чувствительностей была проведена линеаризация алгоритмов (11)–(17) путем разложения функций (15)–(17) в степенные ряды Тейлора с ограничением только линейными членами. Таким путем получены формулы для вычисления функций чувствительности (в настоящей работе не приводятся из-за их громоздкости) и выражения для оценки предельных погрешностей вычисления функций углов ориентации:

$$\begin{aligned}(\Delta \sin \psi)_{\text{пред}} &= F_{g\psi}^{\text{max}} \cdot \Delta g + F_{T\psi}^{\text{max}} \cdot \Delta T, \\ (\Delta \cos \psi)_{\text{пред}} &= N_{g\psi}^{\text{max}} \cdot \Delta g + N_{T\psi}^{\text{max}} \cdot \Delta T, \\ (\Delta \sin \gamma)_{\text{пред}} &= M_{g\gamma}^{\text{max}} \cdot \Delta g + M_{T\gamma}^{\text{max}} \cdot \Delta T, \\ (\Delta \cos \gamma)_{\text{пред}} &= K_{g\gamma}^{\text{max}} \cdot \Delta g + K_{T\gamma}^{\text{max}} \cdot \Delta T, \\ (\Delta \sin \vartheta)_{\text{пред}} &= P_{g\vartheta}^{\text{max}} \cdot \Delta g + P_{T\vartheta}^{\text{max}} \cdot \Delta T, \\ (\Delta \cos \vartheta)_{\text{пред}} &= Q_{g\vartheta}^{\text{max}} \cdot \Delta g + Q_{T\vartheta}^{\text{max}} \cdot \Delta T,\end{aligned}\tag{19}$$

где $F_{g\psi}^{\text{max}}$, $F_{T\psi}^{\text{max}}$, ..., $Q_{T\vartheta}^{\text{max}}$ – максимальные значения функций чувствительности алгоритмов ориентации по синусам и косинусам углов ψ , ϑ , γ к первичным погрешностям ТБА (Δg) и ТБМ (ΔT).

Зависимости функций чувствительности от курса ψ основания для каналов курса, крена и тангажа приведены на рис. 2–7.

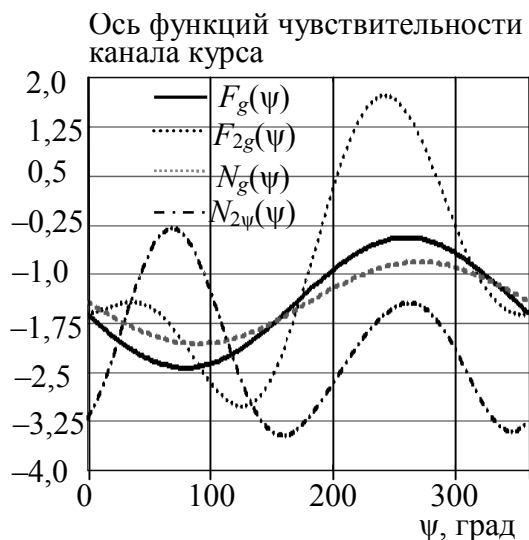


Рис. 2. Зависимость функций чувствительности канала курса от первичных ошибок ТБА

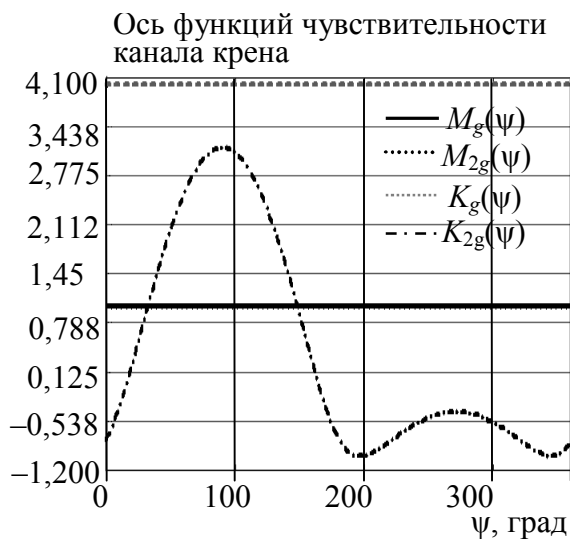


Рис. 3. Зависимость функций чувствительности канала крена от первичных ошибок ТБА

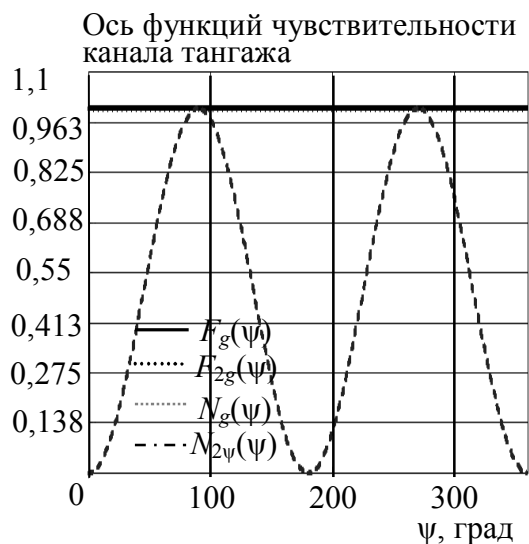


Рис. 4. Зависимость функций чувствительности канала тангажа от первичных ошибок ТБА

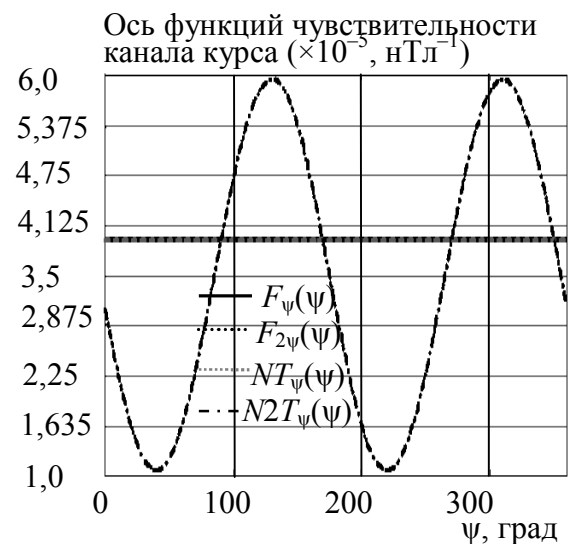


Рис. 5. Зависимость функций чувствительности канала курса от первичных ошибок ТБМ

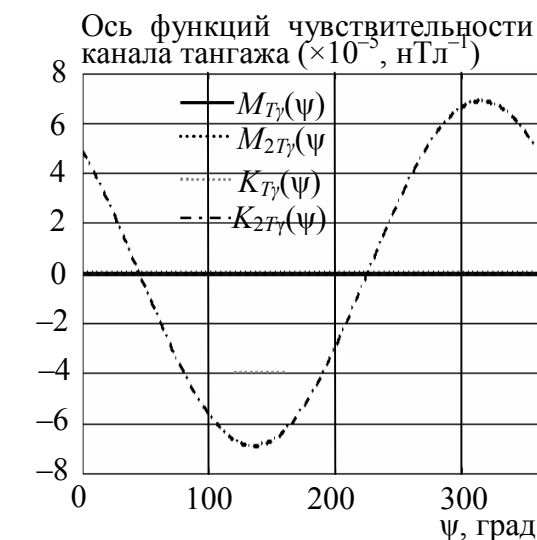


Рис. 6. Зависимость функций чувствительности канала тангажа от первичных ошибок ТБМ

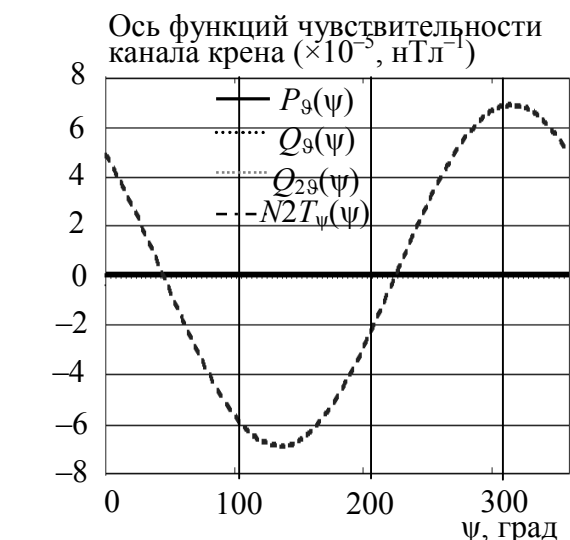


Рис. 7. Зависимость функций чувствительности канала крена от первичных ошибок ТБМ

Видно, что графики имеют регулярный характер.

Функции чувствительностей алгоритмов к первичным погрешностям датчиков представляют собой производные от функций синусов и косинусов (15)–(17) углов ориентации по погрешностям Δg для ТБА и ΔT для ТБМ. Например, для функций чувствительности алгоритмов канала курса можно записать:

$$\begin{aligned}
 F_{gx\psi} &= \frac{d(\sin \psi)_o}{dg_x}, \\
 F_{gy\psi} &= \frac{d(\sin \psi)_o}{dg_y}, \\
 F_{gz\psi} &= \frac{d(\sin \psi)_o}{dg_z}, \\
 F_{g\psi} &= F_{gx\psi} + F_{gy\psi} + F_{gz\psi}, \\
 N_{gx\psi} &= \frac{d(\cos \psi)_o}{dg_x}.
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

Аналогично можно написать выражения для функций чувствительности алгоритмов каналов крена и тангажа.

Семейства графиков для предельных погрешностей вычисления по формулам (19) функций углов ориентации в зависимости от уровня первичных погрешностей датчиков (Δg – ТБА, ΔT – ТБМ) представлены на рис. 8–11.

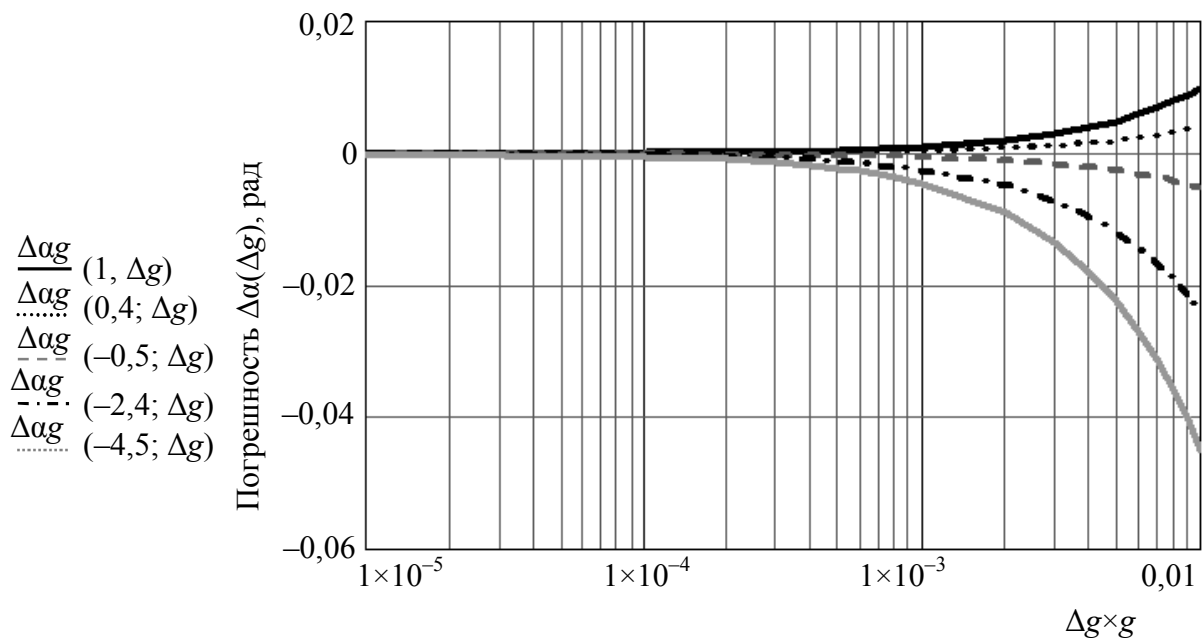


Рис. 8. Погрешность акселерометров

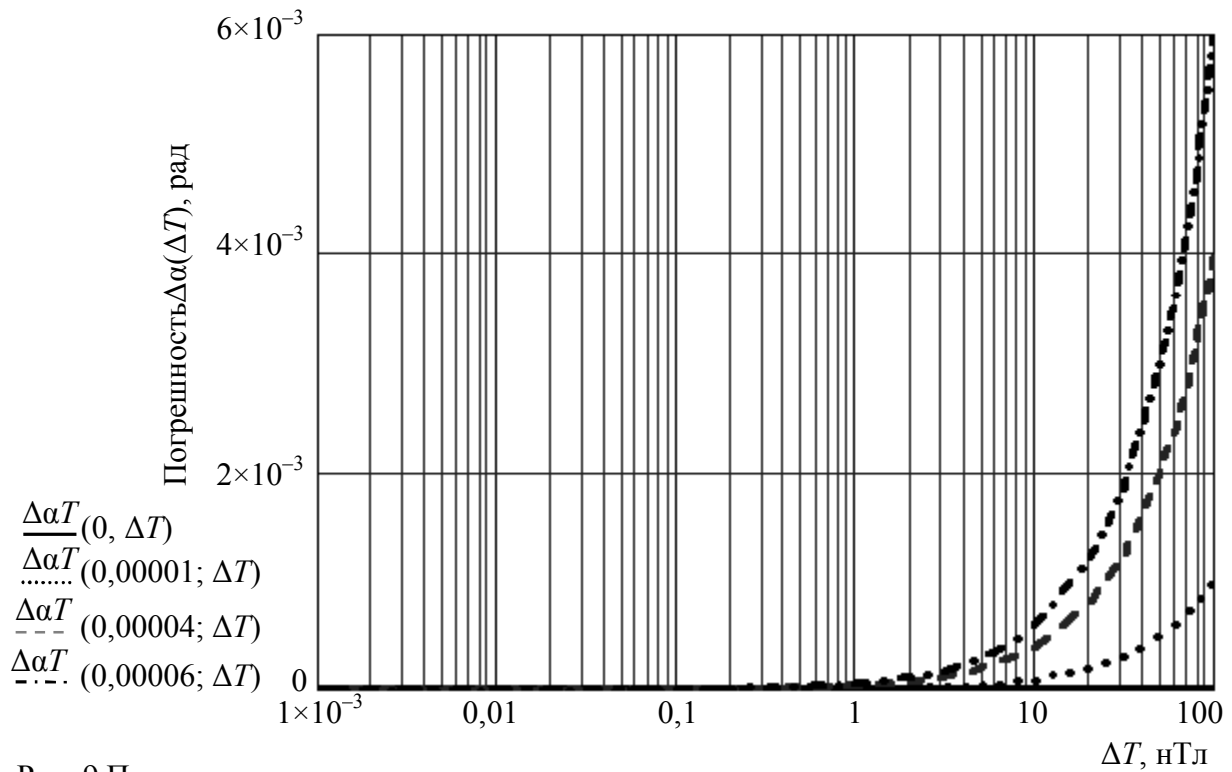


Рис. 9 Погрешность магнитометров

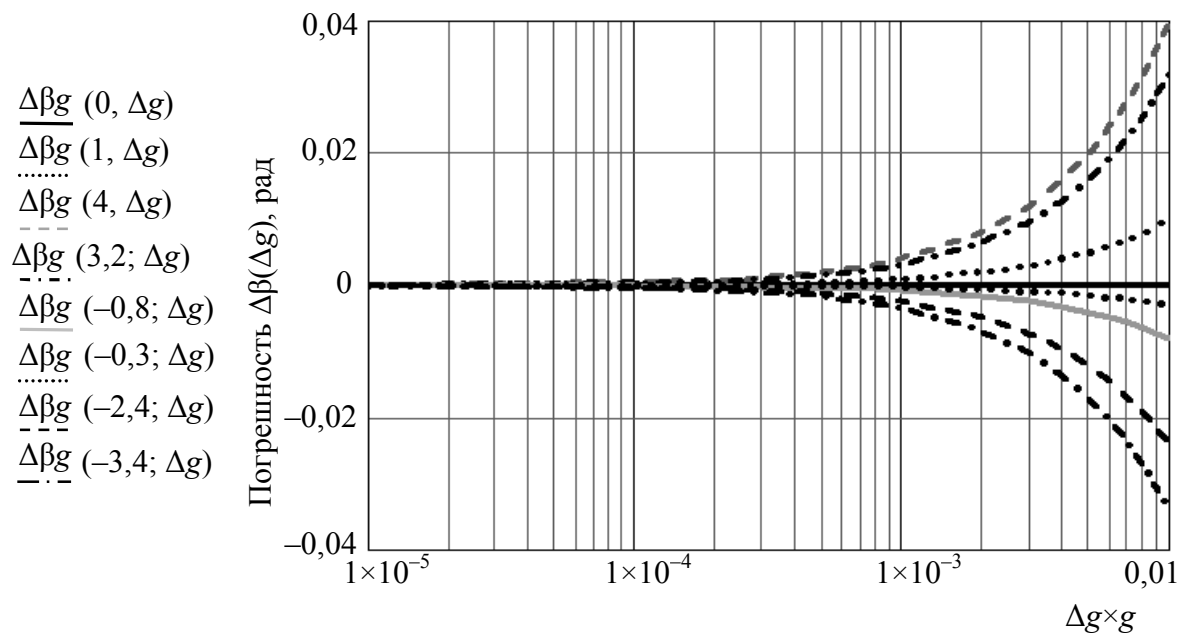


Рис. 10. Погрешность акселерометров

Численный анализ функций чувствительности с использованием формул (19) и графиков (см. рис. 8–11) показывает, что при величинах допустимых первичных погрешностей датчиков на уровне $\Delta T = 10^2$ нТл и $\Delta g = 10^{-3}g$ можно достичь определения углов ориентации основания с погрешностями, не превышающими $\Delta\psi \leq 0,66^\circ$, $\Delta\gamma \leq 0,6^\circ$, $\Delta\theta \leq 0,5^\circ$ (без учета технологических, эксплуатационных и вычислительных погрешностей).

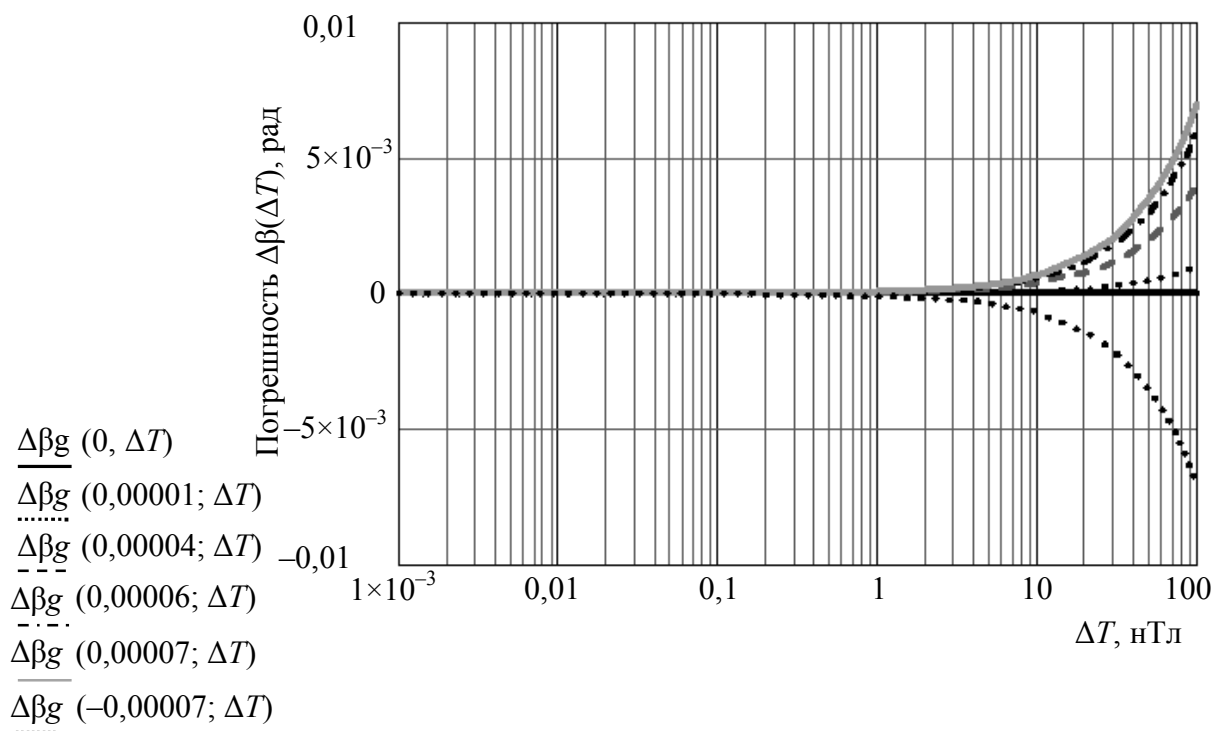


Рис. 11. Погрешность магнитометров

Полученные результаты оценок выполняемых МКВ-МИ функций и ее погрешностей определения углов ориентации основания достаточно хорошо согласуются с соответствующими данными, характеризующими возможности и точностные характеристики выпускаемых серийно зарубежных образцов-аналогов миниатюрных магнитно-инерциальных систем ориентации μ POINT HMR-3600, True Point Compass Module HMR-3500 (фирма Honeywell, США) [4] и LSM9DS0, LSM9DS1 (фирма ST, США) [5]. Однако эта продукция и ее программно-алгоритмическое обеспечение в настоящее время недоступны для потенциальных потребителей России. В этих условиях разработка и выпуск отечественной МКВ-МИ на основе реализации приведенных алгоритмов обработки магнитно-инерциальной информации в настоящее время являются актуальными. Сама курсовертикаль, построенная на основе предложенных алгоритмов, станет достойной отечественной альтернативой аналогичной зарубежной продукции.

Показатели точности, самопроверяемости каналов и контуров (за счет функциональной избыточности информации), надежности и отказоустойчивости работы МКВ-МИ, а также способность ее работы на подвижном основании можно значительно улучшить и расширить, если в дополнении к магнито-метрическому (от ТБМ) и акселерометрическому (от ТБА) каналам измерений организовать тахометрический канал (от ТБГ на базе MEMS-гироскопов) с дополнительным программно-алгоритмическим обеспечением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Семевский Р. Б., Аверкиев В. В., Яроцкий В. А.* Специальная магнитометрия. СПб. : Наука, 2002. 228 с.
2. *Ингатъев А. А., Ляшенко А. В.* Гетеромагнитная микроэлектроника : микро-системы активного типа. М. : Наука, 2007. 612 с.
3. *Игнатъев А. А., Проскуряков Г. М., Каюшкина Е. А.* Проблемы и перспективы развития прецизионной магнитометрии // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2013. Вып. 15 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. С. 93–104.
4. Изделие HMR3500. URL : <http://web.arrow.com/sites/default/files/pdfs/hmr3500.pdf> (дата обращения : 11.05.2014).
5. Изделие LSM9DS1. URL : http://www.st.com/web/catalog/sense_power/FM89/SC1448/PF259998 (дата обращения : 11.05.2014).

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФИЗИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 001.891, 001.895

РЕАЛИЗАЦИЯ МАГИСТЕРСКОЙ ПРОГРАММЫ «МАГНИТОЭЛЕКТРОНИКА В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ И БЕЗОПАСНОСТИ» НАПРАВЛЕНИЯ 011200 «ФИЗИКА»

А. А. Игнатъев, С. П. Кудрявцева, Л. А. Романченко

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: kof@sgu.ru

В статье представлено содержание действующего нового учебного плана подготовки магистров по программе «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности».

Ключевые слова: магистерская программа, учебный план, магнитоэлектроника, защита информации.

Realization of Master Program «Magnetoelectronics in the Information Protection and Safety Systems» of Direction 011200 «Physics»

A. A. Ignatiev, S. P. Kudryavceva, L. A. Romanchenko

In the article there is presented the content of the current curriculum for master program «Magnetoelectronics in the information protection and safety systems».

Key words: master program, curriculum, magnetoelectronics, information protection.

На кафедре общей физики в 2013 году разработана основная образовательная программа подготовки магистров «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» [1, 2] и начато обучение магистрантов.

Программа направлена на подготовку магистров для научно-исследовательских и производственных организаций, развивающих инновационные гетеромагнитные технологии на основе микро- и наноэлектронной базы при разработке новых типов датчиковых систем для автономной геомагнитной навигации, спецсистем вооружения, дефектоскопии, новых аппаратных устройств и методов для систем защиты информации, безопасности и противодействия терроризму.

В общенаучной и профессиональной подготовке магистров участвуют 4 кафедры физического факультета Саратовского государственного университета: общей физики, компьютерной физики и метаматериалов, прикладной физики, базовая кафедра физики критических и специальных технологий, а также кафедра твердого тела факультета нано- и биомедицинских технологий.

Согласно учебному плану студенты изучают обязательные дисциплины и дисциплины по выбору.

Обязательные дисциплины 1-го года обучения:

- «Философские вопросы естествознания»;
- «Специальный физический практикум»;
- «Компьютерные технологии в науке и образовании»;
- «Физика квантово-размерных структур»;
- «Аналитические методы теории флуктуационных процессов»;
- «Функциональный анализ физических задач»;
- «Современные проблемы физики»;
- «История и методология физики»;
- «Современные системы автоматизированного проектирования микро- и наноструктурных устройств»;
- «Магнетизм в квантово-размерных структурах»;
- «Системное моделирование на языке описания аппаратуры»;
- «Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника в системах информации и безопасности».

Обязательные дисциплины 2-го года обучения:

- «Специальный физический практикум»;
- «Синтез цифровых устройств на базе ПЛИС»;
- «Анализ и синтез моделей физических систем с дискретным временем»;
- «Моделирование полупроводниковых приборов и устройств для систем информации и безопасности».

В первый год обучения студентам предлагается выбрать для изучения 2 дисциплины из двух блоков соответственно:

- «Физические принципы записи и хранения информации», «Криптографические и стеганографические методы и средства защиты информации»;
- «Методы обработки результатов эксперимента», «Микро- и наноструктурные датчики физических величин в системах информации и безопасности».

Во второй год обучения студенты должны выбрать 3 дисциплины по выбору из трех блоков соответственно:

- «Введение в компьютерную графику и методы визуализации эксперимента», «Введение в методы кодирования данных»;
- «Микропроцессорные средства автоматизации», «Алгоритмы точных машинных вычислений»;
- «Технические средства защиты информации для гетеромагнитных микро- и наноустройств», «Методы шифрования и дешифрования информации для систем безопасности».

Магистранты также могут дополнительно изучать факультативные дисциплины:

- на 1-м курсе – «Формирование, обработка и средства передачи информации», «Научный отчет: структура и критерии»;
- на 2-м курсе – «Физика сильных электромагнитных полей».

Подготовка магистров включает 2 вида учебной практики: научно-исследовательскую на 1-м курсе и педагогическую на 2-м курсе, а также научно-производственную практику на 2-м курсе.

Базой для научно-исследовательской и научно-производственной практик является ОАО «Институт критических технологий» (г. Саратов).

Научно-исследовательская практика включает освоение метрологии физических величин, проведение экспериментальных работ, выработку умений по оформлению протоколов измерений, систематизации полученного материала.

Научно-производственная практика предусматривает участие в выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских тем, в изготовлении учебных и учебно-научных установок.

Научно-исследовательская работа магистрантов осуществляется в соответствии с индивидуальным планом и составляет 468 часов согласно учебному плану магистерской программы.

Во втором семестре магистранты выполняют курсовые работы, темы которых отражают их научно-исследовательскую деятельность. Темы курсовых работ в 2013/14 учебном году:

- «Разработка модели магниточувствительного ЖИГ резонатора»;
- «Цифровая обработка данных с гетеромагнитного первичного преобразователя (ГМПП)»;
- «Расчет модели открытой осесимметричной магнитной системы»;
- «Магниточувствительные микросхемы»;
- «Вопросы защиты информации ограниченного доступа»;
- «Гетеромагнитный виброметр».

Традиционно результаты научно-исследовательской работы магистрантов представляются на студенческой научной конференции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А.* Обучение по направлению «Физика»: от профиля бакалавриата «Фундаментальная и экспериментальная физика» к магистерской программе «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» // Российское педагогическое образование в условиях модернизации : сб. науч. тр. 9-й Междунар. заоч. науч.-метод. конф. Саратов : Наука, 2013. С. 125–127.

2. *Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А.* Магистерские программы и перспективы развития магистратуры на кафедре общей физики СГУ // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2013. Вып. 14 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. С. 123–130.

**ФИЗИКА В САРАТОВСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ.
К 100-ЛЕТИЮ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
И 70-ЛЕТИЮ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА**

В. М. Аникин

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: AnikinVM@info.sgu.ru

Приводятся краткие сведения о научной и образовательной деятельности физического факультета Саратовского университета за 1914–2014 гг.

Ключевые слова: Саратовский университет, физический факультет.

**Physics in Saratov University.
to the 100 Anniversary of the Physical Institute
and the 70th Anniversary of Faculty of Physics**

V. M. Anikin

Information about scientific and educational activities of the physical faculty of Saratov University within the period 1914–2014 is given.

Key words: Saratov State University, faculty of physics.

В 2014 году исполняется 100 лет с момента завершения строительства третьего корпуса Саратовского государственного университета. Здание изначально предназначалось для научных и учебных занятий физикой, что подчеркивает надпись в старой орфографии на его фронте – «ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТЪ». Период становления физического образования и физической науки в Саратове связан с двумя выдающимися представителями научной школы знаменитого русского физика Петра Николаевича Лебедева – Владимиром Дмитриевичем Зёрновым и Константином Александровичем Леонтьевым. Если первый, образно говоря, «вдохнул жизнь» в профессиональное физическое образование в Саратове, то второй из названных профессоров явился основоположником главного на протяжении многих десятилетий научного направления на факультете – радиофизического.

До какой-то степени символично, что основной период развития физики в Саратовском государственном университете (СГУ) имеет «граничными условиями» два крупных события международного ранга, которые состоялись в Большой физической аудитории СГУ: заседание VI Всесоюзного съезда физиков 1928 г. с широким международным участием и XX Международный симпозиум «Наноструктуры: физика и технологии» 2012 г. Оба события оказали несомненное влияние на процесс развития физической науки в СГУ.

Оба мероприятия проводились в одном формате: участники плыли по Волге (в первом случае на пароходе «Алексей Рыков», во втором на тепло-

ходе «Федор Шаляпин») с остановками в университетских городах: Нижнем Новгороде, Казани и Саратове (в 2012 г. добавилась Самара). Примерно одинаковым был и количественный состав участников: около 160 в 1928 г. и около 200 в 2012 г.

В Саратове 15 августа 1928 года состоялось заключительное заседание VI съезда, на котором выступили Макс Борн (Гёттинген, Германия), Антон ван Аркель (Эйндховен, Голландия) и Филипп Франк (Прага, Чехия) [1]. Главными организаторами съезда были академик А. Ф. Иоффе – председатель оргкомитета (президент съезда), профессора П. П. Лазарев и В. И. Романов – заместители председателя оргкомитета (вице-президенты съезда), доцент С. И. Вавилов – секретарь оргкомитета, будущий президент АН СССР.

Заседания съезда проходили в августе 1928 г. в городах маршрута: Москва (МГУ-1, Большая физическая аудитория на Моховой, 5–9 августа) – Нижний Новгород (10 августа) – Казань (11 августа) – Саратов (СГУ, Большая физическая аудитория, 15 августа). Среди выступивших на съезде зарубежных физиков были М. Борн, Л. Н. Бриллюэн, Дж. Э. Дарвин, К. Шебль, Ст. Пиенковски, Ч. Бялобржески, Р. В. Ладенбург, П. Принсгейм, П. Д. У. Дебай, П. А. М. Дирак, Ф. Франк, Г. Н. Льюис, Р. В. Поль, Р. Э. фон Мизес, В. Г. Гайтлер, Ф. В. Лондон, П. Йордан, А. ван Аркель, а из российских ученых – А. Ф. Иоффе, П. П. Лазарев, Д. Д. Иваненко, Л. Д. Ландау, Я. И. Френкель, Г. С. Ландсберг, Л. И. Мандельштам, В. Р. Бурсиан, Т. П. Кравец, Д. А. Рожанский, Н. Н. Семенов, В. А. Ульянин. В числе участников съезда были также А. А. Лебедев, П. А. Ребиндер, Д. С. Рождественский, В. А. Фок и другие ученые.

Уже само перечисление имен характеризует тематическую направленность съезда: молекулярная физика, оптика, электромагнетизм, теоретическая физика, физическая химия, рентгеновские лучи, акустика, биофизика, геофизика, техническая физика [1]. Все эти научные направления в последующие годы получили развитие на физическом факультете СГУ, причем в ряде направлений (биофизика, медицинская фотоника, оптика и спектроскопия, радиофизика, теоретическая физика) научные результаты достигли мирового уровня. Они представлены в авторитетных международных научных журналах, а также в учебниках и монографиях, изданных в ведущих научных издательствах (см., например, [2–10]).

Некоторые из участников съезда 1928 г. впоследствии стали нобелевскими лауреатами (М. Борн, П. Д. У. Дебай, П. А. М. Дирак, Н. Н. Семенов, Л. Д. Ландау). Среди же выступавших в Большой физической аудитории на симпозиуме 2012 г. был лауреат Нобелевской премии по физике 2000 года вице-президент РАН Ж. И. Алферов. Преподаватели и студенты услышали также сообщения директора Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, члена Президиума РАН, руководителя Саратовского научного центра РАН академика Ю. В. Гуляева, член-корреспондента РАН С. А. Никитова, возглавляющего работу НИИ механики и физики СГУ в области создания метаматериалов, а также ака-

демиков РАН Р. А. Суриса и заместителя председателя президиума Дальневосточного отделения РАН Ю. Н. Кульчина. Тематика симпозиума полностью определялась его названием.

Но вернемся немного вглубь истории. Физический факультет был образован как самостоятельное структурное подразделение 18 июля 1945 г. (с 1 июня 1917 г. он функционировал в рамках физико-математического факультета) в соответствии с постановлением правительства (Совнаркома) СССР в целях обеспечения подготовки специалистов в области физических наук для нужд народного хозяйства. Эта всеобъемлющая формулировка предусматривала подготовку специалистов-физиков для различных форм деятельности: и научно-исследовательской, и конструкторской, и инновационной, и эксплуатационной, и организационной в интересах укрепления оборонного и технического потенциала страны.

За 70 лет работы физического факультета (начиная с 1945 г.) подготовлено около 15000 специалистов. Многие из них достигли успехов на различных поприщах. Среди выпускников факультета – академики и члены-корреспонденты Академии наук СССР и Российской академии наук, носители звания «Герой социалистического труда», лауреаты Государственной премии и премии Правительства России, доктора и кандидаты наук, крупные организаторы российской и саратовской промышленности и науки; космонавт-исследователь АН СССР, руководители и преподаватели всех саратовских вузов, депутаты законодательных органов страны и различных регионов, министры и сотрудники правительства Саратовской области, профессора зарубежных университетов, генералы и офицеры, сотрудники органов государственной безопасности и дипломатической службы, руководители и сотрудники современных исследовательских, производственных, эксплуатационных и финансовых организаций, включая предприятия оборонно-промышленного комплекса, руководители и сотрудники предприятий различных сфер деятельности и форм собственности.

В составе факультета в настоящее время 9 кафедр, на которых работают 30 докторов и 50 кандидатов наук. Факультет полностью перешел на трехуровневую систему высшего образования (бакалавриат, магистратура, аспирантура). Ежегодно на различные ступени образования проводится зачисление до 180 человек. На факультете поддерживается богатый спектр образовательных программ по следующим направлениям бакалавриата:

- «Физика» (с профилями «Фундаментальная и экспериментальная физика», «Оптика и лазерная физика», «Физика живых систем», «Компьютерная физика»);
- «Радиофизика» (с профилями «Информационные технологии и компьютерное моделирование в радиофизике», «Физика и техника электронных средств»);
- «Биотехнические системы и технологии»;
- «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»;
- «Конструирование и технологии электронных средств»;
- «Педагогическое образование».

В магистратуре факультета ведется обучение в рамках магистерских программ «Теоретическая и экспериментальная физика», «Биофизика», «Медицинская фотоника», «Физика оптических явлений», «Магнитоэлектроника в системах защиты информации», «Радиофизические системы и комплексы», «Педагогическое образование».

Успешно ведется подготовка аспирантов, процент защит на факультете – один из лучших как в университетском, так и общероссийском масштабах. На базе факультета работают два диссертационных совета, которые охватывают достаточно широкий круг направлений и специальностей (радиофизика, оптика, лазерная физика, твердотельная электроника, физическая электроника, биофизика). Физический факультет является лидером среди факультетов университета по объему научных исследований, проводимых в рамках многочисленных научных отечественных и международных грантов, научных публикаций (монографий, учебников, научных статей) в ведущих издательствах России. Активно развиваются широкие международные научные и образовательные связи.

В заключение приведем некоторые памятные даты из истории физического факультета СГУ в XXI столетии (даты XX столетия см. [11]).

Физический факультет в XXI веке

2009 г. 100-летие Саратовского университета и кафедры общей физики.

2009 г. Журнал «Гетеромагнитная микроэлектроника» включен в список изданий, рекомендуемых ВАК для публикации результатов докторских и кандидатских диссертаций.

2010 г. Журнал «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия физика» включен в список изданий, рекомендуемых ВАК для публикации результатов докторских и кандидатских диссертаций.

2010 г. Научная школа проф. В. С. Анищенко признана Российской академией естествознания ведущей научной школой РФ по радиофизике и нелинейной динамике.

2010 г., май. Встреча выпускников физического факультета 1980 г.

2010–2012 гг. 20 студентов, аспирантов и молодых сотрудников физического факультета получили гранты по программе У.М.Н.И.К.

2010–2012 г. Образовательные программы физического факультета по специальностям «Физика» и «Радиофизика» признаны Национальным центром общественно-профессиональной аккредитации, журналом «Аккредитация в образовании» и Гильдией экспертов в сфере профессионального образования лучшими в России.

2011 г. Воссоздан Институт механики и физики СГУ.

2011 г., март. Заведующий кафедрой оптики и биофотоники В. В. Тучин приглашен руководителем мегапроекта в университет University of Oulu (Финляндия), рассчитанного на 2011–2014 гг.

2011 г., май. Встреча выпускников физического факультета 1976 г.

2011 г., сентябрь. Физический факультет полностью перешел на двухуровневую систему подготовки (бакалавриат и магистратура) по направлениям подготовки «Физика», «Радиофизика», «Педагогическое образование. Физика». Преподавателями кафедры оптики и биофотоники (заведующий кафедрой профессор В. В. Тучин) разработана оригинальная основная образовательная программа по направлению «Физика живых систем».

2011 г. Вышла в свет книга воспоминаний «Антарктика – Космонавтика. Экстремальная тональность жизни» выпускника физического факультета 1956 г. доктора физико-математических наук, профессора, ученого секретаря Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН, г. Троицк Московской обл.), космонавта АН СССР Ординарда Пантелеймоновича Коломийцева (1933–2012). Страницы книги содержат воспоминания, посвященные годам учебы на радиофизическом (втором физическом) факультете СГУ [6].

2012 г. Профессор В. Л. Дербов перевел на русский язык современный фундаментальный учебник «Оптика и фотоника: принципы и применения» (авторы Б. Е. А. Салех и М. К. Тейх; издательство «Интеллект») общим объемом более 1500 страниц.

2012 г., 18 февраля. При подведении итогов работы журнала «*The Journal of Biomedical Optics*» за 2011 год доцент кафедры оптики и биофотоники А. Н. Башкатов признан редакционной коллегией журнала одним из лучших рецензентов.

2012 г., март. Присвоение декану факультета профессору В. М. Аникину звания «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации».

2012 г., 9 мая. Представители физического факультета встретились с ветераном Великой Отечественной войны Еленой Михайловной Овчинниковой (Муромцевой), участницей подполья в белорусском г. Орше и партизанского движения в Белоруссии, бывшей сотрудницей НИИ механики и физики СГУ.

2012 г., 23 мая. На заседании Ученого совета физического факультета диплом и мантия почетного доктора Саратовского университета вручены профессору Юргену Куртсу (*Jurgen Kurth*, Германия).

2012 г., июнь. Встреча выпускников физического факультета 1962 г.

2012 г., июль–август. Коллективы кафедр оптики и биофотоники (дважды) и радиофизики и нелинейной динамики стали победителями очередного этапа конкурса Министерства образования и науки РФ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы».

2012 г., сентябрь. Встреча выпускников физического факультета 1997 г.

2012 г. Книга профессора В. В. Тучина «Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях» (М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010) признана лучшей на конкурсе международной научно-технической организации «Лазерная ассоциация» в номинации «Учебные пособия, справочные и научно-популярные издания лазерной тематики».

2012 г., декабрь. Заведующий кафедрой радиофизики и нелинейной динамики В. С. Анищенко награжден Европейской научно-промышленной палатой дипломом качества и золотой медалью за «фундаментальные исследования в области нелинейной теории колебаний и теории флуктуаций в нелинейных системах».

2012, 2013 гг. Научная школа профессора В. В. Тучина признана ведущей научной школой России и удостоена грантов президента Российской Федерации.

2013 г., февраль. 100-летие коллекции физических приборов и лекционных демонстраций физического факультета. День открытых дверей.

2013 г., апрель. В московском издательстве «ИНФРА-М» третьим изданием вышло методическое пособие В. М. Аникина и Д. А. Усанова «Диссертация в зеркале автореферата», рекомендованное аспирантам, соискателям ученой степени и членам диссертационных советов.

2013 г., май–июнь. Состоялись встречи выпускников физического факультета 1957–1977 гг.

2013 г., июнь. Профессора В. С. Анищенко и В. М. Аникин награждены Европейским научно-промышленным консорциумом орденом «*Labor et Scientia – Трудом и Знанием*» «за признанный мировым сообществом вклад в науку и образование».

2013 г., сентябрь. На факультете началась подготовка бакалавров по направлению «Биотехнические системы и технологии».

2013 г., 18 сентября. На физическом факультете впервые в истории факультета и университета начались занятия по курсу «Китайский язык для физиков» (автор и ведущий курса доцент К. А. Гребенюк).

2013 г., октябрь. 70-летие со дня рождения профессора В. С. Анищенко отмечено специальным выпуском международного научного журнала «*European Physical Journal – Special Topics*» (2013. № 10).

2013 г., 4 февраля. 70-летие заслуженного деятеля науки Российской Федерации, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой оптики и биофотоники В. В. Тучина.

2014 г., 6 апреля. День науки и образования, посвященный 100-летию 3-го учебного корпуса СГУ.

2014 г., май. Встреча выпускников физического факультета 1959 г.

2014 г., сентябрь. На физическом факультете начинается подготовка бакалавров по новым направлениям «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и «Конструирование и технология электронных средств».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Born M.* VI Kongreß der Assoziation der russischen physiker // Die Naturwissenschaften. 1928. В. 16, heft 39. S. 741–743.

2. *Tuchin V. V., Wang L., Zimnyakov D. A.* Optical Polarization in Biomedical Applications. Berlin, Heidelberg, N. Y. : Springer-Verlag, 2006. 281 p. (Ser.: Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering).

3. *Тучин В. В.* Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. 478 с.

4. Тучин В. В. Оптика биологических тканей. Методы рассеяния света в медицинской диагностике : пер. с англ. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2013. 811 с.
5. Anishchenko V. S. Dynamical Chaos – Models and Experiments. Singapoure : World Scientific, 1995. 384 p.
6. Anishchenko V. S., Astakhov V. V., Neiman A. B., Vadivasova T. E, Schimansky-Geier L. Nonlinear Dynamics of Chaotic and Stochastic Systems. Berlin : Springer, 2002. 450 p.
7. Анищенко В. С., Вадивасова Т. Е. Лекции по нелинейной динамике. М. ; Ижевск : Изд-во «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. 500 с.
8. Аникин В. М., Голубенцев А. Ф. Аналитические модели детерминированного хаоса. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. 328 с.
9. Ignatiev A. A. Magnetolectronics of Microwaves and Extremely High Frequencies in Ferrite Films. N. Y. ; Heidelberg : Springer, 2009. 333p.
10. Ignatiev A. A., Lyashenko A. V. Heteromagnetic Microelectronics : Microsystems of Active Type. N. Y. ; Heidelberg : Springer, 2010. 506 p.
11. Аникин В. М. Физическому факультету СГУ – 65 лет // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2011. Вып. 9 : Магнитоэлектроника. Микро- и наноструктуры. Прикладные аспекты. Проблемы физического образования. С. 4–16.

УДК 378.4

ЮБИЛЕЙНЫЙ ГОД ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

А. А. Игнатъев, О. Г. Данке

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: kof@sgu.ru

В статье отмечены наиболее значимые события в жизни Физического института – ныне 3-го учебного корпуса за 100 лет, рассмотрены основные этапы развития кафедры общей физики – ровесницы университета.

Ключевые слова: кафедра общей физики, коллекция физических приборов, физический практикум.

Saratov State University Physics Institute's Anniversary Year

A. A. Ignatiev, O. G. Danke

The article marks the most significant events in the life of the Physics Institute (the 3 academic building now) for 100 years; it also describes the main stages of the development of the Department of general physics which is the same age as the University.

Key words: Department of general physics, collection of physical devices, physical practical work.

В 2014 г. Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского (СГУ) и его ровесница кафедра общей физики отмечают ряд юбилейных дат. Это, прежде всего, 105-летие со дня основания Саратовского университета (10 июня 1909 г. на императорской яхте «Штандарт» Николай II подписал закон «Об основании университета в

г. Саратове и отпуске средств на этот предмет», а 6 декабря 1909 г. (по старому стилю здесь и далее) состоялись торжества по случаю открытия университета). Ныне это один из ведущих вузов России [1, 2].

Физическому институту 100 лет

4 октября 1909 г. было введено в строй здание Физического института. Ныне это 3 учебный корпус СГУ – главное здание физиков, в котором учились, работали и продолжают плодотворно трудиться несколько поколений физиков г. Саратова.

Начало формирования физического образования в Саратовском университете связано с именем магистра физики, а затем профессора Владимира Дмитриевича Зёрнова – основателя и первого заведующего кафедрой физики (впоследствии – общей физики). В. Д. Зёрнов стоял у истоков проектирования здания Физического института, а затем был членом строительной комиссии. Он был первым ректором-физиком университета, первым деканом физико-математического факультета.

Из воспоминаний В. Д. Зёрнова [3]

«Строительство и общее оборудование здания института заняло три строительных сезона, и только в конце 1913 года, перед самым Рождеством, нам наконец-то удалось перебраться из временного помещения у Царских ворот (бывшая Фельдшерская школа – прим. авторов) в роскошные здания на Московской площади.

К самому концу 1913 года постройка и оборудование Физического института были закончены, и мы перенесли всю аппаратуру, коллекции и лаборатории в новое здание.

Теперь мы перешли в роскошные помещения. Чудесная аудитория, просторные лаборатории, прекрасная аккумуляторная батарея и машины с переменным и постоянным током. К этому времени мы построили специальный университетский газовый завод, который давал нам прекрасный чрезвычайно теплотворный нефтяной газ. Одним словом, все сведения, которые я получил от П. Н. Лебедева и от заграничных командировок при знакомстве с устройством и функционированием заграничных институтов, и всю мою любовь к новому моему детищу я вложил в устройство Физического института...

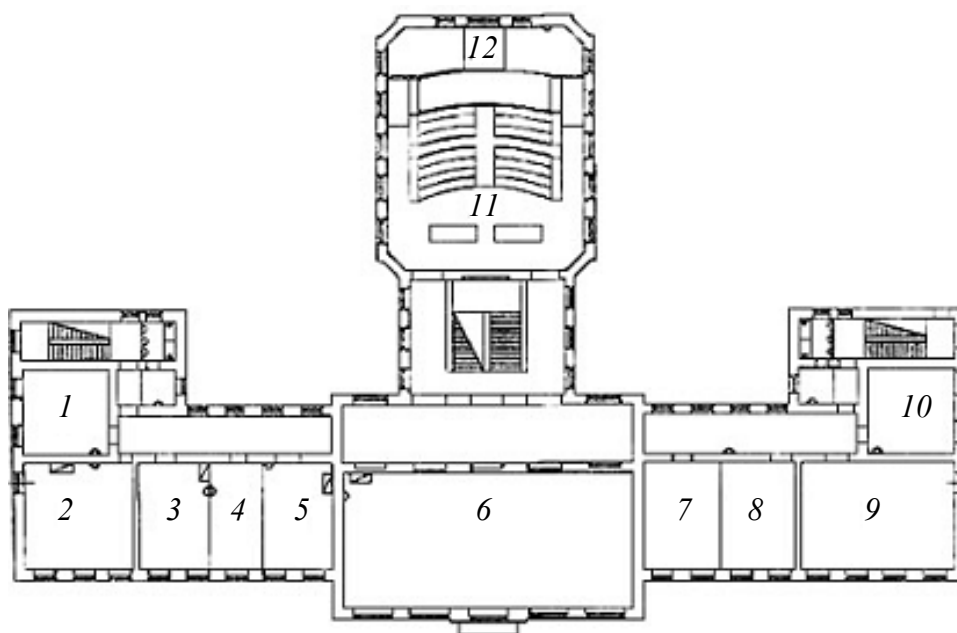
Весенний семестр я начал читать уже в большой физической аудитории...» (рисунок).

Из истории кафедры общей физики

Среди учебных аудиторий главенствующую роль стала играть Большая (позже физическая) аудитория (БФА) с набором её основных элементов: амфитеатр с площадкой для эпидиаскопа Цейса, лекторский стол с во-

допроводом и сливом, две боковые аудиторные доски с «бесконечными» полотнами и центральным экраном, подъёмный алюминиевый экран для проекций с лекторского стола, светильниками и подъёмными оконными шторами.

Определяющие облик БФА элементы были выполнены по художественному рисунку архитектора К. Л. Мюфке. БФА, как и все здание Физического института, получила центральное отопление и проточно-вытяжную вентиляцию. Это было основным видом отопления. Все лабораторные помещения были оснащены газом и водопроводом, электропроводкой с переменным и постоянным током, вытяжными шкафами, а оптические и фотографические – двойным затемнением окон.



План второго этажа корпуса Физического института: 1 – библиотека; 2 – кабинет профессора; 3 – кабинет ассистента; 4 – фотографическая; 5 – кабинет ассистента; 6 – Коллекция; 7, 8, 10 – лаборатории; 9 – Малая аудитория; 11 – Большая аудитория; 12 – приготовительная

Коллекции физических приборов 100 лет

Коллекция физических приборов (с 1992 г. музей физических приборов и лекционных демонстраций) начала комплектоваться В. Д. Зерновым с 1912 года и собиралась в течение десятилетий [4]. Уникальность ее заключается в том, что большинство хранящихся в ней приборов находится в рабочем состоянии. В разное время приборы из Коллекции передавались в различные учебные учреждения: Саратовский педагогический институт (в момент его выделения из университета, 1933 г.), Воронежский университет и Сталинградский политехнический институт (после Великой Отечественной войны).

Лекционная демонстрация является неотъемлемой частью системы преподавания курсов «Общая физика» и «Физика», в которые входят разделы «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм» и «Оптика». Физика как опытная наука требует экспериментального подтверждения, а ее преподавание – наглядного и запоминающегося эксперимента. Наглядность и эффективность – основные требования к лекционным демонстрациям.

Из воспоминаний В. Д. Зёрнова [3]

«Переход кафедры физики в новое здание Физического института на Московской площади, начавшийся в конце 1913 года, продолжался всё весеннее полугодие 1914 года. Официально же институт вступил в строй 4 октября 1914 года после того, как членами строительной комиссии и Правления Саратовского университета был произведён детальный осмотр всего здания и составлен акт его приёмки».

С В. Д. Зёрновым в становлении и первоначальном развитии кафедры активно участвовали И. М. Серебряков – механик, В. К. Заборовский – первоначально лаборант, затем – ассистент, В. Е. Сретницкий – первый старший ассистент, Ф. Ф. Троицкий – лаборант, затем зав. производством научно-конструкторской лаборатории (позже – экспериментальные мастерские), И. В. Кочетков – механик по машинной и аккумуляторной. Ф. Ф. Троицкий и И. В. Кочетков проработали на кафедре до конца своих дней.

Из истории кафедры общей физики

1 июля 1917 г. в Саратовском университете был открыт в числе других физико-математический факультет в составе 2 отделений: физико-математического и естественного. Первым деканом был избран профессор В. Д. Зёрнов – заведующий кафедрой опытной физики.

Первая мировая война, а затем Гражданская война, естественно, сказались на состоянии университета и его факультетов. Часть помещения физико-математического факультета и здание Физического института были заняты под госпитали, а затем школами. Учебные помещения в зимнее время не отапливались.

Проводимые реформы в университете сильно влияли на стабильность учебного и научного процессов (слияние факультетов, выделение отдельных ячеек в самостоятельные, предметный метод обучения и пр). Однако уже в первом семестре 1919/20 учебного года только один физико-математический факультет насчитывал 1400 студентов. В 1922 г. физико-математический факультет и вливающийся в университет Институт народного образования вошли в состав созданного вновь педагогического факультета.

В здании Физического института – 3-м учебном корпусе располагались практически все вновь созданные кафедры физического факультета, а многие из них и сегодня находятся в нем:

– кафедра общей физики (1909 г., заведующий магистр физики профессор В. Д. Зёрнов);

- кафедра теоретической физики (1936 г., заведующий канд. физ.-мат. наук, доцент Л. С. Шехтер);
- кафедра оптики (1946 г., заведующий канд. физ.-мат. наук, доцент М. Л. Кац);
- кафедра физики твердого тела (1945 г., заведующая канд. физ.-мат. наук, доцент З. И. Кирьяшкина);
- кафедра химической физики (1947 г., заведующий канд. физ.-мат. наук, доцент А. Д. Степухович);
- кафедра радиофизики (1945 г., заведующий доктор физ.-мат. наук, профессор В. И. Калинин);
- кафедра электроники (1952 г., заведующий доктор физ.-мат. наук, профессор П. В. Голубков, с 1953 г. – канд. физ.-мат. наук, доцент Б. М. Заморозков);
- кафедра электро и радиотехники (1952 г., заведующий доктор физ.-мат. наук, профессор В. И. Калинин, с 1953 г. – канд. физ.-мат. наук, доцент В. Я. Красильников);
- кафедра физики вакуума (1952 г., заведующий ведущий специалист в промышленности Б. М. Комраков).

Кафедре общей физики 105 лет

Об истории кафедры общей физики, основных этапах и вехах ее развития за 100 лет (1909–2009 гг.) представлены материалы в [5, 6].

В настоящей статье мы остановимся на основных учебных, научных, инновационных результатах, достигнутых за последние 5 лет (период с 2009 по 2014 г.).

Учебные дисциплины «Физика» и «Общая физика» (лекции и практические и семинарские занятия), «Общий физический практикум» (лабораторные занятия) реализуются в рамках существующих государственных образовательных стандартов на физическом факультете, а также в Институте химии и 4 факультетах: механико-математическом, геологическом, нано- и биомедицинских технологий, социологическом.

В рамках многоуровневого образования кафедра обеспечивает чтение лекций по общим и специальным дисциплинам, проведение практических и лабораторных занятий по профилям «Компьютерная физика» и «Фундаментальная и экспериментальная физика» направления «Физика». Обучение в бакалавриате рассчитано на 4 года.

Магистерские программы по направлению «Физика» реализуются по профилям подготовки «Физика современных радиоэлектронных технологий» (2009–2011 гг.), «Физика микро- и низкоразмерных систем с цифровыми технологиями» (2011–2013 гг.), «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» (2013–2015 гг.).

Обучение студентов предусматривает различные виды практик: ознакомительную, научно-исследовательскую и производственную в ОАО «Институт критических технологий» (г. Саратов) по договорам, заключенным с СГУ.

В рамках программы «Национальный исследовательский университет» продолжает приобретение передового испытательного, измерительного и технологического оборудования для модернизации лабораторий кафедры общей физики.

Кафедра общей физики и базовая кафедра физики критических и специальных технологий постоянно представлены результатами своих разработок в инновационно-презентационном центре СГУ (открыт 19 декабря 2011 г.).

С 2004 г. начал выходить в свет сборник научных статей «Гетеромагнитная микроэлектроника» с периодичностью 2 раза в год (ISSN 1810-9594, индекс издания по объединенному каталогу «Пресса России» 29005, учредитель ОАО «НИИ-Тантал», издательство СГУ, ответственный редактор заведующий кафедрой общей физики профессор А. А. Игнатьев). В сборнике представлены материалы по новому отечественному направлению. В 2009 г. сборник внесён в Перечень изданий ВАК, свидетельство о регистрации в средствах массовой информации ПИ № ФС 77-35636 от 17.03.2009. Затем в этом журнале дополнительно было разрешено депонировать рукописи ограниченного распространения, ПИ № ФС 77-48018 от 29.12.2011 и ПИ № ФС 77-50231 от 15.06.2012 (смена названия организации-учредителя на ОАО «Институт критических технологий»). Наряду с публикациями статей по новым научным направлениям в области компьютерного проектирования, разработкам магниточувствительных микро- и нанотехнологий, новых аналого-цифровых устройств были открыты постоянные рубрики по экономическим вопросам в оборонно-промышленном комплексе, физическому образованию, подготовке бакалавров и магистров, диссертационным работам. В составе редколлегии журнала ведущие специалисты, работающие в вузах, РАН, на промышленных предприятиях, доктора, кандидаты наук и академики РАН.

В 2014 г. сборник «Гетеромагнитная микроэлектроника» отмечает свое 10-летие со дня выхода в свет.

За последнее время на кафедре развивались следующие научные направления:

- гетеромагнитная микро- и наноэлектроника;
- магниточувствительные аналого-цифровые микросистемы навигации и ориентации;
- геомагнитная навигация;
- гетеромагнитометрия;
- побитовая перестановка данных, новые информационные системы;
- адресная магнитная наномедицина;
- тепловые процессы в радиоэлектронных устройствах.

В рамках этих направлений выполнен ряд НИОКР, результаты которых на протяжении ряда лет (2009, 2011, 2013 гг.) демонстрировались на Международных авиационно-космических салонах «МАКС» (г. Жуковский Московской области).

В 2009 г. было подписано трехстороннее соглашение № 2 «О взаимном сотрудничестве, внедрении и развитии передовой техники и технологий, включая нанотехнологии, инноваций в учебный процесс, научное исследование и производство» между Саратовским государственным университетом, ОАО «Тантал» и ОАО «НИИ-Тантал».

Необходимость дальнейшего углубления сотрудничества и подготовки новых кадров в области уровневого образования между физическим факультетом СГК и промышленными и научными подразделениями в ОАО «Тантал» определила открытие новой базовой кафедры критических и специальных технологий (ноябрь 2011 г.) в ОАО «НИИ-Тантал», заведующий кафедрой доктор технических наук, профессор А. В. Ляшенко. При участии преподавателей кафедры общей физики были разработаны новые учебные планы, размещено уникальное оборудование, предназначенное для обучения бакалавров и магистров, прохождения различных практик (ознакомительной, научно-исследовательской, производственной), проведения совместных с СГУ научных исследований и выполнения разработок в рамках НИОКР по актуальным направлениям, участия студентов в работах на договорной основе.

В период 2009–2014 гг. были разработаны, утверждены и реализованы новые рабочие программы подготовки магистров по направлению «Физика микро- и низкоразмерных систем с цифровыми технологиями (2011–2013 гг.), и «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» (2013–2016 гг.), научный руководитель профессор А. А. Игнатъев.

В этот же период проведён ряд актуальных НИОКР по магнетизму металлических предметов в строительных конструкциях, разработкам новых автономных от спутниковых сигналов систем навигации и ориентации различных подвижных объектов в магнитном поле Земли, как габаритных с повышенной точностью, так и миниатюрных для применения в нестационарных условиях. Разработанные устройства испытаны в натуральных условиях, на полигонах. Ведётся подготовка к их промышленному производству.

Обширные научные исследования проводятся по компьютерному проектированию новых аналого-цифровых систем, включая миниатюрные, их изготовлению, исследованию параметров, новым видам калибровок, исследованию тепловых, радиофизических процессов в устройствах низкого и высокого уровней мощности, развиваются новые научно-технические направления.

Важное место в подготовке молодых специалистов-физиков занимает базовое физическое образование, которое включает чтение лекций по физике студентам физического и ряда естественных факультетов университета. Лекции сопровождаются уникальными физическими демонстрациями в Большой физической аудитории, которая отмечает свой 100-летний юбилей в 2014 г. Семинарские занятия и лабораторная работа в Общем физическом практикуме им. П. В. Голубкова помогают студентам закрепить знания, полученные на лекциях.

Практические занятия со студентами проходят в общем физическом практикуме им. П. В. Голубкова (по дисциплинам «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика»), в научной лаборатории «Магнитоэлектроника миллиметрового диапазона», учебно-научных лабораториях «Телекоммуникации, средства связи и обработки информации», «Физические основы техники защиты информации», «Физика магнитных явлений», «Физические принципы записи, хранения и защиты информации», учебной лаборатории «Физические основы микроэлектроники», специальных практикумах «Цифровая схемотехника в информационных системах» на кафедре и в конструкторском бюро критических технологий ОАО «Институт критических технологий», где 28 октября 2011 г. была создана базовая кафедра физики критических и специальных технологий (заведующим кафедрой назначен А. В. Ляшенко – генеральный директор–генеральный конструктор ОАО «Институт критических технологий»). Здесь студенты имеют возможность работать на современном испытательном, измерительном и технологическом оборудовании ведущих фирм мира (трехстороннее соглашение «О взаимном сотрудничестве, внедрении и развитии передовой техники и технологий, включая нанотехнологии, инноваций в учебный процесс, научные исследования и производство» между СГУ, ОАО «Тантал» и ОАО «Институт критических технологий»).

Общему физическому практикуму 100 лет

Общий физический практикум (ОФП) организован в 1914 г. при переезде в здание Физического института (в 1985 г. присвоено имя П. В. Голубкова). Он играет ключевую роль в триаде базового физического образования, которое получают студенты в Саратовском государственном университете. Наряду с лекциями по физике проходят семинарские занятия, на которых студенты углублённо изучают теоретические разделы лекций, решают физические задачи. Главная цель ОФП – выработка у студентов навыков и умений экспериментаторов. По основным разделам курса физики каждая учебная лаборатория ОФП содержит определенный набор лабораторных установок, посвященных изучению конкретных методов исследования тех или иных физических величин, параметров, закономерностей. Студенты учатся обрабатывать результаты измерений, находить величины погрешностей метода и эксперимента, соотносить полученные данные со справочными значениями. Самостоятельность каждого студента многократно проверяется преподавателем при постоянных собеседованиях, выяснении наиболее узких мест в их знаниях по каждой лабораторной работе.

Важность ОФП в физическом образовании доказывает роль и значение физического эксперимента в обучении студента, закреплении полученных теоретических знаний, подтверждении физических закономерностей.

Основные вехи в развитии ОФП включают

– начальный этап;

- этап становления практикума, в котором формировались основные учебные лаборатории в соответствии с рабочими программами курсов;
- этап развития практикума, при котором в основном сложился состав учебных лабораторий;
- современный этап.

ОФП по своей структуре сегодня содержит 4 учебные лаборатории: «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм» и «Оптика», соответствующие основным разделам курсов: «Общая физика» (на физическом факультете и факультете нелинейных процессов) и «Физика» (на других естественных факультетах) в университете.

Механический участок, который изначально предусматривался профессором В. Д. Зерновым при проектировании и строительстве здания Физического института, всегда играл важную роль при организации и оснащении учебных лабораторий оборудованием. Здесь работали мастера своего дела. В конце прошлого века это были В. П. Соколов и Г. Н. Высоцкий.

С 1996 г. вносит неоценимый вклад в постановку новых лабораторных работ слесарь КИПиА Л. Г. Лапин – высококвалифицированный мастер с золотыми руками.

Развитие физического практикума всегда связано с преодолением ряда проблем: методическая достаточность лабораторной установки, доступность экспериментального оборудования для студента, который учится на данном оборудовании, осваивает его, высокий риск выхода из строя современного оборудования при очень интенсивной нагрузке на физический практикум, в котором еженедельно работают более 1000 студентов.

В настоящее время учебные лаборатории ОФП оснащаются современными установками. Это высокочатратный путь, который требует определенного времени и выделения необходимых финансов, а также прохождения СГУ установленной законом Российской Федерации тендерной закупки учебного оборудования в ОФП.

В последние годы появилась возможность модернизировать лаборатории ОФП за счет средств меценатов. Один из вариантов – это дарение (пожертвование) специализированного оборудования СГУ, на базе которого собственными силами преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов физического факультета разрабатываются новые лабораторные работы, апробируются методики и учебно-методические пособия к ним, изготавливается необходимая оснастка. Такое внедрение в учебный процесс изучения физики в СГУ обозначено Соглашением об образовательном и научном сотрудничестве между ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского» и ООО «РОДЕ и ЦВАРЦ РУС» от 20.11.2013 и Договором пожертвования № 461/2013-Д1 от 20.11.2013 ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского» современного оборудования ООО «РОДЕ и ЦВАРЦ РУС» – представителя в России одной из старейших компаний Германии RONHE & SCHWARZ, на основании которых в 2013 г. кафедре общей физики переда-

но современное измерительное оборудование для обеспечения и развития учебного процесса в рамках лабораторного практикума «Электричество и магнетизм»: генератор сигналов, мультиметр, аналоговый и цифровой осциллографы, анализатор сигналов и LCR-метр. На базе этих приборов планируется постановка новых лабораторных работ и организация спецпрактикума.

Следующий шаг – закупка оборудования для учебных целей и развития ОФП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. История Саратовского университета. 1909–2009 : в 2 т. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2009. Т. 1 : 1909–1945. 296 с.
2. История Саратовского университета. 1909–2009 : в 2 т. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2009. Т. 2 : 1945–2009. 348 с.
3. *Зернов В. Д.* Записки русского интеллигента. М. : Индрик, 2005. 400 с.
4. *Игнатъев А. А., Куликов М. Н., Данке О. Г.* Музей физических приборов и лекционных демонстраций // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2012. Вып. 13 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 108–117.
5. *Игнатъев А. А., Куликов М. Н., Ляшенко А. В., Солопов А. А.* От магнитоэлектроники пассивных устройств к гетеромагнитной микро- и наноэлектронике // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2009. Вып. 6 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Системы информационной безопасности. С. 4–27.
6. *Игнатъев А. А.* Перспективы развития российского научно-производственного центра гетеромагнитных микросистем саратовского государственного университета // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2009. Вып. 7 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Прикладные аспекты. С. 4–11.

УДК 537.622.6+537.621.39+53.082.722.55

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ LCR ТИПА НМ 8118

**А. А. Игнатъев, Л. Л. Страхова, К. А. Саяпин,
А. С. Захаров, С. В. Степанов, Г. Н. Васильев**

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: Strakhovall@mail.ru

В статье рассматривается актуальная для профессионального образования проблема использования в лабораторном физическом практикуме прецизионных приборов, позволяющих измерять физические параметры в широком диапазоне частот. Показано, как с помощью измерителя LCR типа НМ 8118 может быть исследована зависимость магнитной проницаемости ферромагнетика от частоты в широком диапазоне частот.

Ключевые слова: физический практикум, ферриты, измерение индуктивности, магнитная проницаемость.

The Way to Use Programmable Measuring Device HM8118- LCR Meter in Educational Process

A. A. Ignatiev, L. L. Strakhova, K. A. Sayapin,
A. S. Zaharov, C. V. Stepanov, G. N. Vasiliev

The article presents the way of using of precise devices which allow to measure physical parameters in wide frequency range at laboratory of physical practicum. This issue is of relevant importance for modern professional education. The article shows how the dependence of frequency magnetic permeability of ferromagnetic material can be investigated with the help of programmable measuring device HM8118- LCR Meter (Bridge).

Key words: physical practicum, ferrites, coil, magnetic permeability.

Наблюдения и измерения являются неотъемлемой частью процесса обучения студентов естественных специальностей. Знания и навыки, полученные студентами в физическом практикуме, в дальнейшем станут основой их профессиональной подготовки. Отсюда вытекает необходимость оптимизации процесса обучения на основе применения в учебном процессе современных прецизионных измерительных приборов, используемых в научных исследованиях.

Одним из таких приборов является программируемый *LCR*-метр типа *HM 8118* компании *Rohde & Schwarz*, который позволяет измерять такие параметры, как импеданс Z , активное R и реактивное X сопротивления, адмитанс Y , активную G и реактивную B проводимости, емкость C , индуктивность L , тангенс угла потерь D , добротность Q , фазовый угол Θ , коэффициент трансформации, взаимную индуктивность M в широком диапазоне. Так, при использовании этого прибора [1] диапазон измерения индуктивности L составляет от 10 нГн до 100 кГн, емкости C – от 0,01 пФ до 100 мкФ, сопротивлений – от 0,01 МОм до 100 МОм, тангенса угла потерь D – от 0,0001 до 9,9999, добротности Q – от 0,1 до 9999,9, фазового угла Θ – от -180 до $+180^\circ$. Основная погрешность прибора составляет 0,05% в диапазоне частот от 20 Гц до 200 кГц.

В настоящей работе проведено исследование магнитной проницаемости μ ферритовых образцов в диапазоне частот от 20 Гц до 200 кГц.

Ферримагнетики или ферриты обладают в отсутствие внешнего магнитного поля самопроизвольной атомной магнитной структурой, в которой обменные взаимодействия приводят к антипараллельной взаимной ориентации магнитных моментов соседних атомов. В таких веществах, представляющих собой кристаллические структуры из атомов различных элементов с разными по значению магнитными моментами, результирующий магнитный момент отличен от нуля и наблюдается самопроизвольная намагниченность при отсутствии внешнего магнитного поля. По своим магнитным свойствам ферриты близки к ферромагнетикам [2].

Величина магнитной проницаемости μ ферритов находится по измеренному значению индуктивности L катушки с известным числом витков N , намотанных на тороидальный сердечник (кольцо) из испытуемого ферримагнитного материала (рис. 1) [3].

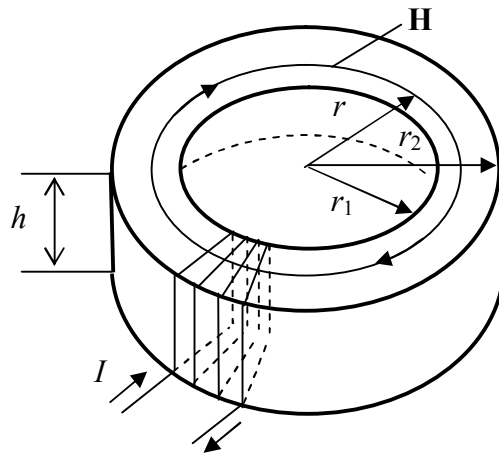


Рис. 1. Катушка с ферримагнитным сердечником

Если магнитная проницаемость вещества велика ($\mu \gg 1$), то практически все силовые линии магнитного поля замыкаются внутри кольца и в силу симметрии системы будут иметь вид концентрических окружностей.

Для расчета напряженности магнитного поля внутри кольца воспользуемся теоремой о циркуляции

$$\oint_{\ell} H_{\ell} dl = \sum I_i, \quad (1)$$

где $\sum I_i$ – алгебраическая сумма токов, пронизывающих замкнутый контур ℓ .

В качестве контура интегрирования выберем окружность радиуса r , совпадающую с одной из силовых линий поля. Вектор напряженности магнитного поля $\mathbf{H}(r)$ в этом случае будет направлен по касательной к окружности, так что $H_{\ell}(r) = H(r)$, и величина $H(r)$ во всех точках контура будет одинакова. Тогда по теореме о циркуляции имеем

$$H(r) \cdot 2\pi r = N \cdot I$$

и

$$H(r) = \frac{N \cdot I}{2\pi r}, \quad (2)$$

где I – сила тока в обмотке.

Индукция магнитного поля рассчитывается по формуле

$$B(r) = \mu \cdot \mu_0 \cdot H(r) = \mu \cdot \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{2\pi r}, \quad (3)$$

где μ – магнитная проницаемость; μ_0 – магнитная постоянная.

Тогда полный магнитный поток Ψ через N витков катушки

$$\Psi = N \cdot \int_{r_1}^{r_2} B(r) h dr = \mu \cdot \mu_0 \cdot \frac{N^2 \cdot I}{2\pi} h \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \mu \cdot \mu_0 \cdot \frac{N^2}{2\pi} h \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} I. \quad (4)$$

Кроме того, полный магнитный поток пропорционален току в обмотке ферритового кольца:

$$\Psi = L \cdot I. \quad (5)$$

Из сравнения формул(4) и (5) получаем выражения для индуктивности

$$L = \mu \cdot \mu_0 \cdot \frac{N^2}{2\pi} h \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (6)$$

и магнитной проницаемости

$$\mu = \frac{2\pi L}{\mu_0 N^2 h \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}. \quad (7)$$

Если кольцо достаточно тонкое, так что r_2 и r_1 близки по величине (см. рис. 1) и индукция магнитного поля B по сечению кольца изменяется незначительно, то можно записать

$$B = \mu \cdot \mu_0 \cdot \frac{NI}{2\pi r_{cp}}, \quad (8)$$

где $r_{cp} = \frac{r_1 + r_2}{2}$ – средний радиус ферритового кольца.

Тогда поток магнитной индукции Φ_m через сечение S кольца

$$\Phi_m = \int_{r_1}^{r_2} \mu \mu_0 \frac{NI}{2\pi r_{cp}} h dr = \mu \mu_0 \cdot \frac{NI}{2\pi r_{cp}} h (r_2 - r_1) = \mu \mu_0 \frac{NI}{2\pi r_{cp}} S, \quad (9)$$

где $S = h(r_2 - r_1)$ – площадь поперечного сечения кольца.

Из формул(5) и(9) получаем:

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N\Phi_m}{I} = \frac{\mu \mu_0 N^2}{2\pi r_{cp}} S, \quad (10)$$

где $\Psi = N\Phi_m$.

Из формулы (10) для магнитной проницаемости получим соотношение

$$\mu = \frac{L2\pi r_{\text{ср}}}{\mu_0 N^2 S} \quad (\text{в системе СИ}), \quad (11)$$

где L – индуктивность ферритового кольца с обмоткой, полученная из измерений.

Измерения индуктивности L и добротности Q проводились мостовым методом для четырех катушек в диапазоне частот от 20 до 200 кГц с помощью программируемого измерителя LCR типа $HM 8118$ компании *Rohde & Schwarz*. Геометрические параметры ферритовых колец, являющихся сердечниками катушек, такие как внутренние диаметр d_1 и радиус r_1 , внешние диаметр d_2 и радиус r_2 , толщина кольца h , средний радиус $r_{\text{ср}}$, площадь поперечного сечения кольца S и число N витков обмотки катушек представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Геометрические параметры ферритовых колец (I, II, III, IV)
и число N витков обмотки катушек**

Параметр	I	II	III	IV
d_1 , мм	10	28	25,0	6
r_1 , мм	5	14	12,5	3
d_2 , мм	16	44	39,0	10
r_2 , мм	8	22	19,5	5
h , мм	4	8	11,0	3
$r_{\text{ср}}$, мм	6,5	18	16,0	4
S , мм ²	12	64	77,0	6
N	7	25	9	7

Измерения проводились в соответствии с руководством по эксплуатации прибора. После включения прибора выполнялись процедуры калибровки короткого замыкания (КЗ) и холостого хода (ХХ) с целью минимизации влияния переходников и кабелей на результаты измерений. При этих процедурах прибор определяет поправочные коэффициенты на всех 69 частотах для подсоединенных измерительных кабелей и сохраняет их в памяти до момента выключения прибора. Процедуры калибровки занимают приблизительно 2 мин.

При проведении измерений был установлен режим автоматического выбора схемы замещения. Измерительный мост LCR автоматически выбрал последовательную внутреннюю схему замещения, в которой катушка индуктивности с тороидальным сердечником, сопротивлением обмотки и собственной емкостью которой можно пренебречь, представлена в виде последовательно соединенных индуктивности L и активного сопротивления R_m , потери энергии в котором эквивалентны всем видам потерь в феррите

(рис. 2): $U_L = I \cdot \omega L$ и $U_{Rm} = I \cdot R_m$ – падение напряжения на индуктивности и активном сопротивлении соответственно; δ_m – угол магнитных потерь; I – ток; ω – круговая частота.

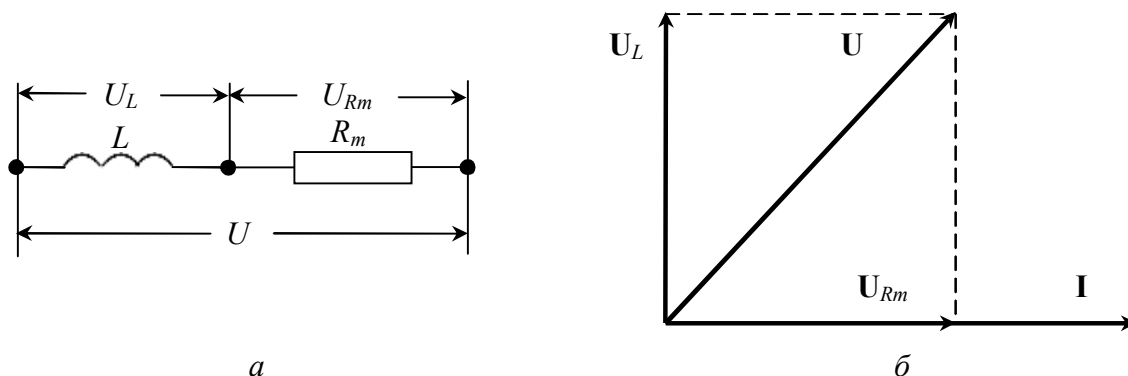


Рис. 2. Эквивалентная схема замещения (а) и векторная диаграмма (б) катушки индуктивности с магнитным сердечником

Если пренебречь сопротивлением обмотки катушки и ее собственной емкостью, то из векторной диаграммы получим тангенс угла магнитных потерь

$$\operatorname{tg} \delta_m = R_m / \omega L = 1 / Q, \quad (12)$$

где Q – добротность катушки с исследуемым ферритом.

Результаты измерений зависимости индуктивности L и добротности Q от частоты приведены в табл. 2–5.

Таблица 2

Результаты измерений для ферритового кольца I

f , кГц	L , мкГн	Q
0,1	49,156	0,8976
0,5	48,991	3,8516
1,0	49,007	6,5962
10	48,906	17,531
20	48,651	18,527
30	48,322	18,698
40	47,957	18,685
50	47,583	18,744
75	46,784	18,841
100	46,167	18,943
120	45,882	18,257
150	45,234	18,670
180	44,928	17,917
200	44,718	17,300

Таблица 3

Результаты измерений для ферритового кольца II

f , кГц	L , мГн	Q
0,05	1,332	9,560
0,1	1,3302	14,150
0,5	1,3305	23,735
1,0	1,3255	26,195
5,0	1,2727	37,888
10	1,2395	46,639
15	1,1807	92,100
20	1,1805	88,840
30	1,1812	81,645
50	1,1748	79,390
75	1,1728	75,070
100	1,1732	66,440
120	1,1756	58,420
150	1,1821	45,823
180	1,1910	33,534
200	1,1979	26,836

Таблица 4

Результаты измерений для ферритового кольца III

f , кГц	L , мкГн	Q
0,05	321,88	3,4634
0,1	321,47	13,110
0,5	321,07	29,122
1,0	320,33	33,874
10	316,69	36,210
30	308,08	32,814
50	304,11	28,434
100	298,49	23,377
120	299,21	19,871
150	300,82	15,870
180	302,81	13,006
200	304,3	11,364

Таблица 5

Результаты измерений для ферритового кольца IV

f , кГц	L , мкГн	Q
0,05	20,241	0,187
0,1	20,233	0,370
0,5	20,192	1,760
1,0	20,181	3,313
10	20,130	15,773
30	20,07	20,622
50	19,953	21,401
100	19,656	21,987
120	19,569	21,982
150	19,415	22,374
200	19,255	21,879

Графики зависимости индуктивности катушек от частоты представлены на рис. 3.

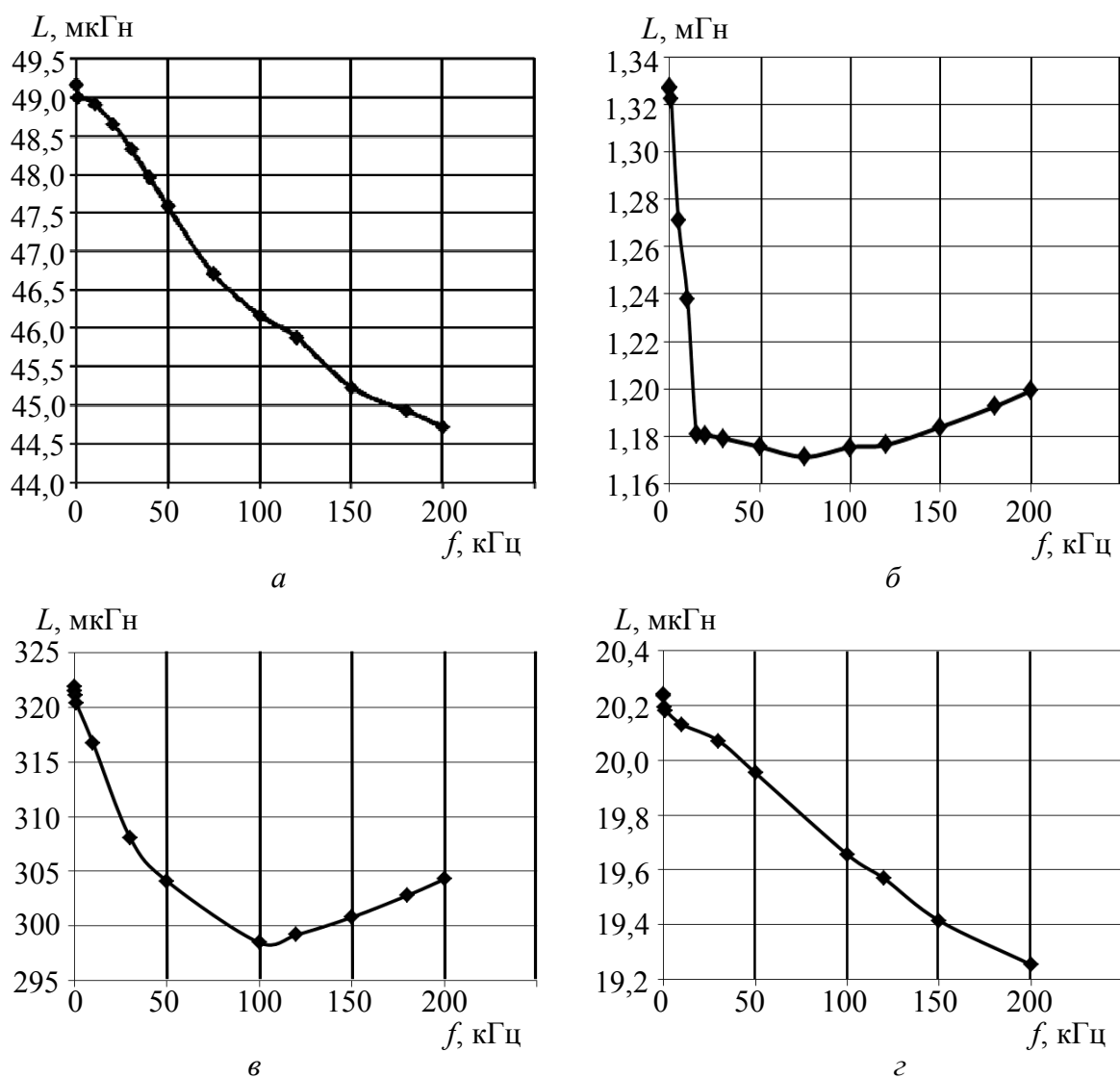


Рис. 3. Графики зависимости индуктивности катушек от частоты: *a* – ферритовое кольцо I; *б* – II; *в* – III; *г* – IV

Магнитная проницаемость μ ферритовых образцов рассчитывалась по формуле (11). Результаты расчета представлены в табл. 6 ($\mu_I, \mu_{II}, \mu_{III}, \mu_{IV}$ – магнитные проницаемости соответствующих ферритовых колец).

Таблица 6

Результаты расчета магнитной проницаемости μ ферритовых образцов

$f, \text{кГц}$	μ_I	μ_{II}	μ_{III}	μ_{IV}
0,05		2986,2	4128,75	1376,39
0,1	2716,95	2984,6	4123,5	1375,84
0,5	2707,83	2985,3	4118,4	1373,06
1,0	2708,71	2974,7	4108,9	1372,31

f , кГц	μ_I	μ_{II}	μ_{III}	μ_{IV}
10	2703,13	2785,5	4062,2	1368,84
30	2670,85	2652,97	3951,7	1364,76
50	2630,01	2645,1	3900,8	1356,80
100	2551,74	2644,6	3828,7	1336,61
120	2535,99	2646,9	3838,0	1330,69
150	2500,17	2663,8	3858,6	1320,22
180	2483,26	2683,1	3884,1	–
200	2471,65	2698,2	3903,3	1309,34

Зависимость магнитной проницаемости ферритовых колец от частоты представлена на рис. 4 и 5.

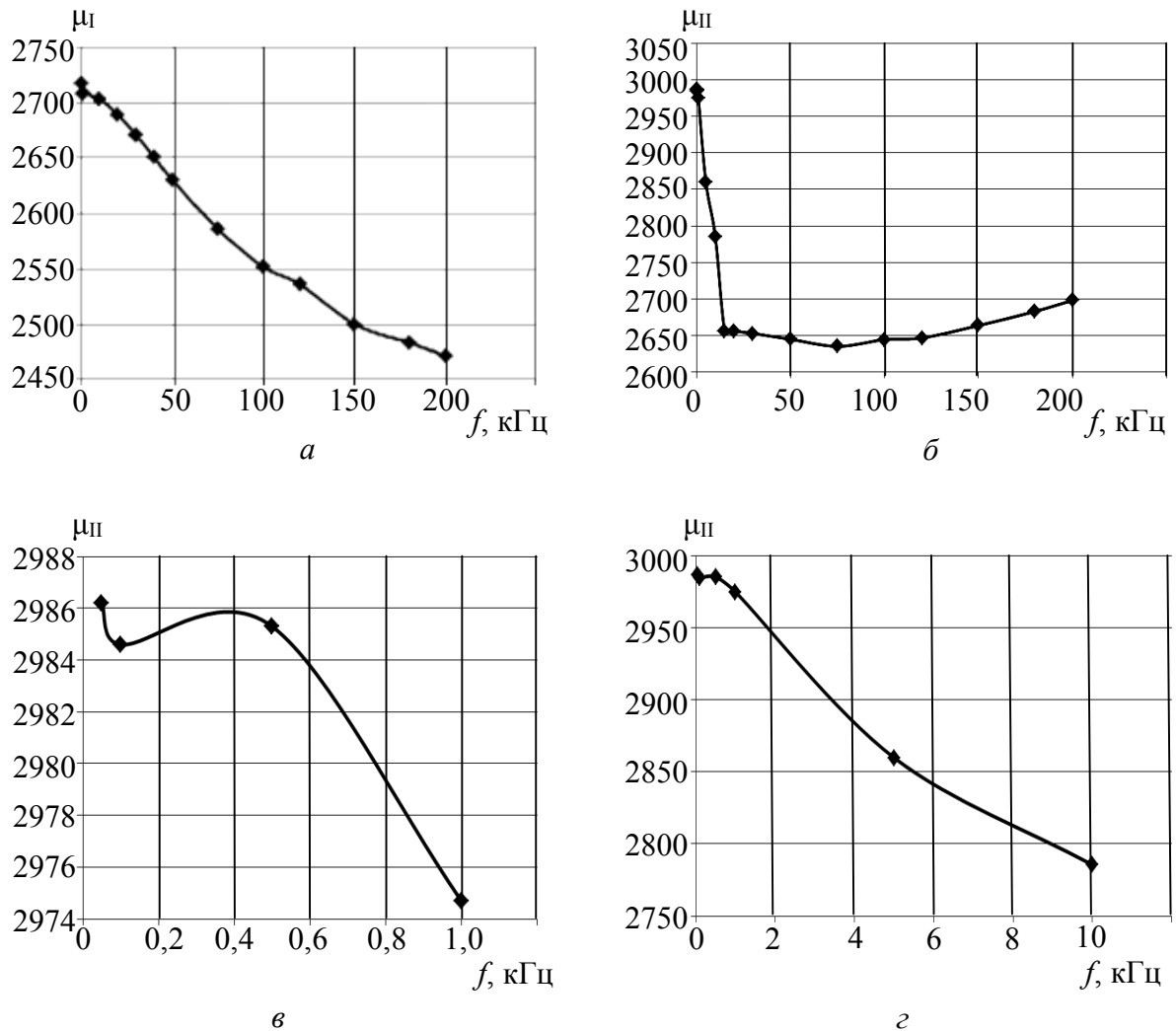


Рис. 4. Зависимость магнитной проницаемости μ от частоты f : а – ферритовое кольцо I; б, в, г – II

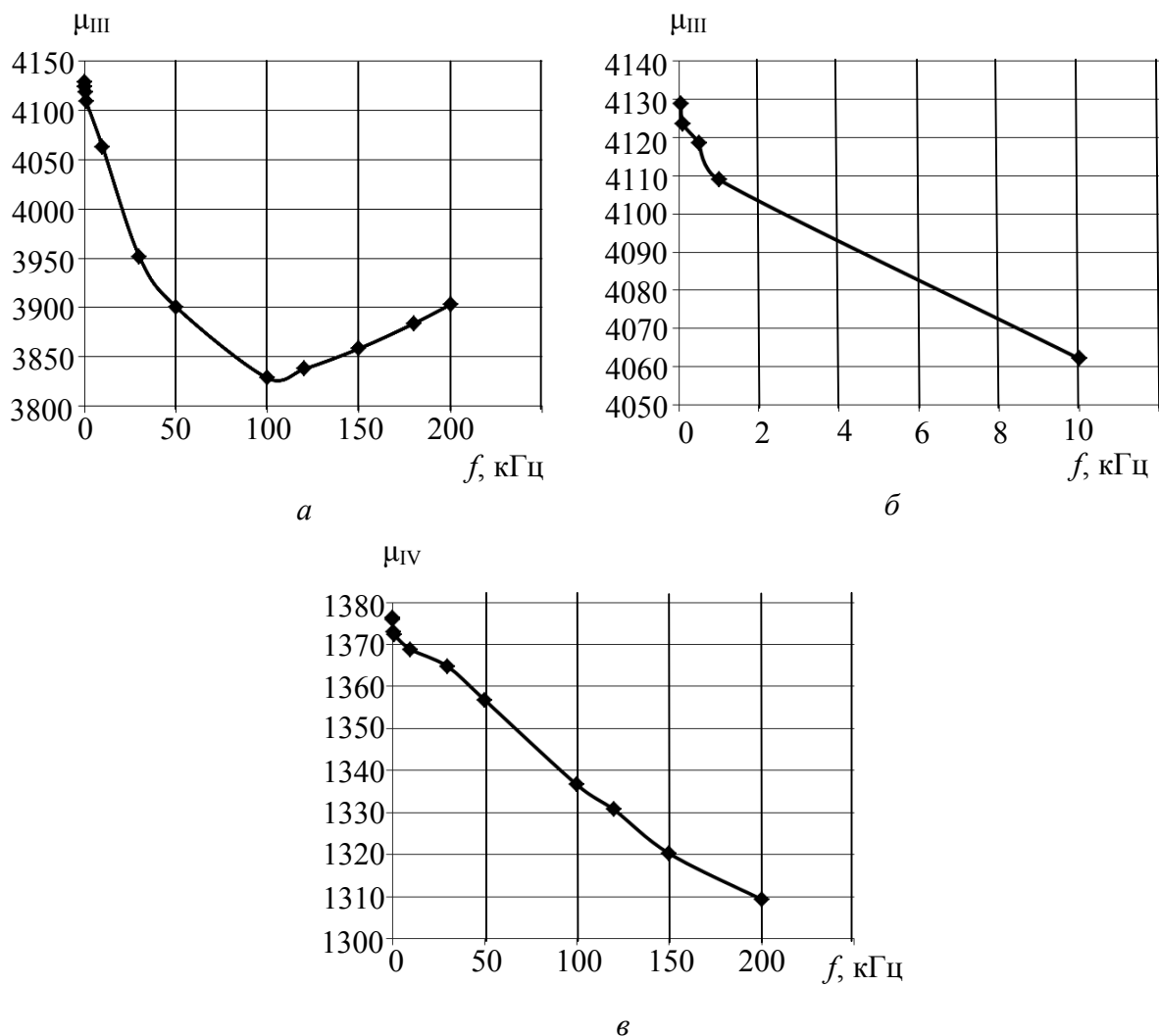


Рис. 5. Зависимость магнитной проницаемости μ от частоты f : a , $б$ – ферритовое кольцо III; $в$ – IV

Для ферритов, используемых в переменных полях, кроме начальной магнитной проницаемости, одной из важнейших характеристик является тангенс угла магнитных потерь $\operatorname{tg} \delta_m$. Составляющая потерь на вихревые токи в ферритах достаточно мала благодаря их большому удельному сопротивлению. В слабых магнитных полях незначительными являются и потери на гистерезис. Значение $\operatorname{tg} \delta_m$ в ферритах на высоких частотах в основном определяется магнитными потерями, вызванными релаксационными и резонансными потерями.

Для оценки частотного диапазона, в котором может использоваться ферритовый материал, вводят понятие критической частоты $f_{кр}$. Обычно под $f_{кр}$ понимают такую частоту, при которой $\operatorname{tg} \delta_m$ достигает значения 0,1.

Инерционность смещения доменных границ на высоких частотах приводит не только к увеличению магнитных потерь, но и к уменьшению магнитной проницаемости μ ферритов. При частоте $f_{кр}$ наблюдается довольно значительное уменьшение магнитной проницаемости μ .

Частоту, при которой начальная магнитная проницаемость уменьшается до 0,7 от её значения в постоянном магнитном поле, называют граничной частотой $f_{гр}$. Обычно $f_{кр} < f_{гр}$.

Тангенсы магнитных потерь $\text{tg } \delta_{mI}$, $\text{tg } \delta_{mII}$, $\text{tg } \delta_{mIII}$, $\text{tg } \delta_{mIV}$ соответствующих ферритовых колец, рассчитанные по формуле (12), представлены в табл. 7.

Таблица 7

Результаты расчета $\text{tg } \delta_m$ для исследуемых ферритовых колец

f , кГц	$\text{tg } \delta_{mI}$	$\text{tg } \delta_{mII}$	$\text{tg } \delta_{mIII}$	$\text{tg } \delta_{mIV}$
0,05	–	0,1046	0,2887	5,3476
0,075	–	–	0,0999	–
0,1	1,1141	0,0690	0,0763	2,6667
0,5	0,2793	0,0400	0,0343	0,5682
1	0,2232	0,0367	0,0295	0,3018
4,5	–	–	–	0,098
1,8	0,1029	–	–	–
2,0	0,0967	–	–	–
5,0	–	0,0258	–	–
10	0,0566	0,0211	0,0276	0,0634
20	0,0527	–	–	–
50	0,0531	0,0125	0,0352	0,0467
100	0,05305	0,0151	0,0420	0,0485
120	0,0540	0,0167	0,0500	0,0455
150	0,0532	0,0220	0,0630	0,0447
180	0,055	0,0296	0,0769	–
200	0,058	0,0370	0,0880	0,0457

Анализ полученных результатов показал следующее:

– магнитная проницаемость ферритового кольца I, равная вначале $\mu_I = 2716,95$, в диапазоне частот от 0,1 до 200 кГц уменьшается на 9%. Критическая частота $f_{кр}$, соответствующая $\text{tg } \delta_{mI} = 0,01$, равна 2 кГц;

– магнитная проницаемость ферритового кольца II, равная вначале $\mu_{II} = 2986,2$, в диапазоне частот от 0,05 до 200 кГц уменьшается на 9,6%. Критическая частота $f_{кр}$, соответствующая $\text{tg } \delta_{mII} = 0,01$, равна 0,05 кГц;

– магнитная проницаемость ферритового кольца III, равная вначале $\mu_{III} = 4128,75$, в диапазоне частот от 0,05 до 200 кГц уменьшается на 5,5%. Критическая частота $f_{кр}$, соответствующая $\text{tg } \delta_{mIII} = 0,01$, равна 0,075 кГц;

– магнитная проницаемость ферритового кольца IV, равная вначале $\mu_{IV} = 1376,39$, в диапазоне частот от 0,05 до 200 кГц уменьшается на 5%. Критическая частота $f_{кр}$, соответствующая $\text{tg } \delta_{mIV} = 0,01$, равна 4,5 кГц.

Как известно, чем больше начальная магнитная проницаемость, тем меньше критическая частота. Эта зависимость также прослеживается в полученных результатах измерений.

Нужно отметить, что граничные частоты $f_{гр}$ всех исследованных ферритов лежат за пределами частотного диапазона измерений.

Марки исследуемых ферритов были не известны. По величине магнитной проницаемости они близки к магнитомягким марганец-цинковым ферритам, марки которых 1500НМ, 2000НМ, 3000НМ, 4000НМ.

Для контроля были проведены измерения индуктивности катушки, сердечник которой представлял кольцо, изготовленное из феррита марки М2000НМ1 (термостабильный магнитомягкий марганец-цинковый феррит). Магнитные свойства этого феррита: начальная магнитная проницаемость $\mu_n = 2000$, максимальная магнитная проницаемость $\mu_{макс} = 3500$, критическая частота $f_{кр} = 500$ кГц, граничная частота $f_{гр} = 1500$ кГц.

Контрольные измерения показали, что величина магнитной проницаемости этого ферритового кольца $\mu = 3052,3$ на частоте $f = 0,05$ кГц в диапазоне от 0,05 до 200 кГц практически не изменяется (изменения магнитной проницаемости составили всего 1,45%).

Для сравнения были проведены измерения индуктивности L исследуемых ферритовых колец с обмоткой с использованием прибора «Измеритель LCR универсальный Е7-11». Этот прибор позволяет проводить измерение индуктивности на двух частотах: $f_1 = 100$ Гц и $f_2 = 1000$ Гц. При питании моста от внешнего генератора с его помощью можно также измерять индуктивности от 10 мкГн до 10 мГн в диапазоне от 100 Гц до 5 кГц. Магнитные проницаемости μ были рассчитаны по формуле (11). Результаты представлены в табл. 8.

Таблица 8

Результаты измерений, полученные с помощью прибора «Измеритель LCR универсальный Е7-11»

Номер кольца	f , Гц	L , мкГн	μ	Q	$\text{tg } \delta_m$
I	100	53	2929,42	1	1
I	1000	51,6	2852,03	7,40	0,1350
II	100	1290	2900,25	17,24	0,0580
II	1000	1220	2845,00	36,00	0,0150
III	100	321	4117,46	13,30	0,0752
III	1000	313	4014,85	46,50	0,0215
IV	100	18,5	1258,00	0,35	2,8570
IV	1000	19,5	1326,00	3,50	0,2857

Результаты измерений, проведенных с помощью программируемого измерителя LCR типа *HM 8118* компании *Rohde & Schwarz* (табл. 2–7) и полученных с использованием прибора «Измеритель LCR универсальный Е7-11» (табл. 8), достаточно хорошо согласуются друг с другом. Однако программируемый измеритель LCR типа *HM 8118* компании *Rohde & Schwarz* позволяет с хорошей точностью проводить измерения индуктивности L от 10 нГн до 100 кГн в очень широком частотном диапазоне. Кроме того, измерения этим прибором проводятся значительно быстрее, так как равновесие моста достигается не вручную, а автоматически.

Программируемый измеритель *LCR* типа *HM 8118* компании *Rohde & Schwarz* планируется использовать в учебном процессе при обучении бакалавров и магистров в общем физическом и специальном практикумах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *LCR*-метр типа *HM 8118*. URL : <http://static.chipdip.ru/pdf/hameg-2013.pdf> (дата обращения : 03.06.2014).
2. *Вонсовский С. В.* Магнетизм. М. : Наука, 1971. 1032 с.
3. *Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Куликов М. Н., Страхова Л. Л.* Руководство к лабораторным работам по курсу «Физика магнитных явлений». Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2009. 52 с.

УДК 007; 123.1; 124; 159; 316.4; 577.22; 681.3(072)

ДИССЕРТАЦИЯ: ХАРАКТЕРИСТИКИ НАУЧНОСТИ

В. М. Аникин, И. В. Измайлов*, Б. Н. Пойзнер*

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail : AnikinVM@info.sgu.ru

*Томский государственный университет
Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, 36

Рассматриваются общие характеристики диссертации, обуславливающие ее научную сущность.

Ключевые слова: диссертация, критерии научности.

Dissertation: Scientific Characteristics

V. M. Anikin, I. V. Izmailov, B. N. Poizner

General scientific criteria of dissertations are reviewed.

Key words: dissertation, scientific criteria.

Введение

Диссертация – особый вид научной работы, автор которой претендует на формальное признание его достижений в форме присуждения соответствующей искомой учёной степени. Это обстоятельство требует особого внимания от соискателя при демонстрации характеристик работы именно как научной. Как показывает опыт проведения диссертационных защит, далеко не все претенденты на учёную степень представляют себе, *что* они должны демонстрировать в своей работе, помимо собственно представления полученных *новых знаний*. «Голые» научные результаты – это далеко не полная ценностная характеристика диссертации как научного произведения.

В научной среде сложились определённые критерии, нормы, науковедческие положения и «договорённости», применяемые при анализе качества научной работы. Критерии научности вытекают непосредственно из самого понятия *науки* как сферы человеческой деятельности, имеющей несколько функций: выработку и систематизацию достоверных, адекватных (реальности), объективных знаний о действительности, формирование рационального миропонимания. Современной науке присущи признаки сложноорганизованной и самоорганизующейся системы [1, гл. 1], которая может быть определена, во-первых, как особая система знания, во-вторых, как особый вид познавательной деятельности, в-третьих, как специфический социальный институт, в-четвертых, как подсистема культуры и цивилизации, в-пятых, как база инновационной системы современного общества [2, с. 16–59, 200–266; 3, с. 48–174; 4, с. 3–9; 5, с. 718–744; 6, с. 32, 97]¹. Перед наукой стоят задачи описания, объяснения, предсказания поведения процессов и явлений на основе открытых и открываемых закономерностей [7, с. 96, 147; 8, с. 19–20]².

«Вечным двигателем» науки является *интерес*³ человечества к познанию «устройства» окружающей реальности. Потребность в *осмысленной деятельности* есть важная, инстинктивно обусловленная потребность человека. Занятия наукой были во все времена примером такой деятельности. Получаемые же наукой знания вносят *смысл*⁴ в разнообразные накапливаемые данные об устройстве мироздания и протекающих в нем процессах.

Некоторые наиболее общие, важные и актуальные для соискателей науковедческие характеристики диссертации описываются в данных заметках.

¹ «От науки в другие сферы сознания и культуры идут “волны” в виде научных знаний, научного стиля мышления, научных методов», – подчеркивал социолог науки В. Ж. Келле (1920–2010). Признание ценности научного знания и интеллектуальной деятельности является, по его мнению, «нормальной идеологией научного сообщества, для которого престиж науки имеет стимулирующее значение» [9, с. 10–11].

² В языке древних греков смыслы: знание, умение, наука – передавало слово «эпистема» [10. Стб. 740]. Испанский философ Х. Ортега-и-Гассет (1883–1955) полагал, что в Древней Греции науку понимали не столько как знание, которым «владеют», сколько как творческую работу, исследование, т. е. как деятельность, которая «требовала... *искать знания*» [11, с. 93]. У древних римлян аналогичное слово *scientia* (в противоположность *ignoratio* – неведение, невежество) означало: знание, понимание дела, умение, искусство, проявляемое в чём-либо [12, с. 574].

³ *Природа интересного* является предметом философских дискуссий [13]. Интересно (!), что русское слово «интерес» впервые встречается у Петра I (1703). Возможно, оно пришло к нам через польское *interes* или немецкое *Interesse*, имея источником средневековое латинское *interesse* – иметь важное значение. Корни *interesse*: *inter* – между, среди (как обозначение различия) + *esse* – существовать [14, с. 136]. Студенту и аспиранту полезно помнить, что в языке древних римлян «интерес» – *studium* (влечение, стремление, рвение, в том числе стремление к научным познаниям; отсюда «студент» – *student (studentis)*, т. е. усердно работающий, занимающийся), а «мой интерес» (как выгода) – *meae rationes* [12, с. 332, 533, 612; 15, с. 97, 318]. Поэтому, например, в английском языке *interest* – выгода, польза; проценты (на капитал); *interests* – капиталовложения.

Начальным толчком для формирования любознательности, а затем и интереса к научному познанию является такое человеческое качество, как *любопытство*, для которого австро-американский биолог и физик Х. фон Фёрстер (1911–2002) придумал «Учение о любопытстве», или «*Neugierologie*» [16, с. 255, 256; 17, с. 11] (от нем. *neugierig* – любопытный).

⁴ Под *смыслом* подразумевается характеристика знания, которая устанавливает *связь* между информационными структурами различной степени общности: мыслями, идеями, понятиями, теориями, образами, сообщениями о фактах и т.п., которые моделируют (описывают, отражают) реальный мир.

Истинность, смысл, общеобязательность и воспринимаемость научных результатов

По своему смыслу защита диссертации должна, прежде всего, сводиться к обоснованию представленных в ней новых научных положений и (отчасти) результатов, формулировки которых «не укладываются» в «оболочку» положения. Защищаемое положение – это научное умозаключение, высказывание. С научным высказыванием можно соотнести два логических значения – «истина» и «ложь» [18, с. 150]⁵. Успех соискателя определяет лишь первое из этих значений, а в противном случае защищать становится нечего...

Что может свидетельствовать в пользу истинности полученного творческого продукта *на момент его представления*? Одним из атрибутов является «общеобязательность» (без каких-либо исключений), ведущая, в частности, к глобализации науки и мировой культуры в целом. Как отмечал один из корифеев русского естествознания, мыслитель и знаток истории науки В. И. Вернадский, «наука одна для всего человечества» [19, с. 123], «в общеобязательности научных данных кроется самое коренное отличие науки от других созданий человеческой жизни» [19, с.125]. «Общеобязательность» подтверждается воспроизводимостью результатов при заданных условиях и их независимостью от не относящихся непосредственно к научной деятельности личностных характеристик ученого (его возраста, национальности, политических взглядов и т. д.). Именно качество «общеобязательности» придает добытым знаниям смысл, «создаёт научным исканиям в разнообразии и изменчивости жизни незыблемость ... придаёт *вечный характер* научным завоеваниям» [19, с. 123].

Признанию «общеобязательности» результата предшествует его «воспринимаемость», требующая в качестве идейно-экспериментальной базы согласованных стандартных способов проведения исследований, описания их процедур и получения результатов, что облегчает общение и дискуссию между специалистами в течение некоторого периода времени, когда к результату «привыкают» [18, с. 150]. «Скорость» признания результата может определяться не только степенью убедительности его доказательности, но и социальными и человеческими факторами. Условия возникновения научных идей и резонансность их восприятия профессиональным сообществом нередко задаются сплетением разнообразных исторических, этнокультурных, ситуативных, личностных факторов, т. е. биографических обстоятельств, и просто непредвиденных событий. Как писал В. И. Вернадский, «... недостаточно, чтобы истина была высказана или чтобы явление было доказано. Их *понимание*, проникновение ими человеческого разума зависит от других причин, одна хрустальная ясность и стройность, строгость доказательств не-

⁵ Причиной лжи чаще всего служит добросовестное заблуждение; порой в него надолго впадают целые коллективы учёных [20]. Но и сознательные злоупотребления случаются [21–25]. Для обозначения лженаучных упражнений используют термин «*junk science*» («помойная наука»).

достаточны. Условия внешней, социальной среды, состояние техники, настроения и привычки мыслящих людей науки должны быть при этом принимаемы во внимание ... научное мировоззрение не есть абстрактное логическое построение. Оно является сложным и своеобразным выражением общественной психологии» [26, с. 61]⁶.

Действенность критериев всеобщности и восприимчивости демонстрирует история научных открытий. На хронологической оси встречаются *все* события, с которыми связаны те или иные творческие достижения естествоиспытателей и инженеров: гениальные догадки, экспериментальные факты, постановка проблем, убедительные теории, открытия, плодотворные идеи, пионерские изобретения, точные модели природных явлений, полезные приспособления, поучительные неудачи и т. д. Уже по одной этой причине история науки и техники обладает бесспорной познавательной силой. Знание истории науки – непосредственно либо косвенно – облегчает освоение её предмета, позволяет постепенно овладеть специальной терминологией, ориентироваться в эпонимии и в содержании споров между учёными, представить себе судьбу некоторых творческих идей и различные периоды развития науки.

Верифицируемость и фальсифицируемость результатов

В процессе установления и подтверждения истинности (ложности) научного знания используются две процедуры – верифицируемость и фальсифицируемость.

Под *верифицируемостью*⁷ понимается гарантированная возможность процедуры установления *истинности* полученных результатов (научного высказывания) по общепринятым правилам путём сопоставления с данными опыта и/или с положениями теории [27, с. 114–115]. Творчество в науке «должно полагаться не только на логические структуры, не противоречащие сами себе, но и подчиняться правилу воспроизводимости экспериментальных доказательств» [28, с. 19].

Примерами проверяемых идей служат понятия, теории, гипотезы. «Гипотезы связывают группы фактов в определённые теоретические (смысловые) конструкции» [29, с. 327]. Некоторые из них имеют короткую жизнь и сходят со сцены под воздействием вскрытых противоречий в их содержании и/или новых фактов. Чем больше явлений может правильно объяснить теоретическая конструкция, чем больше фактов она описывает, тем выше степень её устойчивости, т.е. время жизни. Согласно некоторым ожиданиям «в пределе своей эволюции физическая теория должна охватывать любые аспекты мироздания» [29, с. 327].

⁶ Классический пример: идеи И. Ньютона после выхода в свет «Математических начал натуральной философии» (1687) «пробивались» в общественное сознание в течение нескольких десятков лет.

⁷ Напомним, что по-латыни «истина» – *veritas*. Отсюда термин «верификация» (от лат. *verus* – истинный + *facere* – делать, создавать) – проверка истинности выводов и положений, установление их достоверности.

Фальсифицируемость – гарантированная возможность процедуры установления, наоборот, *ложности* полученных результатов (опять же по общепринятым правилам) путём сопоставления с экспериментальными данными и/или с фундаментальными положениями теории, которая принята в научном сообществе. Принцип фальсифицируемости (в противовес принципу верифицируемости), т. е. принципиальной *опровержимости* любого *научного* утверждения, принадлежит К. Р. Попперу (1902–1994), британскому философу, логика, социологу. Поппер обосновывает гипотетический характер и подверженность ошибкам любой науки: так называемый принцип *фаллибилизма*⁸. Тогда история познания есть история смелых предположений и их перманентных опровержений [27, с. 533–535, 745]. В пользу позиции Поппера свидетельствуют многочисленные эпизоды из истории науки [20]. Поэтому и ценна критика как средство устранения ошибок и источник опровержения, т. е. «закрытия», антиобоснования [30, с. 212].

Процесс научного познания непрерывен, и границы применимости научных теорий постоянно уточняются. По изящному замечанию Л. М. Марковой, знание в форме общепринятой теории постоянно пребывает в состоянии ожидания неизбежного опровержения, а истина является довольно таки мимолётным свойством знания: им обладает только господствующая на данный момент теория (как говорили древние, «истина – дочь своего времени»). Предшествующие и, по существу, сданные в научный архив теории уже не обладают *истинностью* (в абсолютном понимании), но они обладают *смыслом*, т.е. с ними можно спорить, аргументированно опровергать и т. п. А как быть с множественностью сосуществующих сегодня, не опровергнутых теорий? Им тоже свойственна научность постольку, поскольку они обладают смыслом. Поэтому плюрализм в естествознании базируется не на том, что высказываемые взгляды одинаково истинны, а на том, что все они обладают смыслом; с бессмысленными же высказываниями «в науке никто не спорит, не дискутирует, и никто их не опровергает. На них просто не обращают внимания» [31, с. 93].

Научная терминология. Операционализируемость. Измеримость

В контексте проблемы воспринимаемости новых результатов определенную роль играет научная терминология, в частности непротиворечивость и однозначность терминов, используемых в пределах диссертационной работы. Многовековая жизнь науки доказывает, что содержание отдельных важных терминов со временем постепенно изменяется. Поэтому важное значение приобретает работа по «своевременной» непротиворечи-

⁸ Принцип фаллибилизма утверждает неизбежное присутствие погрешности (англ. *fallibility* – погрешность) в познавательных операциях.

вой классификации терминов и обозначаемых ими понятий, что оказывается полезным и в прогностических целях [32]⁹. Язык науки стремится к максимальной точности и однозначности понятий и высказываний. Для достижения этого научным терминам приписывают строго определённое значение. Следовательно, язык любой отдельной науки «существенно задаёт пределы видения ею исследуемой предметной области и действительности в целом» [33, с. 59].

Гарантированную возможность указать, какие операции (практические и/или мысленные) необходимо проделать, чтобы дать ответ на вопрос о том, что означает данное понятие (термин), связывают с методическим приемом, называемым *операционализиремостью*¹⁰. При этом, по П. У. Бриджмену, автору концепции, операциональное значение должно быть настолько единственным, насколько это возможно, чтобы не возникло разных имён для обозначения одного и того же понятия [27, с. 488].

Возможность подвергнуть изучаемые объекты измерительным действиям (экспериментально определить значение некоторой величины с использованием средств измерений) характеризуют *измеримостью* [18, с. 150]¹¹.

Конвенционализм и принцип антропности в науке

Перечисленные выше критерии научности (истинность, доказанность, однозначность, точность, определённость, верифицируемость, фальсифицируемость, операционализируемость, измеримость) германский социолог Н. Луман (1927–1998) относил к оперативным средствам *управления (самоуправления) наукой*¹². Соблюдение норм научности есть условие необходимое, но вовсе не достаточное для творческих достижений, ибо в центре научной работы находится *человек*.

Согласно *конструктивной теории познания* исследователь не столько отражает мир, сколько изобретает, конструирует его. Человеческое начало в научном познании проявляется, по мнению бывшего главы Европейского союза физиков и одного из руководителей ЦЕРН'а А. Дзикаки, в том,

⁹ В этом плане определённым предостережением звучит реплика, автором которой считают академика Л. И. Мандельштама (1879–1944): «Если вы хотите погибнуть, займитесь классификацией» (цит. по: [34, с. 120]). С. Д. Хайтун полагает, что удачный или неудачный «выбор автором основных для его теории терминов и (или) её названия может определить судьбу теории» [35, с. 74]. Примером может служить несчастливая судьба научных идей французского естествоиспытателя Ж.-Б. Ламарка (1744–1829).

¹⁰ Операционализм (от лат. *operatio* – действие) – методологическая позиция, которую разработал американский физик-экспериментатор и философ науки П. У. Бриджмен (1882–1961) [36, с. 45]. Согласно ей содержание научных понятий и теоретических конструкций обусловливается совокупностью экспериментально-измерительных и/или умственных (подобно процедурам счёта) *операций*. Так, Бриджмен показал, как через действия с «линейкой» и «часами» А. Эйнштейн вводил понятия времени и пространства в свою теорию относительности [27, с. 488].

¹¹ Как считал еще в самом начале XX в. немецкий химик и философ В. Ф. Оствальд (1853–1932), «если каждая величина, входящая в формулу, сама по себе измерима, то это закон природы, а если содержит неизмеримые величины, то это гипотеза в математической оболочке; в плоде есть уже червь» (цит. по: [37, с. 193]). Сегодня признано, что измерение – «универсальное средство количественного познания реальности, лежащее в основе всякого физического знания» [38, с. 142].

¹² С ними ассоциируется наглядный образ, принадлежащий историку естествознания Дж. Гранту (2006): «Именно точная наука крутит колесо человеческой технологии» [39, с. 249].

что «*воображение в Науке* соответствует придумыванию нового принципа, нового явления, нового закона и воображению нового эксперимента» [28, с. 19], в отличие от воображения в *Логике*, которое «означает изобретение новых математических структур со своими аксиомами и своими правилами» [28, с. 19]. Естественно, творчество в науке «должно полагаться не только на логические структуры, не противоречащие сами себе, но и подчиняться правилу воспроизводимости экспериментальных доказательств» [28, с. 20]. В науке не существует «чистых», никак не зависящих от какой-либо теории данных наблюдения и эксперимента. Уже сами термины, в которых наблюдатель описывает результаты наблюдений и экспериментов, явно либо неявно связаны с определённой теорией, концепцией, общей идеей. Кроме того, «начало» и «конец» опыта регламентирует наблюдатель. А из чего он исходит? Из определённых (возможно, даже не всегда чётко осознаваемых им) предписаний какой-то теории, методологической позиции, традиций школы, к которой он принадлежит, и т.п.¹³

«Приписывание» каких-либо качеств научному исследованию носит конвенциональный (договорной) характер¹⁴. Термин «*конвенциональный*» (от лат. *conventionalis* – соответствующий договору, *conventio* – соглашение) имеет смысл «*принятый сообществом, отвечающий установленной традиции*». Конвенционализм в науке означает, что в основу математических и естественно-научных теорий кладут – по договорённости между учёными – некоторые соглашения. Почему же решение о достаточности подобных оснований имеет относительный и договорный (между членами учёного сообщества) характер? Потому что в основе этого решения лежат познавательная воля исследователя, некий его *выбор*, а также ряд сугубо практических соображений: простота модели (для приемлемой точности), удобство пользования ею другими специалистами, предсказательная сила теории, успешное применение в сфере техники и технологии и т.д. [33, с. 61], т. е. выбор соглашений обусловлен логикой целесообразности или даже просто-го удобства.

Обязательное (неустранимое) присутствие наблюдателя (исследователя) в познавательных действиях находит обобщение в активно дискутируемом методологическом принципе *антропности* физики¹⁵, который в формулировке А. Л. Зельманова выглядит так: «Мы являемся свидетелями процессов определённого типа потому, что процессы другого типа протекают без свидетелей» (цит. по: [40, с. 297])¹⁶.

¹³ По преданию, Леонардо да Винчи полагал: «В науке теории – генералы, а эксперименты – солдаты» [33, с. 61].

¹⁴ Вот один из «прозрачных» примеров. Благодаря успехам квантовой метрологии в 1983 г. в качестве *точного* значения скорости света была *принята величина* $c = 299792458$ м/с. Но могли бы выбрать и другое близкое значение! [40, с. 270].

¹⁵ Антропный, или антропологический, антропический, антропогенный, атропийный, – относящийся к человеку, обусловленный человеком.

¹⁶ В этом контексте можно вспомнить сентенцию Протагора из Абдер (около 480–400 до н. э.), древнегреческого философа, странствующего «учителя мудрости»: «Человек есть мера всех вещей: для реальных – их реальности, для нереальных – их нереальности» (цит. по [41, с. 521]).

Предмет защиты, заимствования, плагиат

В кристаллизованном виде научный смысл достижений соискателя учёной степени передается посредством защищаемых положений, облакаемых в определенную логическую форму. Научный смысл устанавливается в умственном акте посредством по крайней мере трёх логических операций, порой неосознаваемых явно. К ним относятся дизъюнкция (от лат. *disjunctio* – разделение, различие), конъюнкция (от лат. *conjunctio* – союз, связь), импликация (от лат. *implicite* – тесно связываю). В результате их применения обнаруживается: 1) что некое значение противостоит другим значениям; 2) но это значение к тому же сопоставимо с какими-либо значениями; 3) из этого значения выводимы *новые* значения, т. е. смысл. Рекомендации по формулировке защищаемых положений и примеры формулировок нами приводились в ряде публикаций. Поэтому здесь мы ограничимся лишь рассмотрением научных положений с позиций требований к их действительной новизне и оригинальности.

Научная работа создаётся не на пустом месте: «контекст, порождающий новое в науке, формируется не произвольным образом» [31, с. 96], он связан с уже существующим знанием, предопределяется возникшими в нём трудностями и потребностями. Требуемая от соискателя актуализация диссертационного исследования предусматривает активную работу с научной литературой, «очерчивание» соответствующей «научной ниши», вмещающей предмет его исследований. Волей-неволей соискатель исследования при обосновании объекта и предмета, целей, задач и методов исследования вынужден прибегать к критическому анализу публикаций, близких к его предмету исследования. «Физическое» присутствие в диссертации осмысленного текста, содержащего чужие результаты в форме критического обзора и цитирования, не является криминалом в случае наличия соответствующих ссылок. В этом контексте «заимствования» допустимы; допустимы в диссертационной работе и принципиально новые умозаключения, которые соискатель смог сделать на основе анализа литературных данных.

Для диссертации «плагиатом» является вынесение в защищаемые положения выводов и результатов, полученных другими исследователями, (пусть и в видоизменённой форме, не влияющей на суть). Именно обнаружение этого обстоятельства должно служить главным обоснованием для снятия диссертации с защиты *независимо* от «процента заимствований», устанавливаемого исключительно формально «антиплагиатными» системами!

Другие нюансы, служащие «тормозом» на пути диссертанта, могут носить дискуссионный характер: корректно ли классифицирована специальность, соответствует ли идейный и предметный вклад требованиям официальных документов и заявленным притязанием, насколько актуальна постановка задач исследования, насколько обоснованы выводы диссертационной работы и т. д. «Мерки» у различных диссертационных советов в

этих вопросах могут существенно различаться, что, в частности, может привести и приводит к пропуску слабых диссертаций, подрыву репутации¹⁷ не только отдельных советов, но и самого понятия «диссертационная защита».

Заключение. Теоретические и практические выводы для соискателя

Российская наука сегодня остро нуждается в притоке талантливых кадров – одновременно молодых и профессионально подготовленных. Престижным показателем степени такой подготовленности остаётся защита диссертации. «Положение о присуждении ученых степеней» [42, п. 3] предоставляет право защиты кандидатской диссертации аспирантам, успешно¹⁸ выполнившим программу подготовки научно-педагогических кадров по направлению, соответствующему научной специальности из номенклатуры научных специальностей, утверждаемой Министерством образования и науки Российской Федерации, а также соискателям, прикрепленным к научно-образовательным организациям для подготовки диссертации и сдачи кандидатских экзаменов (и получившим в итоге положительное заключение этой организации по диссертации).

Работа и аспирантов, и соискателей, и диссертационных советов должна соответствовать идеалам науки, консолидирующим работу научного сообщества, обеспечивающим развитие науки и играющим роль символа научного познания [1, гл. 1]. По своему происхождению идеалы науки есть, во-первых, теоретические *принципы*, которые были выработаны в ходе эволюции познавательной деятельности. Во-вторых, идеалы науки есть фактор, вносящий *единый порядок*, координацию в проведение исследований членами научного сообщества. Они сложились по мере осмысления способов выработки знания. В режиме смены и противоборства идеалы науки – в процессе развития науки – становятся эталонами работы исследовательской группы, лаборатории, научной школы и т. п. Затем идеалы науки становятся дисциплинарными образцами, позволяющими учёному отнести себя к тому или иному научному «цеху». В конце концов, они – социально признанные нормы, которые реализуются в системе образования, в подготовке аспирантов и т. д., а также ценности, которые принимаются «здоровым смыслом науки» и достаточно культурным внеученым окружением [24, с. 47, 49].

С точки зрения организации познавательной деятельности и регулирования профессионального поведения исследователей понятие идеала науки надо описывать совокупностью определений:

¹⁷ Репутация (от фр. *réputation* – слава, доброе имя; молва < *reputer* – вновь упоминать) – установившееся мнение о ком-либо, чём-либо. Не зря репутация было предметом особых забот людей из приличного общества.

¹⁸ Порядок подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре определяет действующий с 1 сентября 2013 г. «Закон об образовании в Российской Федерации». Успешное окончание аспирантуры (выполнение рабочего учебного плана и прохождение итоговой государственной аттестации) подтверждается дипломом.

1) идеал научности – некоторый нормативный образец (стандарт, критерий, эталон оценки), принятый в научном сообществе;

2) идеал научности – некоторое субъективное представление членов этого сообщества о том, что (не)приемлемо, (не)корректно, (не)обоснованно, причём эта совокупность ориентаций позволяет давать оценку результатов и своей, и чужой деятельности;

3) идеал научности – перевод персональных, субъективных характеристик в коллективную, объективную характеристику, что позволяет сообществу сформулировать содержание установок и оценок, выработать правила деятельности и суждений о чём-то;

4) идеал научности обуславливает принципы выбора учёным методологии познавательной деятельности (из ряда возможных), а также её целей и средств;

5) идеал научности выступает как фактор интеграции научного общества, благодаря признанию определённых предпочтений в разработке тех или иных проблем, благодаря принятию критериев оценки творческих достижений [24, с. 48].

Защищаемые положения и результаты диссертации должны, прежде всего, обладать явными признаками новизны и целостности, т.е. продемонстрировать внутреннее единство содержания. Целостность отнюдь не сводится к приветствуемому многими экспертами понятию «законченность», ибо по своему смыслу научное исследование суть нескончаемый процесс!

Качественная диссертация, помимо корректного, логически стройного, осмысленного представления новых результатов, должна содержать и соответствующий «аккомпанемент» в виде системы «проверочных средств» истинности вынесенных на защиту научных положений и результатов, ибо наука зиждется на проверяемых фактах и идеях. Эти средства перечислялись выше. Что можно посоветовать соискателю? Нужно на заключительной стадии подготовки диссертации попытаться обозреть её с позиции стороннего науковеда, критически проанализировать использованную в работе аргументацию, приемы верификации полученного знания. Науковедческая характеристика работы в концентрированном виде отражается в ее аспектных характеристиках, представляемых в автореферате и во введении к диссертации [43–46].

Следует иметь в виду, что формулировка положений, выносимых на защиту, и выводов требует особой формы умственной деятельности, позволяющей из мозаики полученных данных «сконструировать» обобщающие заключения, имеющие объяснительное и прогностическое значение¹⁹ [47–50]. Отличительный признак диссертации – оригинальность защищаемых положений, некритические заимствования и откровенный плагиат при формулировке положений квалифицируются как научная несостоятельность [51].

¹⁹ С позиции физика и вообще *common sense* (здравого смысла) «идея бессмысленна вне реальности, а контекст изменяет смысл слова или сообщения. Научное осмысление знаний – это их упорядочивание, выстраивание иерархии по общности смыслов» [29, с. 327].

«Текущий контроль» за уровнем диссертационной работы осуществляется рецензентами и читателями научных журналов, участниками научных конференций и семинаров, где представляются фрагменты исследовательских материалов [52, 53]. Нужно с благодарностью воспринимать критические замечания, ибо «критика есть вежливость научного работника» [54, с. 106]. Порой одна фраза, прозвучавшая со стороны, помогает усилить или по-новому перестроить «дебютную идею» работы. В то же время нужно иметь в виду, что «не все замечания одинаково полезны» [55]: в первую очередь подлежат исправлению (в случае необходимости) формальные и содержательные моменты, предусмотренные документами, регулирующими диссертационный процесс и оформление диссертации [42, 56].

«Завоевание» внимания научной аудитории на заключительной стадии процесса представления диссертации (то, что мы ранее называли термином «восприимчивость») достигается посредством рассылки автореферата, размещения текста автореферата и (одно из последних нововведений «Положения о присуждении ученых степеней» [42]) самой диссертации в Интернете. В этой связи существенно «обнажается» лингводициплинарная компетенция автора диссертации [57] – научная эрудиция, владение средствами грамотного вербального представления результатов, терминологией, умение делать смысловые умозаключения. Широкой аудитории теперь доступны и размещаемые на сайтах диссертационных советов полные тексты всех отзывов, поступающих на диссертацию и автореферат.

Хотелось бы отметить еще тот факт, что физико-математическая подготовка с её установкой на анализ, синтез, модельное и проектное мышление оказывается продуктивной предпосылкой для освоения студентами и аспирантами гуманитарной составляющей. Это даёт им *modus operandi* (образ действия) для изучения и конструктивного участия в исследовании и преобразовании всех ярусов реальности (в будущем), а также для саморазвития, *self-development* (уже в настоящем) [58].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов И. В., Пойзнер Б. Н. О науке, событиях в истории изучения света, колебаний, волн, об их исследователях, а также глоссы и этимоны : учеб. пособие / под ред. А. В. Войцеховского. Томск : ИД ТГУ, 2014. 380 с.
2. Налимов В. В. Облик науки. СПб. ; М. : Центр гуманит. инициатив ; Изд-во МБА, 2010. 368 с.
3. Петров М. К. Социально-культурные основания развития современной науки. М. : Наука, 1992. 232 с.
4. Основы науковедения / под ред. Н. Стефанова и др. М. : Наука, 1995. 432 с.
5. Неретина С. С., Огурцов А. П. Реабилитация вещи. СПб. : Мирь, 2010. 800 с.
6. Лебедев С. А., Ковылин Ю. А. Философия научно-инновационной деятельности. М. : Академ. проект ; Парадигма, 2012. 182 с.
7. Философия техники : классическая, постклассическая, постнеклассическая : словарь / под ред. Б. И. Кудрина. Вып. 37 : Ценологические исследования. М. : Технетика, 2008. 180 с.

8. *Горохов В. Г.* Техника и культура : возникновение философии техники и теории технического творчества в России и Германии в конце XIX – начале XX столетия. М. : Логос, 2010. 376 с.
9. *Келле В. Ж.* Духовность и интеллектуальное начало культуры // Человек в интеллектуальном и духовном пространствах / отв. ред. М. С. Киселёва. М. : Прогресс-Традиция, 2010. С. 9–20.
10. *Вейсман А. Д.* Греческо-русский словарь. Репринт 5-го изд. 1899 г. М. : Греко-латинский кабинет Ю. А. Шичалина, 1991. 1370 стб.
11. *Ортега-и-Гассет Х.* Миссия университета. М. : ИД Высш. шк. экономики, 2010. 144 с.
12. *Петрученко О.* Латинско-русский словарь. М. ; Пг. ; Харьков : Т-во «В. В. Думнов, Наследники Бр. Салаевых», 1918. 810 с.
13. *Аникин В. М., Пойзнер Б. Н.* Какова природа интересного, или дефиниции науки и научности – эпистемологический компонент профессиональной компетенции (радио)физика как инженера исследователя // Изв. вузов. Физика. 2013. № 10/3. С. 118–120.
14. *Фасмер М.* Этимологический словарь русского языка : в 4 т. / пер. с нем. О. Н. Трубачева. Т. 2. М. : Прогресс, 1986. 672 с.
15. *Подосинов А. В., Белов А. М.* Русско-латинский словарь. М. : Флинта : Наука, 2000. 376 с.
16. *Князева Е. Н.* Кибернетические истоки конструктивистской эпистемологии // Когнитивный подход / отв. ред. В. А. Лекторский. М. : «Канон+» РООИ «Реабилитация», 2008. С. 227–271.
17. *Антоновский А. Ю.* Никлас Луман : Эпистемологическое введение в теорию социальных систем. М. : ИФ РАН, 2007. 135 с.
18. *Луман Н.* Мировое время и история систем // Логос : журнал по философии и прагматике культуры. 2004. № 5 (44). С. 131–168.
19. *Вернадский В. И.* Труды по истории науки в России. М. : Наука, 1988. 464 с.
20. *Бхактиведанта Садху Свами.* Код абсолюта : Путь к совершенному разуму. М. : Философская книга, 2012. 256 с.
21. *Бернатосян С. Н.* Воровство и обман в науке. СПб. : Эрудит, 1998. 384 с.
22. *Кругляков Э. П.* «Учёные» с большой дороги. М. : Наука, 2009. 357 с.
23. *Сойфер В. Н.* Сталин и мошенники в науке. М. : Добросвет ; КДУ, 2012. 504 с.
24. *Огурцов А. П.* Философия науки : двадцатый век : Концепции и проблемы : в 3 ч. Ч. 2 : Философия науки : Наука в социокультурной системе. СПб. : Мирь, 2011. 495 с.
25. *Маяцкий М.* «Помойная наука» на службе невежества. URL : postnauka.ru/video/12146 (дата обращения: 20.05.2014).
26. *Вернадский В. И.* О науке. Научное знание. Научное творчество. Научная мысль. Дубна : Феникс, 1997. 576 с.
27. Новейший философский словарь / сост. А. А. Грицанов. Минск : Изд-во В. М. Скакун, 1998. 896 с.
28. *Дзикики А.* Творчество в науке / отв. ред. Е. П. Велихов ; науч. ред. В. О. Малышенко. М. : Эдиториал УРСС, 2001. 240 с.
29. *Чернуха В. В.* Мы и миры Мироздания : Новая физическая картина мира. М. : ЛЕНАНД, 2013. 400 с.
30. *Никитин Е. П.* Открытие и обоснование. М. : Мысль, 1988. 221 с.
31. *Маркова Л. А.* Наука на грани с ненаукой. М. : «Канон+» РООИ «Реабилитация», 2013. 336 с.
32. *Покровский М. П.* Классиология как система // Вопр. философии. 2006. № 7. С. 108–117.
33. *Лебедев С. А., Коськов С. Н.* Конвенционалистская философия науки // Вопр. философии. 2013. № 5. С. 57–69.

34. Печёнкин А. А. От автоколебаний к самоорганизации : формирование синергетических идей в теории нелинейных колебаний // Концепции самоорганизации в исторической ретроспективе / отв. ред. А. А. Печёнкин. М. : Наука, 1994. С. 104–124.
35. Хайтун С. Д. Трактовка энтропии как меры беспорядка и её негативное воздействие на современную научную картину мира // Вопр. философии. 2013. № 2. С. 62–74.
36. Храмов Ю. А. Физики : биограф. справочник. М. : Наука, 1983. 400 с.
37. Родный Н. И., Соловьёв Ю. И. Вильгельм Оствальд. 1853–1932. М. : Наука, 1969. 376 с.
38. Кураев В. И., Лазарев Ф. В. Точность, истина и рост знания. М. : Наука, 1988. 240 с.
39. Грант Дж. Отвергнутая наука : Самые невероятные теории, гипотезы, предположения. М. : Мартин, 2012. 352 с.
40. Томилин К. А. Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. 368 с.
41. Философский энциклопедический словарь. М. : Сов. энцикл., 1989. 815 с.
42. Положение о присуждении учёных степеней : утверждено постановлением Правительства Российской Федерации 24 сентября 2013 г. № 842. URL : <http://www.rg.ru/2013/10/01/stepen-site-dok.html> (дата обращения: 12.04.2014).
43. Аникин В. М., Усанов Д. А. Диссертация в зеркале автореферата: методическое пособие для аспирантов и соискателей учёной степени естественно-научных специальностей. 3 изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2013. 128 с.
44. Аникин В. М., Усанов Д. А. Автореферат диссертации: функции, структура, значимость // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Физика. 2008. Т. 8, вып. 2. С. 61–73.
45. Аникин В. М., Поизнер Б. Н., Усанов Д. А. Схема поаспектной характеристики диссертации : правила, рекомендации, примеры // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2009. Т. 17, № 3. С. 137–157.
46. Аникин В. М., Поизнер Б. Н. Как диссертанту аргументировать достоверность научных положений и результатов, выносимых на защиту // Изв. вузов. Физика. 2011. Т. 54, № 6. С. 105–108.
47. Аникин В. М., Поизнер Б. Н. Эпистемологические упражнения магистранта: формулировка и оценка научных положений в своей диссертации // Изв. вузов. Физика. 2012. Т. 55, № 8/3. С. 213–214.
48. Аникин В. М., Поизнер Б. Н. Провокация магистранта на вербализацию защищаемого научного положения как прием когнитивного менеджмента // Вестн. Томск. гос. ун-та. Философия. Социология. Политология. 2013. № 2. С. 15–20.
49. Аникин В. М., Поизнер Б. Н., Усанов Д. А. Как сформулировать в диссертации защищаемые научные положения // Классическое университетское образование для XXI века : доступность, эффективность, качество : сб. науч. тр. Шестой междунар. заочной науч.-метод. конф. : в 2 ч. Саратов : ИЦ «Наука», 2009. Ч. 1. С. 34–37.
50. Аникин В. М., Измайлов И. В., Поизнер Б. Н. Логическая тавтология как форма диссертационного положения // Инновационные процессы в современном педагогическом образовании и риски : сб. науч. тр. Восьмой междунар. заочной науч.-метод. конф. Саратов : ИЦ «Наука», 2012. С. 40.
51. Аникин В. М., Поизнер Б. Н. Ненаучные приёмы в гонке за научным приоритетом // Качество педагогического образования : методология, теория и практика : сб. науч. тр. Десятой междунар. заочной науч.-метод. конф. (14 марта 2014 г., г. Саратов). Саратов : Изд-во СРОО «Центр “Просвещение”», 2014. С. 4–6.
52. Аникин В. М., Поизнер Б. Н. «Предзащита» диссертации : формальные требования и традиции // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2014. Т. 22, № 2. С. 95–102.

53. *Аникин В. М., Пойзнер Б. Н.* «Предзащита» и защита диссертации : превращение black box в transparent box // Качество педагогического образования : методология, теория и практика : сб. науч. тр. Десятой междунар. заочной науч.-метод. конф. (14 марта 2014 г., г. Саратов). Саратов : Изд-во СРОО «Центр “Просвещение”», 2014. С. 9–10.

54. *Лахути Д. Г.* Милль, Пирс и Поппер о логике научного открытия // *Вопр. философии*. 2012. № 3. С. 101–109.

55. *Аникин В. М., Пойзнер Б. Н.* О категориях замечаний по диссертации // *Качество педагогического образования : методология, теория и практика : сб. науч. тр. Десятой междунар. заочной науч.-метод. конф. (14 марта 2014 г., г. Саратов)*. Саратов : Изд-во СРОО «Центр “Просвещение”», 2014. С. 7–8.

56. ГОСТ Р 7.0.11-2011. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. М. : ФГУП «СТАНДАРТ-ИНФОРМ», 2012. 12 с.

57. *Аникин В. М., Пойзнер Б. Н.* Коммуникативная функция автореферата и уровень лингво-дисциплинарной компетенции диссертанта // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Физика*. 2013. Т. 13, вып. 1. С. 80–86.

58. *Соснин Э. А., Пойзнер Б. Н.* Из небытия в бытие : творчество как целенаправленная деятельность. Томск : STT, 2011. 520 с.

ЭКОНОМИКА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 338.24

СУЩНОСТНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В СФЕРЕ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

А. Н. Плотников

Саратовский государственный технический университет
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77
E-mail : a.n.plotnikov@mail.ru

В статье рассматривается сущность экономической категории «инновационный потенциал системы менеджмента качества в сфере технологий разработки программного обеспечения».

Ключевые слова: потенциал, инновация, система менеджмента качества, технология разработки программного обеспечения.

The Intrinsic Maintenance of Innovative Potential of Quality Management System in the Sphere of Technologies of Development of the Software

A. N. Plotnikov

In article the essence of the economic category «innovative potential of the quality management system in the sphere of technologies of development of the software» is considered.

Key words: potential, innovation, quality management system, technology of development of the software.

Рассмотрение сущности экономической категории «инновационный потенциал системы менеджмента качества» (СМК) в сфере технологий разработки программного обеспечения тесно связано с такими понятиями, как «потенциал», «инновация», «система менеджмента качества», «технология разработки программного обеспечения». Остановимся на некоторых из них, непосредственно связанных с относительно новой категорией, которой посвящена настоящая статья.

Понятие «потенциал»

В словаре русского языка раскрывается основное значение слова «потенциал». В частности, он понимается как определение «*potential*» или «потенциальный», заимствованное из французского языка в XIX веке и переводимое как «могущий быть» [1]. Имеется и другая трактовка этого понятия, которая приводится в словаре иностранных слов И. А. Васюковой, где в качестве потенциала понимается мощь, сила [2].

Потенциал социально-экономической системы, по мнению ряда экономистов [3, 4], представляет собой «совокупность факторов, ресурсов, имеющихся в наличии, а также источников пополнения запасов, которые могут быть использованы и приведены в действие для достижения определенной цели, решения какой-либо задачи, получения возможности» [3, с. 65–67].

Обобщая имеющиеся трактовки, следует выделить то общее, что присутствует практически во всех них – это совокупность чего-либо, что в конечном итоге может быть направлено на применение с целью оказания положительного изменения сложившегося состояния экономической системы, а может и не быть реализовано. Отсюда следует, что неиспользование потенциала экономической системой может привести либо к стагнации, либо к замедлению ее развития.

Таким образом, потенциал экономической системы, на наш взгляд, может быть представлен как совокупность внутренних и внешних факторов ее среды, которые при определённых условиях могут быть использованы для динамичного развития системы.

Потенциал экономической системы состоит из ряда составляющих, одной из которых является инновационный потенциал. Поэтому перейдем к рассмотрению понятия «инновационный» (от слова «инновация»).

Понятие «инновация»

Инновация – это новое решение, направленное на удовлетворение тех или иных потребностей, достаточно эффективно используемое в практической деятельности [5]. Под новацией, или новшеством, многие авторы понимают что-либо новое. Это могут быть новое явление, новый метод или изобретение [6]. Существует также понятие «нововведение». По сути, нововведение означает «введение нового» и представляет собой процесс использования новшества. Аналогом нововведения является английское слово *innovation*, что в переводе означает «введение новаций». Из этого определения следует, что с момента принятия к промышленному массовому производству новация становится инновацией.

На сегодня существует теория инноваций, основоположником которой стал Й. А. Шумпетер. Он первым ввел понятие «инновация» еще в начале XX века, определил ее как новую научно-организационную комбинацию производственных факторов, мотивированную предпринимательским духом, а также назвал одним из «...главных двигателей, генераторов прибыли» [7, с. 237].

В современном понимании «инновация (нововведение)» – результат инновационной деятельности, получивший воплощение в виде нового или усовершенствованного продукта, внедренного на рынке, нового или усовершенствованного технологического процесса, используемого в практической деятельности, либо новой или усовершенствованной организационно-экономической формы, обеспечивающей необходимую экономическую и (или) общественную выгоду [8].

Исследовав понятия «потенциал» и «инновация», можно дать определение инновационному потенциалу экономической системы, под которым мы понимаем совокупность факторов внешней и внутренней среды системы, использование которых позволит качественно изменить саму систему, производимую в ней продукцию и процесс удовлетворения потребностей клиентов в этой продукции. В данном понятии объединяется две категории, дополняющие друг друга: потенциал как будущая возможность и инновация как реализованное и принятое обществом новшество.

Соединив понятия «инновация» и «потенциал», можно трактовать инновационный потенциал как совокупность внешних и внутренних факторов, необходимых для ведения инновационной деятельности, позволяющей экономической системе эффективно развиваться [9].

Понятие «система менеджмента качества»

В Википедии дано определение системы менеджмента качества (СМК), которая представляет собой совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов, необходимых для общего руководства качеством. Сущность ее заключается в том, что она предназначена для постоянного улучшения деятельности, повышения конкурентоспособности организации на отечественном и мировом рынках и, тем самым, определяет конкурентоспособность любой организации [10].

Сегодня существует достаточно большое количество определений системы менеджмента качества. Но если их объединить, то СМК – это система, созданная в организации для формирования политики в области качества и достижения поставленных задач.

В стандарте ГОСТ Р ИСО 9000-2001 дается следующее определение: «система менеджмента качества – система менеджмента для руководства и управления организацией применительно к качеству».

Требования к системе менеджмента качества изложены в стандартах ISO серии 9000 версии 2000 года. Соответствие построенной СМК на предприятии требованиям этих стандартов означает, что коллектив разработчиков программного обеспечения сформулировал политику и цели в области качества, постоянно улучшает свою деятельность и качество программного продукта, стремится удовлетворить потребителя этого продукта, деятельность внутри группы прозрачна, налажены внутренние коммуникации между сотрудниками и отделами.

В самом названии СМК присутствует слово «менеджмент». В данном случае под термином «менеджмент» следует понимать скоординированную, согласованную деятельность по управлению предприятием или организацией, в нашем случае коллективом разработчиков программного обеспечения.

В соответствии с международными стандартами система менеджмента – это система для установления целей и политики, дающая инструменты, позволяющие достигать поставленных целей.

Менеджмент компании может базироваться на различных системах менеджмента (СМК, внедренной на основе стандарта ISO 9001: 2008, системе менеджмента безопасности – на основе OHSAS 18001, системе экологического менеджмента – на основе ISO 14001, системе энергоменеджмента – на основе BS EN 16001/ ISO 5000, системе менеджмента рисков – на основе ISO 31000).

В контексте СМК качество – это уровень соответствия определенных характеристик объекта, являющихся неотъемлемыми, установленным или/и ожидаемым потребностям (требованиям). При этом объект рассматривается в широком аспекте: это процессы, продукция, люди. Иными словами, степень качества продукции либо услуг определяется качеством управленческих, производственных и иных процессов.

СМК, представляя собой систему, характеризуется рядом признаков, таких как соответствующее назначение, свойственный ей состав, обязательное наличие составляющих элементов с их взаимосвязями.

Сущность любой системы определяется ее назначением. СМК предназначена для обеспечения качества производимого продукта, в том числе программного. Качество продукции должно максимально соответствовать требованиям ее потребителя. Для этого необходимо настроить СМК таким образом, чтобы она обеспечивала бесперебойную и безошибочную работу, как технических средств, так и персонала, проектирующего и разрабатывающего программный продукт.

Как уже отмечалось выше, СМК, как любая другая система, должна иметь определенный состав, представляющий совокупность взаимосвязанных между собой элементов. Таким образом, в состав СМК должны входить такие элементы, как организация, документы, процессы, ресурсы.

Первым элементом СМК является организация. Суть этого элемента заключается в том, что в компании, специализирующейся на разработке программных продуктов, действует определенная группа разработчиков, обладающих специальными познаниями в данной сфере деятельности. Следовательно, существует дифференциация полномочий и обязанностей, а также их взаимоотношений.

Вторым элементом СМК является документация. Это не только бухгалтерская документация, но и документация организационно-распорядительного характера (должностные инструкции, положения о структурных подразделениях и т. д.).

Третьим элементом являются процессы, представляющие собой взаимосвязь и взаимодействие элементов деятельности, в нашем случае деятельности по разработке программного обеспечения. Существует также понятие процедуры, которое отличается от процесса. Процедура представляет собой способ установления и осуществления деятельности или процесса.

Четвертым элементом являются ресурсы. Это все то, без чего невозможно обеспечить деятельность любой экономической системы: людские, временные и другие ресурсы. Так, к людским ресурсам в нашем случае относятся разработчики программного обеспечения, а к временным – время, затрачиваемое на подготовку программного продукта.

Понятие «технология разработки программного обеспечения»

Технология (в переводе с греч. ремесло + наука) – совокупность знаний о способах и средствах осуществления производственных процессов.

Разработка программного обеспечения (англ. *software engineering, software development*) – это род деятельности (профессия) и процесс, направленный на создание и поддержание работоспособности, качества и надежности программного обеспечения, используя технологии, методологию и практики из информатики, управления проектами, математики, инженерии и других областей знания.

Под технологией разработки программного обеспечения (ТРПО) понимается совокупность обобщенных и систематизированных знаний или наука об оптимальных способах (приёмах) проведения процесса разработки программного обеспечения, позволяющего в заданных условиях получить программную продукцию с заданными свойствами.

Технология разработки программного обеспечения предполагает наличие соответствующей методологии (концептуальных положений) программирования, обеспечивающей *надёжность* программ, а также *оценки* рабочих характеристик и качества проектов.

Понятие «инновационный потенциал СМК в сфере технологий разработки программного обеспечения»

Инновационный потенциал СМК в сфере технологий разработки программного обеспечения представляет собой совокупность новых знаний, инновационных способов (приемов) разработки программного обеспечения оптимальным составом команды разработчиков с использованием современных методик, посредством разбивки работы на процессы с соответствующим обеспечением их необходимыми ресурсами, что способствует получению качественной программной продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Словарь русского языка : в 4 т. / РАН; Ин-т лингвист. исследований ; под ред. А. П. Евгеньевой. М. : Рус. яз. : Полиграфресурсы, 1999. 752 с.
2. Словарь иностранных слов / под ред. И. А. Васюковой. М. : АСТ-пресс, 1972. 640 с.
3. *Нойбауэр Х.* Инновационная деятельность на малых и средних предприятиях // Проблемы теории и практики управления. 2002. № 3. С. 65–67.

4. *Кравченко И. С.* Исследование сущности инновационного потенциала // Науч. тр. Донец. нац. техн. ун-та. Сер. Экономика. 2003. Вып. 68. С. 88–96.
5. Большой экономический словарь / под ред. А. Н. Азриляна. М. : Ин-т нов. экономики, 2007. 1472 с.
6. *Гунин В. Н.* Управление инновациями. М. : Инфра-М, 1999. 328 с.
7. *Шумпетер Й.* Теория экономического развития. М. : Прогресс, 1982. 455 с.
8. *Винокуров В. И.* Основные термины и определения в сфере инноваций // Инновации. 2005. № 4. С. 16–18.
9. *Волосатов В. Д., Бабанова Ю. В.* Сущность и структура инновационного потенциала промышленного предприятия // Вестн. Челяб. гос. ун-та. Сер. Экономика. 2010. № 3 (184), вып. 24. С. 134–138.
10. Общее определение инноваций. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения: 21.01.14).

УДК 004.04

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Д. А. Плотников, И. А. Опанасенко

Саратовский государственный технический университет
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77
E-mail: dapsstu@mail.ru

Статья посвящена планированию деятельности предприятия с помощью современных автоматизированных программ.

Ключевые слова: бизнес-план, процесс бизнес-планирования, процесс автоматизации вычислительных процессов, автоматизированные программы, финансовая модель, программные продукты «Project Expert», «Альт-Финансы», «Audit Expert».

Modern Automation Software Economic Design

D. A. Plotnikov, I. A. Opanasenko

Article is devoted to the planning of the company with the help of modern automated programs.

Key words: business-plan, business planning, process automation of computing processes, automated programs, financial model, software «Project Expert», «Alt-Finance», «Audit Expert».

На сегодняшний день одной из главных составляющих финансовой стратегии предприятия является планирование его деятельности, в частности разработка бизнес-плана.

Использование автоматизированных программ позволяет в более короткие сроки провести сложные и трудоемкие расчеты и на их основе построить логически стройную схему, доступную для детального анализа. Такая схема позволяет выявить различные пути решения поставленной задачи и проанализировать результаты, к которым они приводят. В итоге это обеспечивает получение обоснованных выводов [1].

Таким образом, построенная с помощью автоматизированных программ модель является способом формирования четкого представления о действительности и служит важным инструментом для создания прогнозов в будущем.

Существует большое количество программных средств, с помощью которых производится оценка экономической эффективности проекта и создается финансовая модель. Одним из таких инструментов является программа «Project Expert», предназначенная для людей, осуществляющих управление компанией, а также выполняющих обязанности ведущих специалистов финансовых и экономических служб, отделов по развитию и инвестиционных подразделений фирм.

Программный продукт дает возможность создать модель как одного проекта или компании, так и группы проектов или холдинга. Использование данного продукта способствует формированию прогноза денежных потоков, дает возможность определить потребность в финансовых средствах, моделировать их схему и структуру, анализировать проект, подготовить финансовый план проекта и полную структуру бизнес-плана [2].

Программа «Project Expert» является главным помощником на стадии обоснования, а также на этапе выбора идей проекта. С ее помощью обеспечивается стандартизация и формализация процедуры сбора инвестиционных заявок и проведения их оценки. Особенно эффективным является ее применение на таких этапах, как:

- формирование финансового плана проекта – определение потребности в капитале, выбор и обоснование вариантов его привлечения;
- проведение проектного анализа – анализ эффективности инвестиций в проект или компанию, а также оценка рисков проекта;
- разработка бизнес-плана – формирование итоговых отчетов (бизнес-плана, экспертных заключений, инвестиционных меморандумов, технико-экономического обоснования);
- корректировка бизнес-плана – срочная адаптация к изменившимся условиям, автоматическое обновление данных, исправление финансового плана.

Главными отличиями «Project Expert» от аналогичных решений являются автоматическое формирование финансового плана на основе внешних данных, импортируемых в программу, возможность проведения анализа проекта, как в его полном объеме, так и по отдельным показателям, стоимостной оценки как сравнительным методом, так и методом дисконтированных денежных потоков, а также значительное количество сервисных функций, которые упрощают разработку проектов и подготовку отчетов, в том числе использование шаблонов проектов, библиотек данных.

Структура бизнес-плана, формируемая «Project Expert», основана на методике анализа инвестиционных проектов *UNIDO*, получившей широкое распространение в России. Программа оценивает эффективность проекта с позиции потенциального инвестора и дополняет отчет данными проведенного анализа.

Результатами разработанного в программе бизнес-плана являются плановые финансовые отчеты, соответствующие стандарту МСФО. Для удобства изучения отчетности и проведения полного ее изучения специалистами любой страны в процессе ее разработки применяются общепринятые в международной практике финансовые и инвестиционные показатели, подходы, терминология. Ввиду этого понимание инвесторами результатов работы программы значительно упрощается.

Таким образом, построенная в программе «Project Expert» модель отличается достоинствами, представленными на рис. 1.

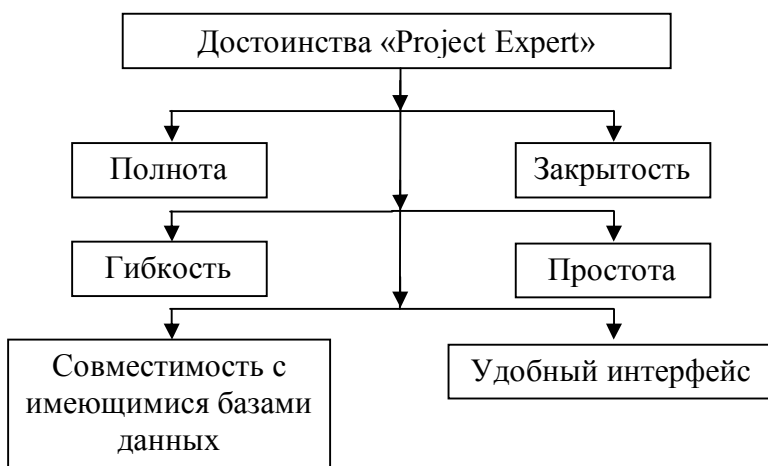


Рис. 1. Достоинства модели бизнес-плана, разработанной в программе «Project Expert»

В программе «Project Expert» пользователь может самостоятельно вводить любые данные, которые могут повлиять на финансовые результаты. К тому же в ней невозможно изменить основные расчетные формулы для подтасовки информации или из-за неосторожной работы, что очень важно для будущих пользователей бизнес-плана. Для использования программы пользователю не обязательно иметь специальные знания, она удобна в применении, и в ней имеется возможность добавления новых аналогов, создания пользовательских таблиц, учитывающих специфику проектов.

Данное программное обеспечение дает возможность совмещения нового проекта с уже существующей финансовой моделью предприятия для определения получаемого суммарного эффекта, а также сравнения различных вариантов реализации проекта, проведения анализа чувствительности, сценарного анализа, анализа в условиях нечетких множеств, повышения или понижения уровня детализации вводимой и выводимой информации.

Следует отметить, что «Project Expert» не способна полностью заменить разработчика бизнес-планов. Она лишь повышает эффективность работы пользователя. Поэтому для создания правильно составленного и успешного бизнес-плана использовать данное программное обеспечение должен профессионал – человек имеющий высокий уровень подготовки и соответствующую базу знаний по данному профилю.

Следующим важным инструментом, используемым при разработке бизнес-планов, является программное обеспечение «Business Plan PL».

Данный технологический продукт сокращает путь от разработки путей решения каких-либо финансовых задач до непосредственного осуществления этих решений.

Программа позволяет пользователю в течение короткого времени сформировать профессиональный бизнес-план при наличии у него общих знаний в области экономики и навыков работы с компьютерами. В использовании данный инструмент весьма прост благодаря замене в интерфейсе различно именуемых в специальной литературе терминов на интуитивно понятные фразы.

Комплекс «Business Plan PL» создан на основе всех установленных нормативных требований. К тому же существуют способы их модернизации. Кроме того, продукт создан таким образом, что в него можно добавлять свои финансовые показатели, собственную аналитику и недостающие расчеты и отчеты.

Комплекс программ «Business Plan PL» автоматизирует этапы подготовки бизнес-планов, финансовых расчетов, обоснований. С его помощью также оформляется пояснительная записка к этим документам, формируются различные отчеты, строятся экономические модели развития предприятия в будущем [2].

Основными отличиями данного программного обеспечения от аналогичных решений являются удобный и понятный рядовому пользователю интерфейс ввода информации, простота в использовании, продуманный графический дизайн, приемлемая ценовая категория, комплексное сервисное обслуживание.

Таким образом, программный комплекс «Business Plan PL» позволяет производить анализ финансово-хозяйственной деятельности организации и его динамику за определенный период, бюджетирование, план-фактный контроль, анализ отклонений в исполнении бюджетной программы, формирование основных разделов бизнес-плана фирмы, его анализ, расчет кредитных обязательств, оценку инвестиционного проекта. К тому же данная программа помогает оценить стоимость бизнеса в целом, а также коммерческую и бюджетную эффективность инвестирования в данное предприятие.

Другим используемым в процессе разработки бизнес-плана инструментом является программа «Альфа-Проект». Ее предназначение заключается в быстром и качественном создании полной финансовой модели существующего или разрабатываемого коммерческого предприятия.

Использовать данный программный продукт могут как опытные, так и только начинающие финансовые специалисты, осуществляющие свою деятельность в малом, среднем и крупном бизнесе. Область применения программы распространяется на производство, строительство, торговлю, услуги, расширение, перевооружение и реконструкцию основных фондов [3].

Программа «Альфа-Проект» основана на существующих российских и международных стандартах по разработке бизнес-плана и финансового

бюджетного планирования. Сформированные программой документы полностью удовлетворяют установленным требованиям российского законодательства и международным стандартам. При составлении бизнес-плана в процессе использования данного программного продукта учитываются все факторы, способные повлиять на формирование денежного потока, расчет доходов и расходов.

Программа «Альфа-Проект» является многофункциональным автономным программным продуктом для выполнения автоматизированного процесса бизнес-планирования, финансового планирования, финансового и инвестиционного анализа, оценки инвестиционных проектов.

Отличиями от аналогичных решений являются особая методика эффективного задействования всех имеющихся у предприятия ресурсов, формирования экономических структур в процессе планирования, полностью характеризующих финансово-хозяйственную деятельность фирмы, автоматический детальный расчет доходов и расходов, а также других изменений в бюджете за определенный период с соответствующим шагом планирования.

Посредством разработки бизнес-плана инвестиционного проекта осуществляется планирование дальнейшей деятельности предприятия и формирование его взаимоотношений в инвестиционной, банковской и производственной сферах. Неотъемлемой и основополагающей частью этого процесса является проведение анализа финансово-хозяйственной деятельности предприятия. Залогом успешного перспективного планирования являются полнота и достоверность финансового анализа, требуемое качество которого обеспечивается использованием программного обеспечения.

При проведении анализа финансовой состоятельности предприятия принято использовать следующие программные продукты: «Альт-Финансы», «Audit Expert» и «Анализ финансового состояния предприятия». Перечисленное программное обеспечение дает возможность проводить финансовый анализ предприятий по направлениям, представленным на рис. 2.



Рис. 2. Направления анализа финансового состояния предприятия с использованием программного обеспечения

Целями программного продукта «Альт-Финансы», разработанного исследовательско-консультационной фирмой «АЛЬТ», являются выполнение комплексной оценки финансово-хозяйственной деятельности предприятий, выявление приоритетных направлений его дальнейшего развития,

расчет нормативных показателей, необходимых для перспективного планирования и прогнозирования, а также оценка кредитоспособности предприятий [4].

Использование программы позволяет проводить детальный анализ финансовой состоятельности предприятия и интерпретировать полученные результаты, что дает возможность определить пути развития и совершенствования предприятия, осуществить разработку программы улучшения финансовой состоятельности организации с высокой вероятностью возможного банкротства, а также составить технико-экономическое обоснование рассматриваемых инвестиционных решений.

За счет открытости и адаптивности программы она позволяет пользователям вносить коррективы по своему усмотрению и учитывать необходимые требования, индивидуальные особенности исследуемого предприятия и особые условия его функционирования.

В программном продукте «Audit Expert» была реализована практика проведения анализа финансовой состоятельности предприятия и отражен опыт составления финансовой отчетности. Эта программа представляет собой систему анализа, диагностики и контроля финансовой состоятельности предприятия с использованием информации и результатов финансового и управленческого учета и отчетности.

Программа «Audit Expert» разработана для финансово-экономических служб предприятий, банков и аудиторских фирм, компаний, которые контролируют финансовую состоятельность дочерних предприятий.

Программный продукт решает задачи, представленные на рис. 3.

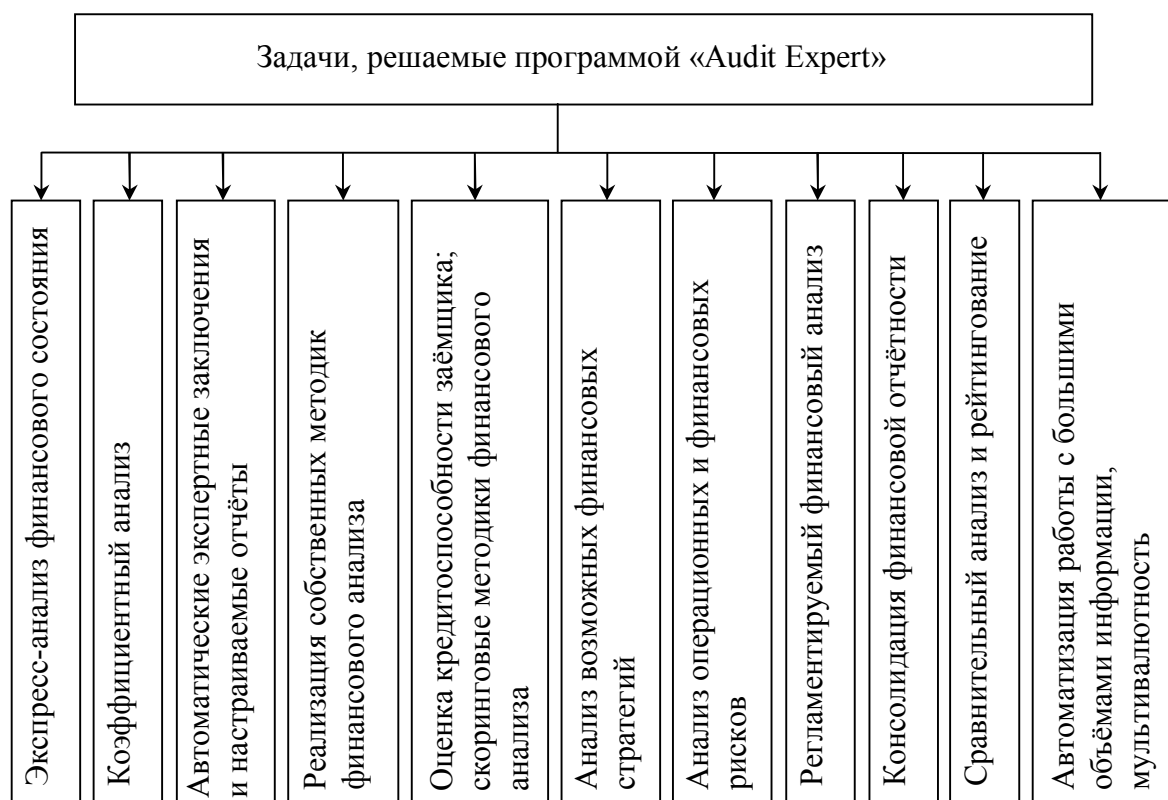


Рис. 3. Задачи, решаемые программным продуктом «Audit Expert»

Программный продукт «АФСП» позволяет проводить финансовый анализ состоятельности предприятия любого вида деятельности, используя данные внешней бухгалтерской и финансовой отчетности, результаты бухгалтерского и управленческого учёта, а также возможность применения собственных исходных форм.

Программа способна оценивать финансовую состоятельность предприятий, которые функционируют как на общей, так и на упрощённой системах налогообложения.

Кроме того, пользователь может использовать стандартные формы финансовой отчетности, а также создавать универсальные пользовательские произвольные таблицы, которые могут составляться с учетом официальных требований различных ведомств Российской Федерации или внутренних корпоративных стандартов, регламентирующих предоставление необходимой информации для разработки управленческого решения.

Свое преимущество программа («АФСП») получила за счет использования возможностей, перечисленных на рис. 4.

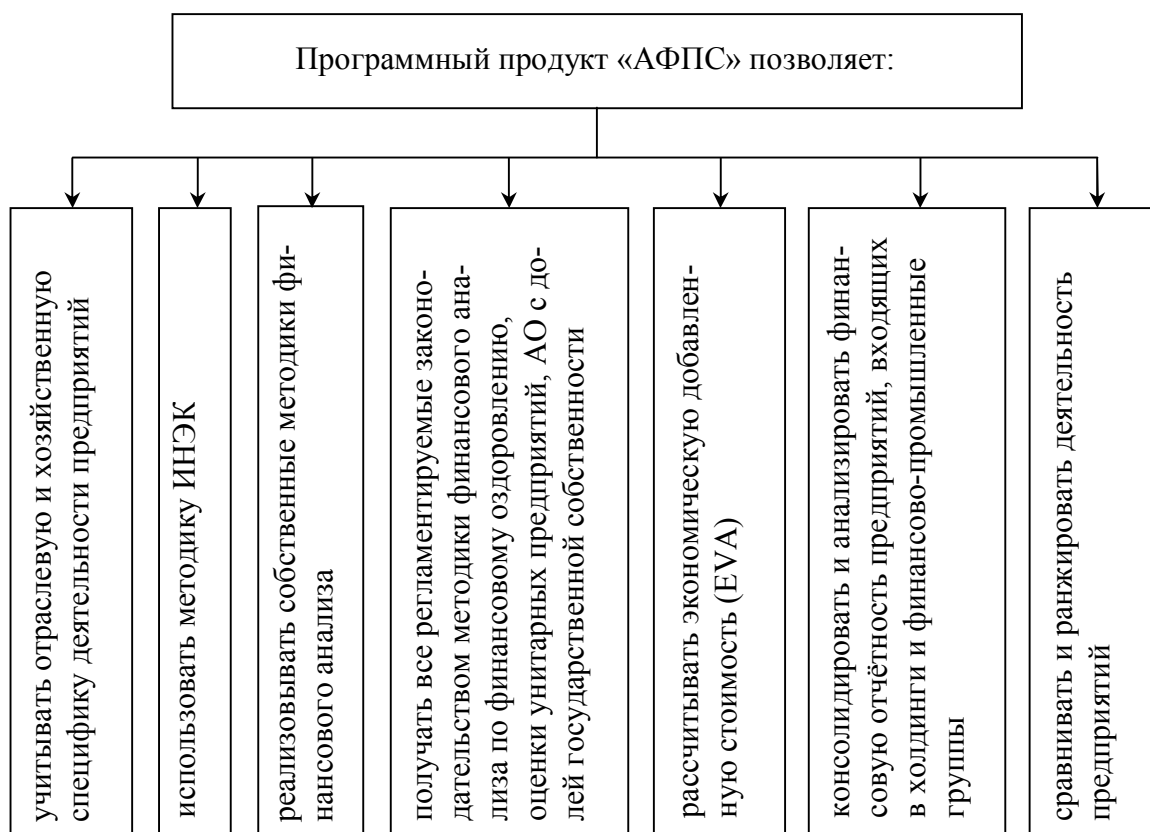


Рис. 4. Возможности, предоставляемые программным продуктом «АФСП»

Все вышеперечисленные программы, позволяющие автоматизировать процесс финансового анализа, имеют определенные преимущества и предоставляют конкретные возможности, однако каждая из них имеет свои отличительные черты и характерные особенности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Саудер У. Е., Наушар А. С. Руководство по наилучшим методам трансфера технологий // Управление инновациями. М. : Дело-ЛТД, 1995. С. 46–60.
2. Алиев В. С. Использование программы Project Expert для инвестиционного проектирования : уч. пособие. М. : Финакадемия, 2004. 82 с.
3. Горленко О. А., Мирошников В. В., Галкин В. И., Федоров И. В., Шевелев А. В. Управление инновационной деятельностью на основе информационных технологий. М. : Машиностроение-1, 2007. 155 с.
4. Управление организацией / под ред. А. Г. Поршнева, З. П. Румянцевой, Н. А. Саломатина. 2-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2000. 669 с.

УДК 338.24

К ВОПРОСУ О СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ РЕЗЕРВОВ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

О. Ю. Гордашникова

Саратовский государственный технический университет
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77
E-mail: gordaolga@yandex.ru

В статье дается структурно-функциональная классификация резервов инновационного развития системы менеджмента качества машиностроительного предприятия. Рассматривается механизм выявления и использования этих резервов.

Ключевые слова: резервы, система менеджмента качества.

To the Question of the Structural-Functional Classification of Reserves Innovative Development of the System of Quality Management of Machine-Building Enterprise

O. Yu. Gordashnikova

The article gives the structural-functional classification of reserves innovative development of the system of quality management of machine-building enterprises. Considers the mechanism of identification and use of reserves of the enterprise.

Key words: reserves, system of management quality.

Цель поиска резервов инновационного развития системы менеджмента качества (СМК) машиностроительного предприятия состоит в обеспечении роста ее экономического потенциала. Многочисленность, сложность и взаимозависимость аспектов, характеризующих наличие резервов развития СМК, а также факторов, определяющих рост и уменьшение резервов, приводят к необходимости разработки научной и достаточно детализированной классификации, которая, с одной стороны, обобщает накопленный опыт в области выявления и использования резервов, а с другой стороны,

определяет основные направления дальнейших поисков неиспользованных возможностей инновационного развития [1].

Структуризация СМК определяет направления классификации резервов ее развития. В качестве основополагающего признака классификации группы резервов следует использовать элементы (подсистемы) СМК и выполняемые ими функции. В связи с этим рассматриваемое множество резервов делится по двум независимым признакам: структуре СМК и выполняемым ее подсистемами функциям. В классификации резервов совершенствования системы менеджмента качества заложены основные требования к процессам из ГОСТ Р ИСО 9001-2001 [2].

Выявление резервов инновационного развития СМК необходимо осуществить исходя из принципов системности и комплексности. При этом механизм выявления и использования резервов можно представить следующим образом:

- определение мероприятий, способствующих достижению более высокой степени использования производственных ресурсов, т. е. изучение информации о резервах;
- выбор мероприятий, т. е. планирование использования резервов;
- согласование выбранного мероприятия с имеющимися возможностями его реализации и проверка его эффективности;
- организация выполнения выбранного мероприятия;
- стимулирование воспроизводства резервов и их эффективное использование.

На верхнем («нулевом») уровне классификации определены резервы развития СМК в целом. Ниже (на 1-м уровне модели) они декомпозируются на резервы функциональных подсистем СМК:

- «резервы планирования качества» – усовершенствования, использование которых приводит к согласованию интересов трех сторон: предприятия как объекта бизнеса, потребителя как члена общества, органа власти, регламентирующего деятельность предприятия;
- «резервы управления качеством» – усовершенствования, направленные на выполнение требований к качеству;
- «резервы обеспечения качества» – усовершенствования, использование которых позволяет стабильно обеспечивать тот уровень качественных свойств, который установлен в документах на поставку продукции, стандартах и другой нормативно-технической документации;
- «резервы совершенствования качества» – усовершенствования, которые позволяют получить продукцию с более высокими качественными свойствами по сравнению с ранее выпущенной.

На 2-м уровне структурно-функциональной классификации осуществляется первоначальная декомпозиция резервов инновационного развития СМК на резервы группы процессов. В частности, резервы управления каче-

ством декомпозируются на резервы качества документации, труда руководства, процессов жизненного цикла продукции, измерения, анализа и улучшения. Резервы обеспечения качества – на резервы качества менеджмента ресурсов.

3-й уровень модели представлен подпроцессами, обеспечивающими качество СМК:

- резервы качества документации можно получить вследствие своевременности разработки документа «Руководство по качеству»;

- резервы качества труда руководства можно получить в результате следующих качественных подпроцессов СМК: обязательства руководства, ориентация на потребителя, политика в области качества, планирование, ответственность, полномочия и обмен информацией, анализ со стороны руководства;

- резервы процессов жизненного цикла продукции (ЖЦП) обеспечиваются качеством их планирования;

- резервы измерения, анализа и улучшения можно получить в результате качественных подпроцессов: мониторинга и измерения, управления несоответствующей продукцией, анализа данных, улучшения;

- резервы менеджмента качества можно получить в ходе обеспечения предприятия качественными материальными ресурсами, квалифицированным персоналом, развитой инфраструктурой и производственной средой.

Для практических целей на основе представленной структурно-функциональной классификации разработана и конкретизирована по отдельным функциональным подсистемам СМК рабочая классификация резервов (табл. 1–3), которые могут быть представлены как организационно-технические мероприятия, позволяющие в необходимый плановый период вскрыть неиспользованные возможности улучшения показателей результативности СМК машиностроительного предприятия.

Следует отметить, что рабочая классификация составлена с учетом резервообразующих факторов, типичных для машиностроительных предприятий средней мощности. Во многом перечисленные в рабочей классификации факторы являются фактическими потерями (убытками), которые несет машиностроительное предприятие в ходе деятельности.

Таблица 1

Классификация резервов развития функциональной подсистемы СМК «Управление качеством»

Резервы	Резервообразующие факторы	Виды резервов
Повышения качества документации	Несоответствие «Руководства по качеству» степени документированности СМК	Поддержка в рабочем состоянии «Руководства по качеству»
	Нереализованные возможности полного использования документированной процедуры в СМК	Повышение качества управления документацией СМК

Резервы	Резервообразующие факторы	Виды резервов
Повышения качества труда руководства	Невыполнение требований потребителей	Обеспечение выполнения требований потребителей
	Несоответствие политики в области качества целям предприятия	Обеспечение соответствия политики в области качества целям предприятия
	Несоответствие планов развития СМК требованиям, предъявляемым к СМК	Совершенствование планов развития СМК
	Недостаточный уровень ответственности персонала предприятия	Повышение уровня ответственности персонала предприятия
	Невыполнение требований потребителей	Обеспечение выполнения требований потребителей
	Несоответствие политики в области качества целям предприятия	Обеспечение соответствия политики в области качества целям предприятия
	Несоответствие планов развития СМК требованиям, предъявляемым к СМК	Совершенствование планов развития СМК
	Недостаточный уровень ответственности персонала предприятия	Повышение уровня ответственности персонала предприятия
Повышения качества процессов жизненного цикла продукции	Несоответствие планирования процессов ЖЦП с требованиями к другим процессам СМК	Совершенствование планирования процессов, необходимых для обеспечения ЖЦП
	Нереализованные возможности процессов взаимодействия с потребителями	Совершенствование процессов взаимодействия с потребителями
	Нереализованные возможности процессов проектирования и разработки продукции	Совершенствование процессов проектирования и разработки продукции
	Недостатки в организации планирования, проектирования и разработки продукции	Совершенствование организации планирования, проектирования и разработки продукции
	Недостатки в организации входного и выходного контроля для проектирования и разработки продукции	Совершенствование входного и выходного контроля для проектирования и разработки продукции
	Нереализованные возможности процессов закупки продукции	Совершенствование процессов закупки продукции
	Несоответствие закупленной продукции установленным требованиям	Достижение соответствия закупленной продукции установленным требованиям к закупкам. Совершенствование верификации закупленной продукции
	Нереализованные возможности процессов производства и послепродажного обслуживания крупногабаритной продукции	Совершенствование процессов производства и послепродажного обслуживания крупногабаритной продукции
	Нереализованные возможности полного обеспечения производства и послепродажного обслуживания крупногабаритной продукции	Улучшение обеспечения производства и послепродажного обслуживания крупногабаритной продукции

Резервы	Резервообразующие факторы	Виды резервов
Повышения качества процессов жизненного цикла продукции	Нереализованные возможности валидации процессов производства и послепродажного обслуживания продукции	Совершенствование валидации процессов производства и послепродажного обслуживания крупногабаритной продукции
	Нереализованные возможности полной идентификации продукции	Совершенствование процессов идентификации продукции
	Нереализованные возможности экономии труда за счет более рациональной организации производства	Совершенствование организации производства
	Недоиспользованные возможности рациональной расстановки оборудования	Улучшение размещения производственных подразделений и расстановки оборудования
	Несоответствие современным требованиям уровня обслуживания рабочих мест и производственного персонала по функциям обслуживания: —транспортное и складское; —ремонтное и энергетическое; —инструментальное; —хозяйственно-бытовое	Совершенствование организации вспомогательных служб и хозяйств
	Нереализованные возможности применения рациональных методов обслуживания производства по функциям: —ремонт и техническое обслуживание оборудования; —транспортное обслуживание	Совершенствование методов обслуживания производства по функциям
	Недоиспользованные возможности применяемых устройств для мониторинга и измерения	Совершенствование управления устройствами для мониторинга и измерений
Повышения качества измерения, анализа и улучшения	Нереализованные возможности полного использования мониторинга информации как способа измерения работы системы менеджмента качества	Совершенствование мониторинга информации, касающейся восприятия потребителями соответствия предприятия требованиям потребителей
	Недостатки в проведении внутренних аудитов процессов СМК	Совершенствование внутренних аудитов (проверок) процессов СМК
	Недоиспользованные возможности применяемых методов мониторинга и измерений процессов	Совершенствование методов мониторинга измерений процессов

**Классификация резервов развития функциональной подсистемы СМК
«Обеспечение качества»**

Резервы	Резервообразующие факторы	Виды резервов
Повышения качества менеджмента ресурсов	Недоиспользованные возможности обеспеченности ресурсами СМК	Повышение уровня обеспеченности ресурсами СМК
	Недоиспользование технических (технологических) возможностей новых видов сырья, полуфабрикатов, материалов	Внедрение новых видов сырья, полуфабрикатов, материалов
	Недоиспользование уровня компетентности персонала	Повышение уровня компетентности персонала
	Недоиспользование в процессе труда потенциальных свойств и качеств работающих	Развитие свойств и качеств человека в процессе труда
	Недоиспользование уровня квалификации работающих	Повышение квалификации работающих
	Недоиспользование уровня качества человеческих ресурсов	Повышение качества человеческих ресурсов
	Недоиспользование возможностей повышения трудовой активности работающих	Повышение трудовой активности работающих
	Нереализованные возможности повышения уровня социально-психологических отношений в коллективах: – недостижение стабильности коллективов; – недоучет индивидуальных способностей и психологических особенностей работников при подборе и расстановке их в процессе труда; – недоучет принципов справедливого распределения премий	Повышение уровня социально-психологических отношений в коллективах
	Недоиспользование творческих возможностей и способностей работающих	Повышение творческой активности работающих
	Недоиспользование возможностей повышения уровня дисциплинированности работников (недостаточное применение мер экономического, административного и общественного воздействия на нарушителей трудовой дисциплины, недостаточное осуществление мер по улучшению всех производственных условий и др.)	Повышение дисциплинированности работников
	Недостижение проектной производственной мощности установленно-го технологического оборудования (нового, модернизированного, автоматизированного и т. п.)	Замена технологического оборудования новым, более прогрессивным, модернизация оборудования, внедрение автоматизированных систем и станков

Резервы	Резервообразующие факторы	Виды резервов
Повышения качества менеджмента ресурсов	Недоиспользование действующих средств механизации и автоматизации	Комплексная механизация участков, цехов, механизация ручных работ
	Недоиспользование возможностей применяемой технологии и технологической оснащённости производства	Совершенствование технологии и повышение технологической оснащённости производства
	Отклонения уровня технологической оснастки от проектной	Повышение уровня технологической оснащённости техпроцессов

Таблица 3

**Классификация резервов развития функциональной подсистемы СМК
«Совершенствование качества»**

Резервы	Резервообразующие факторы	Виды резервов
Повышения качества продукта труда	Несоответствие продукта труда требованиям, предъявляемым стандартом	Совершенствование продукта труда
	Отклонение фактического качества продукции от установленного (запланированного) уровня	Повышение качества труда
	Выпуск изделий устаревших конструкций	Улучшение конструкций изделий

При использовании на практике данной структурно-функциональной классификации резервов развития СМК необходимо учитывать:

- во-первых, особенности конкретного предприятия;
- во-вторых, изменения и дополнения, вытекающие из новейших направлений развития СМК.

Анализ резервов инновационного развития СМК с использованием приведенной классификации позволит:

- проводить более направленно пересмотр норм и нормативов, на базе которых происходит управление качеством продукции;
- охарактеризовать потенциальные возможности повышения результативности СМК.

Кроме сказанного, следует указать, что система управления использованием резервов инновационного развития СМК обладает обратной связью (резервы вновь воздействуют на вход с тем, чтобы определить последующие выходы). Управляющие факторы влияют на изменение совокупности выходных величин, что позволяет оценивать соответствие системы резервов целям менеджмента качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гордашников, О. Ю.* Резервы совершенствования систем менеджмента качества на машиностроительных предприятиях. Саратов : Изд-во СГСЭУ, 2008. 120 с.
2. ГОСТ Р ИСО 9001-2001. URL : <http://www.docload.ru/Basesdoc/9/9186/index.htm>
(дата обращения: 10.04.2014).

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Общие положения

1.1. Сборник «Гетеромагнитная микроэлектроника» выходит 2 раза в год и публикует материалы теоретических и экспериментальных исследований полупроводниковых и магнитополупроводниковых микро- и наноэлектронных систем, включая системы с цифровой обработкой информации, новых типов датчиков, активных устройств (усилителей, генераторов, синтезаторов частот и др.), а также статьи о новых технологиях, методах и средствах контроля, о современном метрологическом обеспечении, подготовке и переподготовке кадров, прогнозно-аналитических исследованиях.

1.2. Объем статьи не должен превышать 16 страниц (1 печатного листа).

1.3. Для публикации статьи автору необходимо представить в редакцию следующие материалы и документы (1 экз.):

- сопроводительное письмо;
- внешнюю рецензию;
- сведения об авторах: фамилии, имена и отчества (полностью), рабочий адрес, телефоны, e-mail;
- экспертное заключение;
- текст статьи на русском языке, подписанный авторами, а также название статьи, инициалы и фамилии авторов, аннотацию и ключевые слова на русском и английском языках.

2. Структура публикаций

2.1. Рукопись оформляется следующим образом :

- первая строка – индекс УДК, выровненный по левому краю текста;
- вторая строка – заголовок статьи прописными буквами (шрифт полужирный, по центру) без переносов;
- третья строка – перечень авторов (инициалы предшествуют фамилии), разделенный запятыми (шрифт полужирный, по центру);
- четвертая строка – полное официальное название организации (при нескольких организациях каждое наименование на отдельной строке, шрифт обычный, по центру);
- пятая строка – почтовый адрес (с индексом) организации (шрифт обычный, по центру);
- затем аннотация и ключевые слова на русском языке.

2.2. Далее приводится заглавие статьи, инициалы и фамилии авторов, аннотация и ключевые слова на английском языке.

2.3. Далее текст статьи и библиографический список на русском языке.

3. Требования к оформлению рукописи

3.1. Текст статьи должен быть напечатан через одинарный интервал на белой бумаге формата А4 с полями не менее 2,5 см, размер шрифта 14. Дополнительный материал набирается шрифтом 12 (аннотации, таблицы, сноски, примечания, приложения, подписи и надписи к рисункам, содержание, библиографический список, выходные данные, колонтитулы).

3.2. Все страницы рукописи, включая библиографический список, таблицы, рисунки, следует пронумеровать по центру внизу страницы.

3.3. Векторные величины выделяются полужирным шрифтом.

3.4. Каждая таблица должна быть пронумерована арабскими цифрами и иметь тематический заголовок, кратко раскрывающий ее содержание (выравнивание по левому краю таблицы. Например, Таблица 1. Требования к ...). Точка в конце заголовка не ставится. Единицы измерения указываются после запятой. Ссылка на таблицу должна предшествовать ей.

3.5. Формат рисунка должен обеспечивать ясность передачи всех деталей. Обозначения и все надписи на рисунках даются на русском языке; размерность величин указывается через запятую. Подрисуночная подпись должна быть самодостаточной без апелляции к тексту (например, Рис. 1. Зависимость ...). Подписи к рисункам не должны выходить за его границы. Точка в конце подрисуночной подписи не ставится. Ссылка на рисунок должна предшествовать ему.

3.6. Нумеровать следует наиболее важные формулы, на которые имеются ссылки в последующем тексте. Номер располагают по правому краю полосы по центру формулы.

3.7. Библиографический список оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 и открывается размещенным по центру заголовком. Все ссылки даются в квадратных скобках (например, [4]). Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Библиографическое описание оформляется следующим образом:

Образец описания книги:

1. *Игнатъев А. В., Ляшенко А. В.* Магнитоэлектроника СВЧ-, КВЧ-диапазонов в пленках ферритов. М. : Наука, 2005. 380 с.

Образец описания статьи в журнале:

2. *Игнатъев А. А., Страхова Л. Л., Овчинников С. В.* Профессиональная направленность современного курса физики для студентов-геофизиков классического университета // Физическое образование в вузах. 2002. № 2. С. 14–18.

3. *Poon H. C.* Modeling of bipolar transistor using integral charge control model with application to third-order distortion studies // IEEE Trans. 1972. Vol. ED-12, № 6. P. 719–731.

Образец описания статьи в сборнике:

4. *Игнатъев А. А., Ляшенко А. В., Солопов А. В.* О времени тепловой готовности феррит-транзисторного СВЧ-генератора на высоких уровнях мощности // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. докл. и ст. науч.-техн. совещ. Вып.1 : Многофункциональные комплексированные устройства и системы СВЧ- и КВЧ-диапазонов. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2004. С. 139–151.

Образец короткого описания патентов:

5. Пат. 72788 Российская Федерация, МПК⁷ Н 01 L 43/08, Н 01 L 27/14, G 01 R 33/05, G 01 R 33/04. Устройство для измерения магнитного поля / заявителя Игнатъев А. А., Куликов М. Н., Ляшенко А. В., Романченко Л. А., Солопов А. А.; патентообладатель ОАО «НИИ-Тантал». – № 20700125198U ; заявл. 03.07.2007 ; опубл. 27.04.2008.

4. Требования к оформлению электронной версии

4.1. Текст рукописи должен быть представлен в виде одного файла на дискете «3,5», CD или по электронной почте в формате Microsoft Word 97/2000, шрифт Times New Roman, размер шрифта в соответствии с п.3.1, межстрочный интервал одинарный, величина отступа 5 пробелов. Вся работа должна быть выполнена одной гарнитурой (Times New Roman).

4.2. Формулы набираются в редакторе формул Microsoft Equation, входящем в состав Microsoft Word. Греческие буквы должны набираться обычным шрифтом, латинские – курсивом. Запись химических элементов – обычным шрифтом. Векторы – полужирным шрифтом.

4.3. Диаграммы, графики и фотографии должны быть выполнены в черно-белом цвете.

4.4. Иллюстрации должны быть представлены в форматах TIFF, JPEG.

Дискеты и рукописи не возвращаются

Адрес : Россия, 410040, г. Саратов, пр. 50 лет Октября, ОАО «НИИ-Тантал»
Тел. : 8-(8452) 35-53-39
Факс : 8-(8452) 34-08-70
E-mail : kbkt@san.ru

ПРАВИЛА ДЕПОНИРОВАНИЯ
в Центре специальной информации
ОАО «Институт критических технологий»

Депонирование научных работ ограниченного доступа является основной формой их публикаций для соискания ученых степеней доктора и кандидата наук. ОАО «Институт критических технологий» гарантирует принятие от авторов на депонирование рукописей НИР и ОКР (статей, обзоров, монографий и др.) и обеспечение информационных запросов на депонированные работы по следующей тематике: гетеромагнитная микро- и нанoeлектроника, нанотехнология, схемотехника, аналого-цифровые системы на кристалле, САПР, системы защиты информации, радиоэлектроника, СВЧ- и КВЧ-приборы для военной и специальной техники.

Входящие в сборник работы в авторской редакции по указанной тематике подлежат депонированию в Центре специальной информации ОАО «Институт критических технологий» в установленной порядке.

Для депонирования работ авторами должны быть представлены следующие документы:

1. Текст работы (в сброшюрованном виде) в 2 экз.
2. Реферат (до 500 зн.) в 2 экз.
3. Учетная карта.
4. Сопроводительное письмо.
5. Почтовая открытка для информации авторам о депонировании и выходе сборника научных трудов.

Указанные документы направляются в установленном порядке в Центр специальной информации ОАО «Институт критических технологий» на имя генерального директора-генерального конструктора А. В. Ляшенко по адресу:

Россия, 410040, г. Саратов, пр. 50 лет Октября, 110А.

Тел.: 8(8452) 63-28-20, 8(8452) 34-08-70

Факс: 8(8452) 48-11-83, 8(8452) 34-08-70

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Теоретические и экспериментальные исследования, компьютерные технологии	
<i>Игнатъев А. А., Каюшкина Е. А., Куликов М. Н.</i> Исследование степени отклонения от линейности преобразования одноосного гетеромагнитного датчика магнитного поля.....	4
<i>Садовников А. В., Бубликов К. В., Шешукова С. Е.</i> Электродинамические характеристики и моды планарного ферритового волновода конечной ширины... ..	15
<i>Олейник Н. Г., Павлючук В. А.</i> Оконное преобразование Фурье цифрового изображения прозрачной среды с зернистой структурой.....	23
<i>Березин М. К., Чернавина М. Л., Тен Г. Н., Новоселова А. В., Березин В. И., Пономарев А. Ю., Березин К. В.</i> Алгоритмы численного моделирования спектров резонансной флуоресценции молекул при лазерном возбуждении.....	28
<i>Игнатъев А. А., Романченко Л. А., Солопов А. А., Зайцева Е. С.</i> Применение немагнитных цилиндрических экранов для подавления гармонических магнитных помех.....	37
<i>Березин М. К., Чернавина М. Л., Тен Г. Н., Новоселова А. В., Березин В. И., Пономарев А. Ю., Березин К. В.</i> Постановка и алгоритмизация обратной электронно-колебательной задачи на основе спектров резонансной флуоресценции....	43
<i>Назаров С. И., Сотов Л. С., Ляшенко А. В.</i> Процессор с улучшенной манипуляцией битами данных для средств навигации, обработки сигналов и изображений, криптографии, мобильных диагностических устройств.....	51
<i>Игнатъев А. А., Проскураков Г. М., Маслов А. А.</i> Миниатюрная курсовертикаль для квазистационарных объектов.....	64
Методические аспекты физического образования	
<i>Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А.</i> Реализация магистерской программы «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» направления 011200 «Физика».....	75
<i>Аникин В. М.</i> Физика в саратовском университете. К 100-летию Физического института и 70-летию Физического факультета.....	78
<i>Игнатъев А. А., Данке О. Г.</i> Юбилейный год физического института Саратовского университета.....	84
<i>Игнатъев А. А., Страхова Л. Л., Саяпин К. А., Захаров А. С., Степанов С. В., Васильев Г. Н.</i> Об использовании в учебном процессе программируемого измерителя LCR типа НМ 8118.....	93
<i>Аникин В. М., Измайлов И. В., Пойзнер Б. Н.</i> Диссертация: характеристики научности.....	105
Экономика в промышленности	
<i>Плотников А. Н.</i> Сущностное содержание инновационного потенциала системы менеджмента качества в сфере технологий разработки программного обеспечения.....	119
<i>Плотников Д. А., Опанасенко И. А.</i> Современные программные продукты автоматизации экономических расчетов.....	124
<i>Гордашников О. Ю.</i> К вопросу о структурно-функциональной классификации резервов инновационного развития системы менеджмента качества машиностроительного предприятия.....	131
Правила для авторов.....	139
Правила депонирования.....	141

CONTENTS

Foreword.....	3
Theoretical and Experimental Studies, Computer Technology	
<i>Ignatiev A. A., Kayushkina E. A., Kulikov M. N.</i> Investigation of Degree of Deviation from Linear Conversion Heteromagnetic Uniaxial Magnetic Field Sensor....	4
<i>Sadovnikov A. V., Bublikov K. V., Sheshukova S. E.</i> Electrodynamical Properties and Modes of Finite width Planar Ferrite Waveguide.....	15
<i>Oleynik N. G., Pavlyuchuk V. A.</i> Windowed Fourier Transform of Digital Imaging for Transparent Environment with Granular Structure.....	23
<i>Berezin M. K., Chernavina M. L., Ten G. N., Novoselova A. V., Berezin V. I., Ponomarev A. Yu., Berezin K. V.</i> Algorithms of Numerical Simulation of the Molecular Resonance Fluorescence Spectra at Laser Excitation.....	28
<i>Ignatiev A. A., Romanchenko L. A., Solopov A. A., Zaiceva E. S.</i> Using of Non-magnetic Cylindrical Screens for Suppression of Harmonic Magnetic Interference.....	37
<i>Berezin M. K., Chernavina M. L., Ten G. N., Novoselova A. V., Berezin V. I., Ponomarev A. Yu., Berezin K. V.</i> Algorithm and Program for the Inverse Vibronic Problem on the Basis of Resonance Fluorescence Spectra Analysis.....	43
<i>Nazarov S. I., Sotov L. S., Ljashenko A. V.</i> The Enhanced Bit Manipulation Processor for Navigation, Digital Signal Processing, Image Treatment, Cryptography, Mobile Diagnostic Devices.....	51
<i>Ignatiev A. A., Proskuryakov G. M., Maslov A. A.</i> Miniature Attitude and Heading Reference System for Quasistationary Objects	64
Methodological Aspects of Physical Education	
<i>Ignatiev A. A., Kudryavceva S. P., Romanchenko L. A.</i> Realization of Master Program «Magnetoelectronics in the Information Protection and Safety Systems» of Direction 011200 «Physics».....	75
<i>Anikin V. M.</i> Physics in Saratov University to the 100 Anniversary of the Physical Institute and the 70th Anniversary of Faculty of Physics.....	78
<i>Ignatiev A. A., Danke O. G.</i> Saratov State University Physics Institute's Anniversary Year.....	84
<i>Ignatiev A. A., Strakhova L. L., Sayapin K. A., Zaharov A. S., Stepanov C. V., Vasiliev G. N.</i> The Way to Use Programmable Measuring Device HM8118- LCR Meter in Educational Process.....	93
<i>Anikin V. M., Izmailov I. V., Poizner B. N.</i> Dissertation: Scientific Characteristics	105
Economy in the industry	
<i>Plotnikov A. N.</i> The Intrinsic Maintenance of Innovative Potential of Quality Management System in the Sphere of Technologies of Development of the Software...	119
<i>Plotnikov D. A., Opanasenko I. A.</i> Modern Automation Software Economic Design	124
<i>Gordashnikova O. Yu.</i> To the Question of the Structural-Functional Classification of Reserves Innovative Development of the System of Quality Management of Machine-Building Enterprise.....	131
Rules for authors.....	139
Depositing rules.....	141

Подписка на 2015 г.

Индекс издания по объединенному каталогу «Пресса России» 29005,
Интернет-каталог Агентства «Книга-Сервис»,
раздел 24 «Компьютеры. Информатика. Программные продукты»,
раздел 30 «Научно-технические издания. Известия РАН. Известия вузов».
Сборник выходит 2 раза в год.

Научное издание

ГЕТЕРОМАГНИТНАЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

Сборник научных трудов

Выпуск 16

**Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника.
Методические аспекты физического образования.
Экономика в промышленности**

Под редакцией профессора *А. В. Ляшенко*

Редактор *Е. А. Малютина*
Редактор английского текста *Е. А. Игнатьева*
Технический редактор *В. В. Володина*. Корректор *Е. Б. Крылова*
Оригинал-макет подготовили *О. Г. Данке, Т. Н. Сиротинина*

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-35636 от 17.03.2009.

Подписано в печать 20.06.2014. Формат 60×84 1/16.
Усл. печ. л. 8,37 (9,0). Тираж 100. Заказ 46.

Издательство Саратовского университета. 410012, Саратов, Астраханская, 83.
Типография Издательства Саратовского университета. 410012, Саратов, Астраханская, 83.