

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Tiwari, V. Power Analysis of Embedded software: A First Step Towards Software Power Minimization / Vivek Tiwari, Sharad Malik and Andrew Wolfe // IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems. – December 1994. – Vol. 2. – No. 4. – P. 437–445.
2. Laopoulos, Th. Measurement of current variations for the estimation of software-related power consumption / Th. Laopoulos, P. Neofotistos, C. A. Kosmatopoulos, and S. Nikolaidis // IEEE Transactions on instrumentation and measurement. – 2003. – Vol. 52(4). – P. 1206–1212.
3. Пристрій вимірювання енергії імпульсних споживачів: патент 90922 України, МПК7 G05F 5/00, G01K 17/00 / А.М. Боровий, І.М. Майків, Р.В. Кочан, З.І. Домбровський, В.В. Кочан; заявник і патентовласник А.М. Боровий, І.М. Майків, Р.В. Кочан, З.І. Домбровський, В.В. Кочан – № а2008 06325; заявл. 13.05.08; опубл. 10.06.10, Бюл. №11. – 4 с.: іл.
4. Borovyi, A. Device for Measuring Instant Current Values of CPU's Energy Consumption / A. Borovyi, V. Kochan, Z. Dombrovskyy, V. Turchenko, A. Sachenko // Proceedings of the fifth IEEE international workshop on Intelligent Data Acquisition and Advancing Computing Systems (IDAACS'2009), (September, 21–23, 2009). – Rende, Co-senza, Italy, 2009. – P. 126–130.
5. Спосіб вимірювання середньої енергії імпульсного споживача та пристрій для його реалізації: патент 110142 України, МПК G01R 11/00, G01R 21/00, G05F 5/00 / Осолінський Олександр Романович, Кочан Володимир Володимирович, Домбровський Збишек Іванович, Кочан Орест Володимирович; заявник і патентовласник Осолінський Олександр Романович, Кочан Володимир Володимирович, Домбровський Збишек Іванович, Кочан Орест Володимирович – № а 2014 03292; заявл. 31.03.14; опубл. 25.11.15, Бюл. №22.
6. Осолінський, О.Р. Вдосконалена система вимірювання енергоспоживання мікроконтролерів / О.Р. Осолінський // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – №3. – С. 104–108.
7. Резисторы постоянные металлопленочные (MFR) прецизионные: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zavodtira.com.ua/rezistory-s2---29v>
8. Ultrahigh Precision Bandgap Voltage Reference: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.analog.com/en/products/linear-products/voltage-references/ad780.html>

Матеріал поступил в редакцию 18.01.2017

OSOLINSKYI O.R., KARACHKA A.F., PALIY I.O. The Decision Support System for System of Measuring the Average Power Consumption of Microcontrollers

Presented the advanced system for measuring the average power consumption of microcontrollers and microprocessors in executing the instructions, commands, the fragments of programs, and programs in general. Showing six conditions to achieve high accuracy of the method of microcontrollers average energy consumption measurements. For timely end of the measurement process developed the Decision Support System for system of measuring the average power consumption of microcontrollers. Developed a unitized analog-to-digital converter of the dual slope integration.

УДК 004.2

Костюк Д.А., Латий О.О., Маркина А.А.

ПОДХОД К БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ЭРГОНОМИКИ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Введение. Работа за компьютером, будь то взаимодействие с конкретным приложением или просто с графической оболочкой, задействует когнитивные, визуальные и моторные процессы. На одноименные категории делятся нагрузки, испытываемые оператором в ходе работы.

Для измерения эффективности работы пользователя можно выделить два принципиально различных подхода. Классический подход предполагает участие эксперта по эргономике интерфейса, выносящего суждение на основе опросов, хронометража и видеопроколирования того, как именно пользователи выполняют тестовые задания в сравниваемых программных продуктах [1]. Этот подход затрачен по времени, в значительной степени зависит от квалификации эксперта, степени влияния его личных предпочтений на выносимые суждения.

Альтернативный подход – оценка состояния пользователя с помощью сравнительно стандартных приборов, позволяющих регистрировать параметры организма, связанные с физической и когнитивной нагрузкой (например, сердечный ритм, кровяное давление, электропроводность кожи, β -ритмы головного мозга и др.) [2, 3]. Регистрация биометрических показателей при работе пользователя с программным обеспечением позволяет определить «узкие места» интерфейса гораздо быстрее, чем классические методы. Как следствие, инструментальная оценка позволяет быстро сформировать набор предложений по улучшению ПО. До недавнего времени использование этого подхода ограничивали малая распространенность и высокая стоимость требуемого оборудования.

Однако в последнее время в сфере фитнеса и развлечений появилось значительное число устройств с биометрическими датчиками. К этой категории относятся, в первую очередь, фотоплетизмографические датчики измерения пульса, разработанные для спортивных пульсометров, а затем распространившиеся сначала на фитнес-трекеры, а после – на взаимодействующие со смартфоном наручные часы (smartwatch). Кроме того, существуют развлекательные гаджеты, регистрирующие мозговую активность для определения концентрации внимания пользователя. Все эти устройства позволяют выполнять непрерывный мониторинг, способны передавать данные в персональный компьютер и при этом, благодаря массовому производству, широко доступны на рынке.

Разумеется, биометрические измерения сами по себе не способны дать четкую картину преимуществ одного варианта интерфейса перед другим. Проведя серию опытов, исследователь получает большой объем числовых данных, требующих обработки и интерпретации не меньше, чем этого требовали бы материалы опросов и протоколирования, получаемые при классическом подходе. Разница заключается в возможности их автоматической интерпретации по четко сформулированным вычисляемым критериям. Подходу к выработке набора таких простых критериев для сравнительного анализа эргономики приложений и посвящена настоящая работа.

1. Выбор тестовых заданий и измеряемых параметров. Для целей биометрического исследования нами были выделены два варианта взаимодействия пользователя с графическим интерфейсом:

Латий Олег Олегович, ассистент кафедры ЭВМиС Брестского государственного технического университета.

Маркина Анастасия Александровна, студентка Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

1. Выполнение серий разнотипных операций в одной программе. Пользователю предлагается набор заданий, которые укладываются в общее тематическое направление (примером может быть работа с каким-либо объемным документом в текстовом процессоре). В этом случае исследование призвано оценить, как влияет на пользователя общая компоновка и динамика интерфейса приложения, и, в частности, насколько инструментальные панели приспособлены для выполняемых действий [4], что актуально при сравнении удобства нескольких прикладных программ в одной и той же предметной области.

2. Выполнение длительной последовательности рутинных операций. Все они являются однотипными, причем в каждой задействовано либо несколько приложений, либо несколько окон (фреймов, панелей) одного и того же приложения. Первичной задачей в данном случае является оценка вклада вспомогательных элементов графического интерфейса: панелей задач, средств управления окнами, особенностей позиционирования курсора, работы с общесистемными виджетами (например, контекстными меню), и др. Во многом это оценка влияния графической оболочки операционной системы на утомляемость от монотонности работы и концентрацию внимания пользователя. Таким способом могут тестироваться как стандартные приложения (пример – выполнение типовых операций в файловом менеджере), так и разработанные специально для теста.

Апробация методики тестирования по первому варианту взаимодействия выполнялась на примере оценки эргономики офисных пакетов. Фактически, выполнялось сравнение между интерфейсами с инструментальной панелью в стиле Microsoft Fluent Interface / ribbon, классической верхней панелью и панелью в боковой части окна. В тестировании участвовали приложения Word и Excel из пакета Microsoft Office 2007, а также Writer и Calc из LibreOffice 5.0 в двух разных режимах отображения интерфейса. В ходе эксперимента пользователи выполняли задания, связанные с форматированием, изменением разметки текстовых документов и электронных таблиц [4, 5].

Исследование второго варианта человеко-машинного взаимодействия проводилось при тестировании оконных интерфейсов графических оболочек Unix-подобных систем (в качестве последних выступали KDE Plasma Desktop с панелью задач, расположенной внизу экрана, Gnome 3 со специальным режимом обзора для переключения окон и оболочка Unity из дистрибутива Ubuntu Linux с переключением окон средствами док-панели). На роль рутинных операций были выбраны копирование/вставка фрагментов текста с использованием контекстного меню, а также запоминание геометрической фигуры с ее последующим поиском среди 25 различающихся вариантов. Работа пользователя была связана с многократным переключением окон, в результате чего графическая оболочка выступала в роли внешней нагрузки [6, 7].

В процессе апробации были отобраны для измерения следующие биометрические параметры: электрическая проводимость кожи (ЭПК), ритмы электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и сердечный ритм (частота сердечных сокращений, ЧСС).

ЭПК зависит от влажности кожи, которая обеспечивается потовыми железами, контролируемые симпатической нервной системой [8, 9]. По этой причине электропроводность часто используется как дополнительный показатель психологического или физиологического возбуждения, измеряемый в паре с другим параметром физической нагрузки (например, ЧСС) [10]. ЭЭГ отображает электрическую активность нейронов головного мозга, которая регистрируется электроэнцефалографом, при размещении его электродов на поверхности скальпа [3, 11].

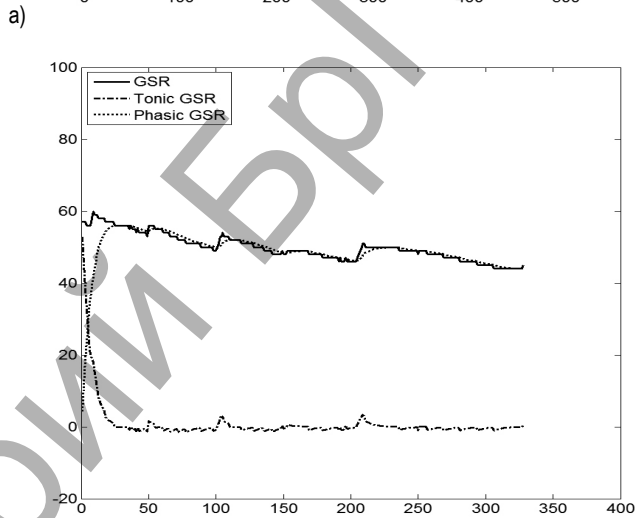
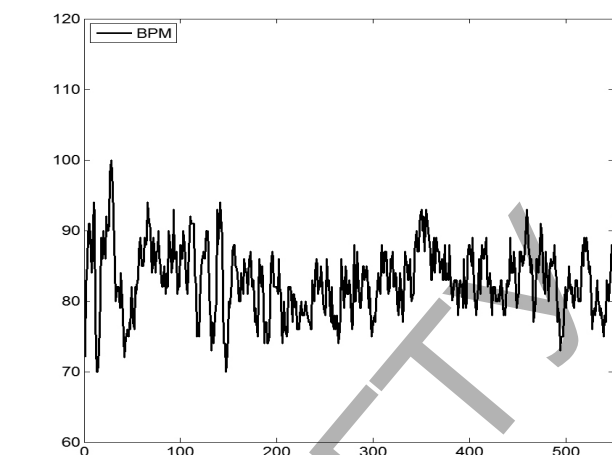


Рисунок 1 – Кривая ЧСС (а), а также выделение тонической (tonic) и фазической (phasic) составляющих ЭПК (б).

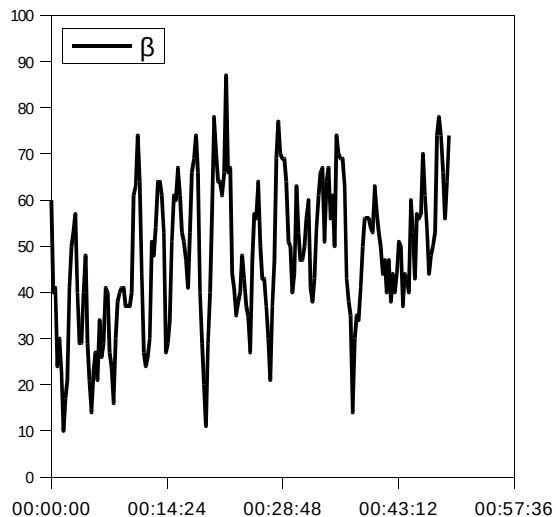


Рисунок 2 – Кривая изменения параметра β

2. Критерии оценки. Исходно рассматривалось пять показателей эффективности работы оператора: длительность выполнения заданных действий t , число допущенных за время прохождения теста ошибок e , частота сердечного ритма p , концентрация внимания β и изменения электропроводности кожи g . Путем ввода для каждой из этих компонент штрафных функций q_i , отражающих их ценность с точки зрения ожидаемого результата, можно сформулировать общий критерий качества работы:

$$Q = \tau \cdot q_\tau + e \cdot q_e + \rho \cdot q_\rho + \beta \cdot q_\beta + g \cdot q_g. \quad (1)$$

Ошибки, допускаемые оператором при выполнении атомарных операций, неравноценны, и для их учета параметр e делится на пропущенные ошибки $e^{(1)}$ и исправленные ошибки $e^{(2)}$:

$$e = e^{(1)} + e^{(2)}. \quad (2)$$

Компонента $e^{(2)}$ увеличивает время выполнения работы и, таким образом, не требует дополнительного учета, а компонента $e^{(1)}$ становится самостоятельным показателем в формуле (1).

В ряде случаев сбой в работе пользователя затрагивает последовательно несколько операций. По этой причине информативна также продолжительность сбоя τ_e (например, среднее значение за время выполнения теста).

В качестве показателя скорости работы выбран темп выполнения заданий ν

$$\nu = \frac{\partial S}{\partial \tau} = \sum_i \frac{[1 - \delta(e^{(2)} - e_i^{(2)})] S_i}{\tau_i}, \quad (3)$$

где S_i – i -я атомарная операция (например, при наборе текста ею может быть один напечатанный символ либо пробел, перевод строки и др.), $e_i^{(2)}$ – признак наличия ошибки при выполнении i -й атомарной операции, δ – дельта-функция Дирака.

Преимущественно для экспериментов оценивался средний темп $\langle \nu \rangle$, равный числу правильно выполненных атомарных операций, генерируемых оператором за секунду:

$$\langle \nu \rangle = \left[S - q_e \cdot e^{(1)} \right] / \tau, \quad (4)$$

где S – общее число выполненных операций, $e^{(2)}$ – число операций, не выполненных, либо выполненных с ошибкой. Штрафная функция q_e может использоваться при сравнении качества работы: с ее помощью «вес» допущенных ошибок увеличивается пропорционально их важности для конкретной решаемой задачи. Если степень важности безошибочной работы не определена; используется значение $q_e=1$, при котором $\langle \nu \rangle$ равно числу правильно выполненных операций, совершаемых пользователем за секунду.

В качестве информативных параметров при оценке сердечного ритма и концентрации внимания выступают среднее значение ЧСС за время выполнения теста $\langle \rho \rangle$ и среднее значение концентрации внимания $\langle \beta \rangle$. В практических экспериментах в роли последнего нами использована метрика «Attention» энцефалографа Neurosky Mindwave, связанная с β -ритмом головного мозга [12, 13].

При оценке ЭПК выделяют высокочастотную фазическую g_p и низкочастотную тоническую g_t кожно-гальванические реакции (КГР):

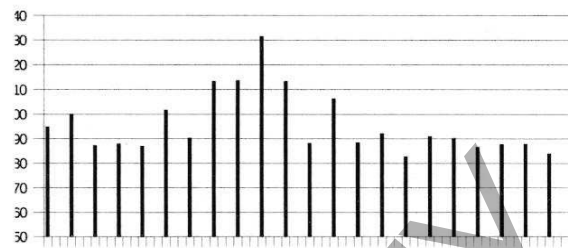
$$g = g_p + g_t \quad (5)$$

Фазическая КГР имеет вид кратковременных импульсов малой длительности, возникающих в ответ на внешние стимулы или на тревогу, напряжение, мыслительную деятельность. Тоническая КГР служит показателем функционального состояния человека и, согласно существующим исследованиям, является менее универсальным показателем: это медленно изменяющаяся составляющая, а ее учет требует калибровки для каждого пользователя [14]. Поэтому при оценке КГР, данные, полученные с датчиков электропроводности, должны быть отфильтрованы для выделения фазической составляющей, на основе чего выполняется подсчет числа экстремумов g_p :

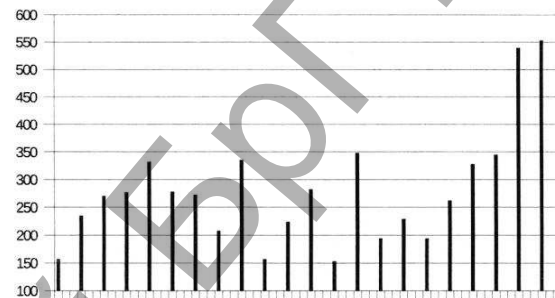
$$g_{p,i} = \begin{cases} 1, & g'_p(t_i) = 0 \text{ и } g''_p(t_i) < 0; \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (6)$$

Пример для трех показателей, вычисленных по предлагаемым критериям, приведен на рис. 3.

$\langle \rho \rangle$, значения по участникам эксперимента



$\langle \nu \rangle$, значения по участникам эксперимента



$\langle \beta \rangle$, значения по участникам эксперимента

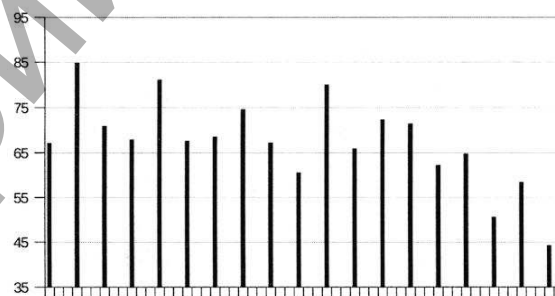


Рисунок 3 – Усредненные за время выполнения теста значения ЧСС $\langle \rho \rangle$, темпа $\langle \nu \rangle$ и концентрации внимания $\langle \beta \rangle$, вычисленные для всех участников эксперимента

Заключение. Таким образом, список биометрических показателей, предлагаемых для практической оценки эффективности работы оператора, включает следующие параметры: темп выполнения действий ν , число пропущенных оператором ошибок e_t , продолжительность сбоя τ_e , частоту сердечного ритма ρ , концентрацию внимания оператора β , фазическую КГР g_p . По результатам теста для перечисленных параметров вычисляются средние значения, а также, дополнительно, максимальное отклонение параметра от средней составляющей. Каждый из представленных критериев позволяет свести временной ряд, содержащий значения, измеренные в ходе выполнения теста (ЧСС, ЭПК и др.) либо возвращенные тестирующей программой (время тестирования и допущенные ошибки), к единичному значению, отражающему характер работы конкретного пользователя в конкретном тесте. Опционально, при наличии весовых коэффициентов, отражающих важность каждого из показателей в работе оператора, вычисленные по критериям значения могут быть сведены к общей интегральной оценке по выражению (1).

При необходимости сравнения нескольких программных продуктов выполняется простое сопоставление данных значений, полученных при тестировании работы пользователя с каждым из сравниваемых продуктов. В результате более подходящей признается программа, показавшая лучшие значения для большинства протестированных пользователей.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Забродин, Ю.М. Методологические проблемы функционального состояния человека-оператора // Вопросы кибернетики. Психические состояния и эффективность деятельности. – М., 1983. – С. 3–25.
2. Журавский, В.И. Программно-аппаратная система для сравнительных исследований эргономики программного обеспечения В.И. Журавский, Д.А. Костюк, О.О. Латий, А.А. Маркина // Информационные технологии и системы 2015 (ИТС 2015): материалы Международной научной конференции. – Минск: БГУИР, 29 октября 2015 г. – С. 252–253.
3. Rebsamen, B. Evaluation of cognitive workload from EEG during a mental arithmetic task / B. Rebsamen, K. Kwok, T.B. Penney // Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting. 2011. – Vol. 55. – Iss. 1 – P. 1342–1345.
4. Костюк, Д.А. Инструментальная оценка состояния пользователя в задаче сравнения интерфейсов офисных приложений / Д.А. Костюк, О.О. Латий, А.А. Маркина // XII конференция разработчиков свободных программ. Тезисы докладов. – Калуга, 16–18 октября 2015 г. – М.: Альт Линукс, 2015. – С. 8–12.
5. Костюк, Д.А. Об эффективности использования метафоры ленточного интерфейса / Д.А. Костюк, О.О. Латий, А.А. Маркина // Одиннадцатая конференция «Свободное программное обеспечение в высшей школе»: Материалы конференции. – Переславль, 30–31 января 2016 г. – М.: Альт Линукс, 2016. – С. 17–23.
6. Костюк, Д.А. Исследование эффективности переключения окон в современных графических интерфейсах / Д.А. Костюк, К.Л. Костюк, С.С. Дереченник, К.А. Тавониус, А.В. Шитиков // Вестник БрГТУ. – 2011. – № 5 (71): Физика, математика, информатика. – С. 45–48.
7. Kostiuk, D.A. Approach to evaluate effectiveness of human-computer interaction with contemporary GUI / D.A. Kostiuk, S.S. Derechennik, A.V. Shitikov, O.O. Latiy // Третя Міжнародна науково-практична конференція FOSS Lviv 2013: збірник наукових праць, Львів, 18–21 квітня 2013 р. – Львів, 2013. – С. 85–87.
8. Раскин, Дж. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем. – СПб.: Символ-Плюс, 2003. – 272 с.
9. Martini, F. Essentials of Anatomy & Physiology / F. Martini, E. Bartholomew // San Francisco: Benjamin Cummings, 2003. – P. 267.
10. Chen, W. Continuous estimation of systolic blood pressure using the pulse arrival time and intermittent calibration // Medical and Biological Engineering and Computing. – Vol. 38, 2000. – P. 569–574.
11. Гусельников, В.И. Электрофизиология головного мозга. – М: Высшая школа, 1976.
1. Dhali, S. A Study of Brainwave eSensing Activity. Department of Computer Science, Malmo University (electronic publication). <https://www.overleaf.com/articles/bci/mcsvkjwhcfff/viewer.pdf>
12. Sezer, A. An Investigation of University Students' Attention Levels in Real Classroom Settings with NeuroSky's MindWave Mobile (EEG) Device / A. Sezer, Y. Inel, A.Ç. Seçkin, U. Uluçinar // Proc. of IETC 2015 int. conf., May 27–29, Istanbul, Turkey. – P. 88–101.
13. Benedek, M. A continuous measure of phasic electrodermal activity / M. Benedek, C. Kaembach // Journal of Neuroscience Methods – № 190. – 2010. – P. 80–91.

Материал поступил в редакцию 21.02.2017

KOSTIUK D.A., LATIY O.O., MARKINA A.A. Approach for the biometric evaluation of the graphical user interface ergonomics

The analysis of the approaches to evaluate human interaction with GUI is carried out. Usage of the contemporary consumer electronic devices with biometric sensors as a human body monitoring equipment is substantiated. Testing schemes are proposed based on the examination of the operator's interaction with a graphical environment. Set of criteria for biometric evaluation of the human-computer interaction effectiveness is formulated.

УДК 535:621.373.8

Тарасюк Н.П., Луценко Е.В., Гладыщук А.А.

ВЛИЯНИЕ НА ФАКТОР ОПТИЧЕСКОГО ОГРАНИЧЕНИЯ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ, НОМЕРА МОДЫ И ДИЗАЙНА ДЛЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР InGaN/GaN, ОПТИМИЗИРОВАННЫХ ПОД ФУНДАМЕНТАЛЬНУЮ МОДУ

Введение. Гетероструктуры InGaN/GaN являются перспективными для создания лазерных устройств, работающих в ультрафиолетовой – сине-зеленой области спектра. Благодаря более короткой длине волны синие лазеры обеспечивают более высокую плотность записи данных. Одно из возможных применений лазеров в зеленой области спектров – информационные линии короткой протяженности на пластиковых световодах.

В данной работе проводится оптимизация по фактору оптического ограничения различных дизайнов гетероструктур с активной областью, содержащей пять и десять квантовых ям InGaN.

Расчет фактора оптического ограничения. Для моделирования фактора оптического ограничения гетероструктур была использована модель одномерной планарной структуры.

Вычисления фактора оптического ограничения были проведены в приближении плоских волн для ТЕ поляризации излучения [1–3]. Напряженность электрического поля в j -м слое структуры представляется в виде:

$$\epsilon_y(x, z, t) = \epsilon_{y,j}(x) \exp[i(\omega t - \beta z)]. \quad (1)$$

Амплитуда напряженности электрического поля $\epsilon_{y,j}(x)$ удовлетворяет волновому уравнению:

$$\frac{\partial^2 \epsilon_{y,j}(x)}{\partial x^2} - (\beta^2 - k_0^2 \tilde{n}_j^2) \epsilon_{y,j}(x) = 0, \quad (2)$$

где β – проекция волнового вектора k_0 на плоскость гетероструктуры, \tilde{n}_j – комплексный показатель преломления j -го слоя.

Для нахождения β использовался алгоритм скоростного спуска [1]. Фактор оптического ограничения вычислялся по формуле [4]:

$$\Gamma = \frac{\sum_{i=1}^N \int_{x_{ai}}^{x_{bi}} E_y^2(x) dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} E_y^2(x) dx}, \quad (3)$$

где интегрирование в числителе происходит по координатам квантовых ям InGaN.

Тарасюк Николай Петрович, доцент кафедры физики Брестского государственного технического университета

Луценко Евгений Викторович, к. ф.-м.н., ст. научный сотрудник Института физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси.

Беларусь, 220072, г. Минск, пр. Независимости, 68.

Гладыщук Анатолий Антонович, к.ф.-м.н., заведующий кафедрой физики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Физика, математика, информатика