

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

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

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

*Подписано в печать 27.04.2020
Дата выхода номера 27.05.2020
Формат 60×90 1/8*

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

**Signed in print 27.04.2020
Release date 27.05.2020
Format 60×90 8.1**

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

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

*Тираж 1000 экз.
Распространение по свободной цене
Заказ НО 2020/2
© ООО НИЦ «Академия Естествознания»*

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

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



М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

С 2014 года издание журнала возобновлено
Академией Естествознания
**From 2014 edition of the journal resumed
by Academy of Natural History**

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

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

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2020 г.



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

The issue contains scientific reviews,
problem and practical scientific articles

СОДЕРЖАНИЕ**Технические науки (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)****СТАТЬИ**

ЛИНЕЙНЫЙ ДИСКРИМИНАНТНЫЙ АНАЛИЗ КАК КОНТРОЛИРУЕМЫЙ ПОДХОД В ЗАДАЧАХ УМЕНЬШЕНИЯ РАЗМЕРНОСТИ ДАННЫХ <i>Петухов Д.Е., Ткаченко А.В., Белов Ю.С.</i>	5
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА МАНЕВРОВЫХ ЛОКОМОТИВАХ <i>Завальный Ф.Г., Ильичев В.Ю., Шевелев Д.В.</i>	10
ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ САЙТА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИГРЫ ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ <i>Бужинская Н.В., Налимов Д.В.</i>	15
ПУТИ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ИНТЕРНЕТ-ЭКВАЙРИНГА <i>Голиков С.Е.</i>	22
СЛУЧАЙНОСТЬ КВАНТОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ <i>Горбачев А.А., Кухтинов В.Н., Черкесова Л.В.</i>	27
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА РЕНКИНА <i>Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.</i>	32
РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОИСКА И РЕСУРСНОЙ ОЦЕНКИ МОРСКИХ ГАЗОГИДРАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ <i>Лискин В.А., Егоров А.В., Тихонова Н.Ф.</i>	37

CONTENTS**Technical sciences (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)****ARTICLES**

LINEAR DISCRIMINANT ANALYSIS AS A SUPERVISED APPROACH TO REDUCING DATA SIZE <i>Petukhov D.E., Tkachenko A.V., Belov Yu.S.</i>	5
FEASIBILITY STUDY FOR GAS TURBINE ENGINES ON SHUNTING LOCOMOTIVES <i>Zavalnyy F.G., Ilichev V.Yu., Shevelev D.V.</i>	10
STAGES OF DEVELOPMENT OF THE INTELLECTUAL GAME PROGRAMMING SITE <i>Buzhinskaya N.V., Nalimov D.V.</i>	15
WAYS TO REDUCE THE RISKS OF INTERNET ACQUIRING <i>Golikov S.E.</i>	22
RANDOMNESS OF QUANTUM GENERATORS <i>Gorbachev A.A., Kukhtinov V.N., Cherkesova L.V.</i>	27
DEVELOPMENT OF PROGRAM FOR RESEARCH OF THERMODYNAMIC RANKINE CYCLE <i>Ilichev V.Yu., Yurik E.A.</i>	32
HYDROCHEMICAL MEASURING MEANS DESIGN FOR MARINE GAS-HYDROGEN DEPOSITS SEARCH AND RESERVES ESTIMATION <i>Liskin V.A., Egorov A.V., Tikhonova N.F.</i>	37

СТАТЬИ

УДК 004.93

ЛИНЕЙНЫЙ ДИСКРИМИНАНТНЫЙ АНАЛИЗ КАК КОНТРОЛИРУЕМЫЙ ПОДХОД В ЗАДАЧАХ УМЕНЬШЕНИЯ РАЗМЕРНОСТИ ДАННЫХ

Петухов Д.Е., Ткаченко А.В., Белов Ю.С.

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

Линейный дискриминантный анализ (LDA) является очень распространенным методом для решения задач уменьшения размерности в качестве шага предварительной обработки для задач машинного обучения и классификации шаблонов. В то же время он обычно используется как черный ящик, но не всегда хорошо понимается. Метод LDA преодолевает ограничение не менее известного метода уменьшения размерности – метода главных компонент (PCA) – путем использования линейного дискриминантного критерия. Этот критерий пытается максимизировать отношение определителя матрицы рассеяния между классами спроецированных образцов к определителю матрицы рассеяния внутри класса спроецированных образцов. Цель этой статьи – предоставить понимание того, что такое LDA, как LDA работает, что даст различным группам читателей возможность лучше понять LDA и знать, как применять эту технику в различных задачах. В статье представлено основное определение метода LDA. Кроме того, подробно описаны два метода вычисления пространства LDA, т. е. зависящие от класса и не зависящие от класса методы. В статье рассматриваются ключевые этапы алгоритма LDA, а также приведен пример использования данного метода. Также был проведен сравнительный анализ LDA с PCA.

Ключевые слова: уменьшение размерности, PCA, LDA, зависящее от класса преобразование, независимое от класса преобразование

LINEAR DISCRIMINANT ANALYSIS AS A SUPERVISED APPROACH TO REDUCING DATA SIZE

Petukhov D.E., Tkachenko A.V., Belov Yu.S.

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

Linear discriminant analysis (LDA) is a very common method for dimensionality reduction tasks as a preprocessing step for machine learning and template classification tasks. At the same time, it is usually used as a black box, but is not always well understood. The LDA method overcomes the limitation of an equally well-known method of reducing dimension – the principal component analysis (PCA), using a linear discriminant criterion. This criterion attempts to maximize the ratio of the scattering matrix determinant between the classes of projected samples to the scattering matrix determinant within the class of projected samples. The purpose of this article is to provide an understanding of what the LDA is and how the LDA works, which will provide different groups of readers with the opportunity to better understand the LDA and know how to apply this technique in various tasks. The article gives a basic definition of the LDA method. In addition, two methods for calculating the LDA space are described in detail, i.e., class-dependent and class-independent methods. The article discusses the key stages of the LDA algorithm, as well as an example of the use of this method. Finally, a comparative analysis of LDA with PCA was performed.

Keywords: dimensionality reduction, PCA, LDA, Class-dependent transformation, Class-independent transformation

Методы уменьшения размерности важны во многих приложениях, связанных с машинным обучением, распознаванием образов [1], интеллектуальным анализом данных, биоинформатикой, биометрией и поиском информации. Основная цель методов уменьшения размерности состоит в уменьшении размеров путем удаления избыточных и зависимых объектов посредством преобразования объектов из пространства с более высокой размерностью в пространство с меньшими размерами. Существует два основных подхода по уменьшению размерности: неконтролируемый и контролируемый. При неконтролируемом подходе нет необходимости в маркировке

классов данных, в то время как в контролируемом подходе методы уменьшения размерности учитывают метки классов. Существует множество методов сокращения неконтролируемой размерности, например независимый компонентный анализ (ICA) и неотрицательная матричная факторизация (NMF), но наиболее известным методом бесконтрольного подхода является анализ главных компонент (PCA) [2]. Этот тип уменьшения данных подходит для многих приложений, таких как визуализация и удаление шума [3]. Контролируемый подход также имеет много методов, таких как смешанный дискриминантный анализ (MDA) и нейронные сети (NN), но наиболее извест-

ным методом этого подхода является линейный дискриминантный анализ (LDA). Эта категория методов уменьшения размерности используется в биометрии, биоинформатике и химии. Метод LDA разработан для преобразования объектов в пространство более низкой размерности, которое максимизирует отношение дисперсии между классами к дисперсии внутри классов, тем самым гарантируя максимальную отделимость классов. Существует два типа метода LDA для работы с классами: зависящий от класса и независимый от класса. В классозависимом LDA для каждого класса вычисляется одно отдельное пространство нижних измерений для проецирования на него своих данных, тогда как в классонезависимом LDA каждый класс будет рассматриваться как отдельный класс по отношению к другим классам. В этом типе существует только одно пространство нижнего измерения для всех классов, чтобы проецировать на него свои данные. Хотя метод LDA считается наиболее широко используемым методом сокращения данных, он страдает от ряда проблем. Первой проблемой является то, что LDA не может найти пространство с меньшей размерностью, если размеры намного превышают число выборок в матрице данных. Таким образом, матрица внутри класса становится сингулярной, что известно как проблема малой выборки (SSS). Существуют различные подходы, которые предлагаются для решения этой задачи. Первый подход заключается в удалении нулевого пространства матрицы внутри класса, второй подход использует промежуточное подпространство (например, PCA) для преобразования матрицы внутри класса в матрицу полного ранга; таким образом, она может быть инвертирована. Третий подход, хорошо известное решение, заключается в использовании метода регуляризации для решения сингулярных линейных систем. Во второй задаче – задаче линейности, если различные классы нелинейно делимы, LDA не может различать эти классы. Одним из решений этой проблемы является использование функций ядра [4].

Цель исследования: рассмотреть, что представляет собой LDA и как он работает, изучить алгоритм и методы вычисления пространства LDA, сравнить LDA с PCA.

Линейный дискриминантный анализ (LDA) – обобщение линейного дискриминанта Фишера – метода, используемого в статистике, распознавании образов и машинном обучении для поиска линейной комбинации признаков, которая характеризует или разделяет два или более классов объектов или событий. Этот метод проецирует на-

бор данных на пространство с более низкой размерностью с хорошей разделимостью классов, чтобы избежать перенапряжения («проклятие размерности») и снизить вычислительные затраты. Полученная комбинация может быть использована в качестве линейного классификатора или чаще – для уменьшения размерности перед последующей классификацией [5].

Линейный дискриминантный анализ – контролируемый алгоритм, который учитывает меченые данные при использовании метода уменьшения размерности. Этот метод применяется для поиска нового пространства признаков, которое максимизирует разделимость классов путем использования подхода, очень похожего на тот, который применяется в анализе главных компонент (PCA).

PCA – статистическая процедура, которая преобразует набор возможных коррелированных переменных в набор линейно некоррелированных признаков, называемых главными компонентами. Он существенно отбрасывает наименее важные переменные, сохраняя при этом ценные, находя главные компонентные оси, вдоль которых дисперсия данных высока [2].

В LDA мы намерены максимизировать разделение между классами путем максимизации расстояния между центроидами классов и в то же время минимизировать дисперсию внутри класса, чтобы образовались хорошо разделенные неперекрывающиеся кластеры. Минимизация внутриклассовой дисперсии приводит к созданию компактных, менее распространенных классов. Эти функции называются дискриминантными функциями.

Различные подходы к LDA

Наборы данных могут быть преобразованы, и тестовые векторы могут быть классифицированы в преобразованном пространстве двумя различными подходами [6].

Преобразование, зависящее от класса: этот тип подхода предполагает максимизацию отношения дисперсии между классами к дисперсии внутри классов. Основная цель состоит в том, чтобы максимизировать это соотношение так, чтобы была получена адекватная сепарабельность классов. Подход к классовому типу предполагает использование двух критериев оптимизации для независимого преобразования наборов данных.

Преобразование, не зависящее от класса: этот подход предполагает максимизацию отношения общей дисперсии к дисперсии внутри класса. Он использует только один критерий оптимизации для преобразования

наборов данных, поэтому все точки данных независимо от их классовой принадлежности преобразуются с помощью этого преобразования. В этом типе LDA каждый класс рассматривается как отдельный класс по сравнению со всеми другими классами.

Алгоритм LDA

LDA основан на концепции поиска линейной комбинации переменных (предикторов), которая наилучшим образом разделяет два класса (цели). Чтобы захватить понятие отделимости, Фишер определил следующую функцию оценки [4].

$$Z = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_d x_d,$$

$$S(\beta) = \frac{\beta^T \eta_1 - \beta^T \eta_2}{\beta^T C \beta} - \text{функция оценки,}$$

$$S(\beta) = \frac{\bar{Z}_1 - \bar{Z}_2}{\text{дисперсия } Z \text{ внутри групп}}.$$

С учетом функции оценки задача состоит в том, чтобы определить линейные коэффициенты, максимизирующие оценку. Эта задача может быть решена с помощью следующих уравнений.

$$\beta = C^{-1}(\mu_1 - \mu_2) - \text{коэффициенты модели;}$$

$$C = \frac{1}{n_1 + n_2} (n_1 C_1 + n_2 C_2) - \text{объединенная}$$

ковариационная матрица, где β – коэффициент линейной модели; C_1, C_2 – ковариационные матрицы; μ_1, μ_2 – средние векторы.

Одним из способов оценки эффективности дискриминации является расчет

расстояния Махаланобиса между двумя группами [7]. Расстояние больше 3 свидетельствует, что в двух средних различаются более чем на 3 стандартных отклонения. Это означает, что перекрытие (вероятность неправильной классификации) довольно мало.

$$\Delta^2 = \beta^T (\mu_1 - \mu_2),$$

Δ – расстояние Махаланобиса между двумя группами.

Наконец, новая точка классифицируется с проецированием ее на максимально разделяющее направление и классификацией ее как C_1 , если:

$$\beta^T \left(x - \left(\frac{\mu_1 + \mu_2}{2} \right) \right) > -\log \frac{p(c_1)}{p(c_2)},$$

где β^T – вектор коэффициентов; x – векторные данные;

$\frac{\mu_1 + \mu_2}{2}$ – средний вектор;

$\log \frac{p(c_1)}{p(c_2)}$ – вероятность класса.

Пример:

Предположим, что мы получили набор данных от банка относительно его клиентов малого бизнеса, которые не выполнили свои обязательства (красный квадрат), и тех, кто не выполнил (синий круг), разделенных просроченными днями (DAYSDELQ) и количеством месяцев в бизнесе (BUSAGE). Мы используем LDA для поиска оптимальной линейной модели, которая наилучшим образом разделяет два класса (default и non-default) (рис. 1).

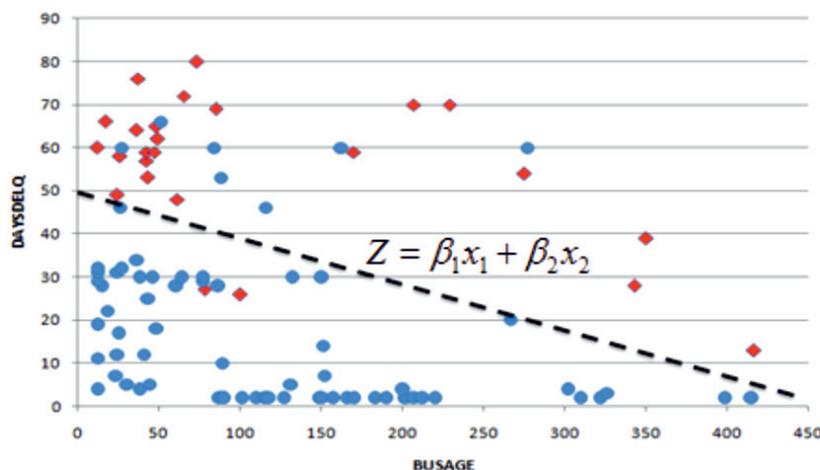


Рис. 1. График зависимости

Первым шагом является вычисление средних векторов, ковариационных матриц и вероятностей классов (табл. 1).

Затем мы вычисляем объединенную ковариационную матрицу и, наконец, коэффициенты линейной модели.

$$C = \frac{1}{n_1 + n_2} (n_1 C_1 + n_2 C_2) = \begin{bmatrix} 10495 & -718 \\ -718 & 322 \end{bmatrix},$$

$$\beta = C^{-1}(\mu_1 - \mu_2) = [-0,0095 \quad -0,1408],$$

$$Z = -0,0095BUSAGE - 0,1408DAYSDELQ.$$

Расстояние Махаланобиса 2,32 показывает небольшое перекрытие между двумя группами, что означает хорошее разделение между классами по линейной модели.

$$\Delta^2 = \beta^T (\mu_1 - \mu_2) = 5,40,$$

$$\Delta = 2,32.$$

В следующей таблице мы рассчитываем Z-балл, используя приведенное выше уравнение Z. Однако оценка сама по себе не может быть применена для прогнозирования результата. Нам также нужно уравнение в столбце 5, чтобы выбрать класс N или Y. Мы прогнозируем класс N, если вычис-

ленное значение больше $-1,1$, в противном случае класс Y. Как показано ниже, модель LDA сделала две ошибки (табл. 2).

$$\begin{aligned} \beta^T \left(x - \left(\frac{\mu_1 + \mu_2}{2} \right) \right) &> -\log \frac{p(c_1)}{p(c_2)} = \\ &= -\log \left(\frac{0,75}{0,25} \right) = -1,1. \end{aligned}$$

Сравнение LDA с PCA

Как линейный дискриминантный анализ (LDA), так и анализ главных компонент (PCA) являются методами линейного преобразования, которые обычно используются для уменьшения размерности (оба метода служат методами факторизации матрицы данных). Наиболее важным отличием между обоими методами является то, что PCA может быть описан как «неконтролируемый» алгоритм, поскольку он «игнорирует» метки классов и его цель – найти направления (так называемые главные компоненты), которые максимизируют дисперсию в наборе данных, в то время как LDA является «контролируемым» алгоритмом, который вычисляет направления («линейные дискриминанты»), представляющие оси, которые максимизируют разделение между несколькими классами [8].

Таблица 1

Средние векторы, ковариационные матрицы и вероятности классов

Класс	Счет	Вероятность	Статистика	BUSAGE	DAYSDELQ
N	$n_1 = 75$	$p(c_1) = 0,75$	Средние векторы (μ)	116,23	16,89
			Ковариационная матрица	$\begin{bmatrix} 9323 & -607 \\ -607 & 333 \end{bmatrix}$	
Y	$n_2 = 25$	$p(c_2) = 0,25$	Средние векторы (μ)	115,04	55,32
			Ковариационная матрица	$\begin{bmatrix} 14009 & -1053 \\ -1053 & 287 \end{bmatrix}$	

Таблица 2

Вычисление Z-оценки и прогнозирование

BUSAGE	DAYSDELQ	Класс	Z-оценка	$\beta^T \left(x - \left(\frac{\mu_1 + \mu_2}{2} \right) \right)$	Прогнозирование
87	2	N	-1,1081	5,0752	N
89	2	N	-1,1271	5,0562	N
90	2	N	-1,1366	5,0466	N
116	46	N	-7,5788	-1,3965	Y
88	53	N	-8,2984	-2,1155	Y
42	57	Y	-8,4246	-2,2405	Y
26	58	Y	-8,4134	-2,2289	Y
42	59	Y	-8,7062	-2,5221	Y

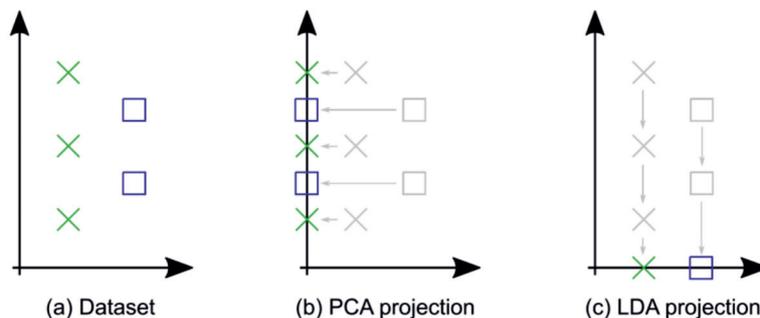


Рис. 2. Пример различного поведения подходов LDA и PCA для одного и того же набора данных. Набор данных представлен в (a). В (b) показан набор данных, спроецированный на основе того, что выбрал бы PCA, поскольку это максимизирует дисперсию независимо от меток классов (синие и зеленые цвета в этом случае). В (c) показан набор данных, спроецированный на основе того, что выбрал бы LDA, поскольку это максимизирует разделение классов, в данном случае зеленые и синие записи [9]

Они преследуют две совершенно разные цели (рис. 2):

– PCA ищет направления (компоненты), которые максимизируют дисперсию в наборе данных, поэтому ему не нужно рассматривать метки классов;

– LDA ищет направления (компоненты), которые максимизируют разделение классов, и для этого ему нужны метки классов.

Заключение

В статье были представлены и объяснены основные сведения о LDA. Авторы работы стремились дать общие сведения о том, что такое LDA, описать подходы к LDA, основной алгоритм LDA, а также было представлено небольшое сравнение алгоритмов LDA и PCA.

Список литературы

1. Гришанов К.М., Белов Ю.С. Методы выделения признаков для распознавания символов // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2016. № 1 (5). С. 110–119. [Электронный ресурс]. URL: <http://nto-journal.ru/catalog/informacionnye-tehnologii/109/> (дата обращения: 17.01.2020).
2. Tharwat A., Principal component analysis-a tutorial. International Journal of Applied Pattern Recognition. 2016. Vol. 3. No. 3. P. 197–240. DOI: 10.1504/IJAPR.2016.079733.

3. Белов Ю.С., Нифонтов С.В., Азаренко К.А. Применение вейвлет-фильтрации для шумоподавления в речевых сигналах // Фундаментальные исследования. 2017. № 4–1. С. 29–33.

4. Alaa Tharwat, Abdelhameed Ibrahim, Aboul Ella Hassanien, Tarek Gaber, Linear discriminant analysis: A detailed tutorial. Ai Communications. May 2017. vol. 30. no. 2. P. 169–190. [Electronic resource]. URL: https://www.researchgate.net/publication/316994943_Linear_discriminant_analysis_A_detailed_tutorial (date of access: 17.01.2020).

5. Leo M.L. Nollet, Linear Discriminant Analysis. Hyperspectral Imaging Analysis and Applications for Food Quality, 2018. P. 115–118.

6. Davidson T., Thileepavathi D. Face and Expression Recognition under Illumination and Occlusion Using GSRRR and ICP Framework. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. February 2015. Vol. 2. Issue 2. P. 457–462. [Электронный ресурс]. URL: http://ijarset.com/upload/2015/february/11_IJARSET_titus.pdf (дата обращения: 17.01.2020).

7. Lahav A, Talmon R, Kluger Y, Mahalanobis distance informed by clustering. A Journal of the IMA. June 2019. Vol. 8. Issue 2. P. 377–406. DOI: 10.1093/imaiai/iaay011.

8. Martinez A.M., Kak A.C., PCA versus LDA. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. February 2001. Vol. 23. Issue 2. P. 228–233. DOI: 10.1109/34.908974.

9. Alberti M., Seuret M., Pondenkandath V., Ingold R., Liwicki M., Historical Document Image Segmentation with LDA-Initialized Deep Neural Networks. HIP2017: Proceedings of the 4th International Workshop on Historical Document Imaging and Processing. 2017. P. 95–100. DOI: 10.1145/3151509.3151519.

УДК 629.42

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА МАНЕВРОВЫХ ЛОКОМОТИВАХ

Завальный Ф.Г., Ильичев В.Ю., Шевелев Д.В.

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

Статья посвящена описанию исследований, ставящих своей целью изучение и обоснование перспективности применения газотурбинных установок (ГТУ) для привода маневровых локомотивов на железных дорогах. При этом решаются остро актуальные на данный момент проблемы повышения экологических показателей железнодорожного транспорта и замены дорогого топлива, используемого в дизельных установках, на значительно более дешёвый природный газ. Целью исследований также является разработка методики технико-экономического обоснования замены дизельного железнодорожного транспорта на газотурбинный. При этом учитываются многочисленные особенности работы маневровых локомотивов по сравнению с магистральными. Для демонстрации разработанной методики с помощью электронных таблиц Microsoft Excel произведён расчёт часовой стоимости топлива для дизельного маневрового локомотива с использованием распределения режимов его работы. Для сравнения эффективности ГТУ и дизельного двигателя была спроектирована одновальная газотурбинная установка, обеспечивающая необходимые для локомотива характеристики. Цикл ГТУ рассчитывался с помощью специально разработанной компьютерной программы. Для ГТУ также произведён расчёт часовой стоимости топлива. По результатам расчётов сделаны обоснованные выводы о целесообразности замены дизельных установок на ГТУ и предложены рекомендации для дальнейшего развития исследований по применению газотурбинных двигателей на маневровых локомотивах. Разработанную методику и результаты проведённых исследований можно использовать для изучения перспектив применения других, более сложных схем ГТУ на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: маневровый локомотив, железнодорожный транспорт, дизельный двигатель, газотурбинная установка, одновальная ГТУ, природный газ, технико-экономическое обоснование

FEASIBILITY STUDY FOR GAS TURBINE ENGINES ON SHUNTING LOCOMOTIVES

Zavalnyy F.G., Il'ichev V.Yu., Shevelev D.V.

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

The article is devoted to the description of studies aimed at studying and justifying the prospects of using gas turbine plants (GTU) for driving shunting locomotives on railways. At the same time, the problems of increasing the environmental performance of railway transport and replacing expensive fuel used in diesel plants with much cheaper natural gases are being solved. The aim of the research is also to develop a method of feasibility study of replacing diesel railway transport with gas turbine transport. At the same time numerous peculiarities of operation of shunting locomotives compared to main locomotives are taken into account. In order to demonstrate the developed technique using Microsoft Excel spreadsheets, the hourly cost of fuel for a diesel shunting locomotive was calculated using the distribution of its operating modes. To compare the efficiency of the GTU and diesel engine, a single-shaft gas turbine plant was designed to provide the characteristics required for the locomotive. The GTU cycle was calculated using a specially designed computer program. For GTU, the hourly fuel cost was also calculated. Based on the results of the calculations, reasonable conclusions were drawn on the expediency of replacing diesel plants with GTU and recommendations were proposed for further development of research on the use of gas turbine engines on shunting locomotives. The developed methodology and the results of the conducted studies can be used to study the prospects of application of other, more complex GTU schemes in railway transport.

Keywords: shunting locomotive, railway transport, diesel engine, gas turbine plant, single-shaft GTU, natural gas, feasibility study

Железнодорожное сообщение отличается высокой пропускной способностью, надёжностью и безопасностью и поэтому является одним из наиболее распространённых видов транспорта в России.

На промежуточных пунктах следования составов – железнодорожных станциях, перегонах производится неотъемлемая часть процесса транспортировки – маневровые работы, при которых осуществляется перемещение на небольшие расстояния. Маневровые работы производятся маневровыми (тяговыми) локомотивами, которые значительно отличаются от магистральных.

Основная часть современных тяговых локомотивов – тепловозы с дизельными двигателями. Магистральные локомотивы используются для маневровых работ только в случае крайней необходимости, так как в таком режиме эксплуатации значительно снижается эффективность их работы.

Особенностями тяговых работ являются чередование страгиваний и торможений, частое изменение траектории движения состава. Поэтому основными требованиями к маневровым локомотивам являются высокие развиваемые тяговые усилия и значительный сцепной вес для обеспечения плав-

ности страгивания и снижения нагрузок на вагоны. Самая большая мощность необходима маневрово-вывозным локомотивам, которые выполняют передачу составов на другие транспортные узлы [1].

При использовании дизельных локомотивов для маневровой работы существует ряд проблем [2; 3]:

- быстрый разряд аккумуляторов;
- при быстром переключении дизеля из режима холостого хода на тягу он работает нестабильно;
- длительный период работы на режимах, далёких от номинального – на холостом ходу и в форсированном режиме, из-за чего топливо сгорает не полностью, что снижает экономичность и повышает концентрацию вредных выбросов в продуктах сгорания;
- частые разгоны и торможения, короткие пробеги с длинными простоями между ними (при этом двигатель не выключается в течение всей смены из-за сложности запуска, особенно в зимних условиях).

Перечисленные недостатки дизельных локомотивов приводят к перерасходу топлива, завышенным выбросам вредных продуктов сгорания и к высокому уровню шума [4]. По этим критериям дизельный двигатель уступает газотурбинным установкам, которые отличаются следующими достоинствами [5]:

- на порядок более низкий удельный вес;
- возможность использования более дешёвого топлива – природного газа;
- выбросы вредных веществ ГТУ на природном газе в десятки раз ниже;
- малая трудоёмкость обслуживания;
- отсутствие множества вспомогательных систем, присущих дизелям.

Учитывая тот факт, что маневровые локомотивы всё чаще применяются вблизи жилой застройки, экологические показатели начинают играть большую роль, не менее важную, чем показатели экономические [6].

Так как экологичность ГТУ не вызывает сомнений, то целью данной работы является сравнительный технико-экономический анализ дизельных и газотурбинных силовых установок маневровых локомотивов.

Материалы и методы исследования

Для расчёта и сравнения показателей дизельных и газотурбинных силовых установок маневровых тепловозов вначале не-

обходимо произвести анализ основных режимов их работы, так как от них зависит расход и стоимость топлива.

Особенностями расходования топлива при маневровой работе являются: длительное простаивание тепловозов, частая смена позиций контроллера машиниста (ПКМ), работа на низких позициях контроллера при режимах, далёких от оптимальных.

Маневрово-вывозные тепловозы должны обладать высокой мощностью для передвижения составов на другие станции и узлы, обеспечивать плавное торможение, быстрое реверсирование, высокую надёжность и экономичность. Выбор модели тепловоза осуществляется в результате детального анализа необходимых режимов работы и условий эксплуатации.

Для сравнительного анализа экономической эффективности дизельного и газотурбинного маневрового локомотива необходимо задаться стоимостью дизельного топлива и природного газа, которая равна соответственно 53 р./кг и 26 р./кг [7].

Расчёт расхода топлива производился с использованием электронных таблиц Microsoft Excel [8] по методике, представленной в [9].

Величина расхода топлива, кг, определялась по формуле

$$E = g_k T_1 + g_x T_2,$$

где g_k и g_x – расход топлива при работе под нагрузкой и на холостом ходу, кг/с; T_1 и T_2 – время работы под нагрузкой и на холостом ходу, с.

При этом необходимо учитывать, что на разных режимах работы расход топлива будет отличаться, поэтому необходимо суммировать произведение расхода топлива на время работы для каждого режима.

В табл. 1 приведены значения часового расхода топлива g_k для локомотива ЧМЭЗ [9] в зависимости от позиции контроллера машиниста (ПКМ). Расход топлива в режимах выбега и торможения представляет собой постоянную величину, равную 0,15 кг/мин (9 кг/час).

В табл. 2 приведены результаты расчёта расхода топлива и стоимости эксплуатации дизельного локомотива за час с учётом процентной продолжительности каждого режима работы.

Таблица 1

Часовой расход топлива ЧМЭЗ

Показатель	Показатель контроллера машиниста (ПКМ)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Расход топлива g_k , кг/ч	31	63	96	110	120	160	174	180

Таблица 2

Результаты расчета стоимости эксплуатации дизельного локомотива

	0 (х.х.)	1	2	3	4	5	6	7
Время, %	30,4 (39,8)	10,9	4,7	3,9	4,2	3,7	1,6	0,6
Расход, кг		3,38	2,96	3,74	4,62	4,44	2,56	1,04

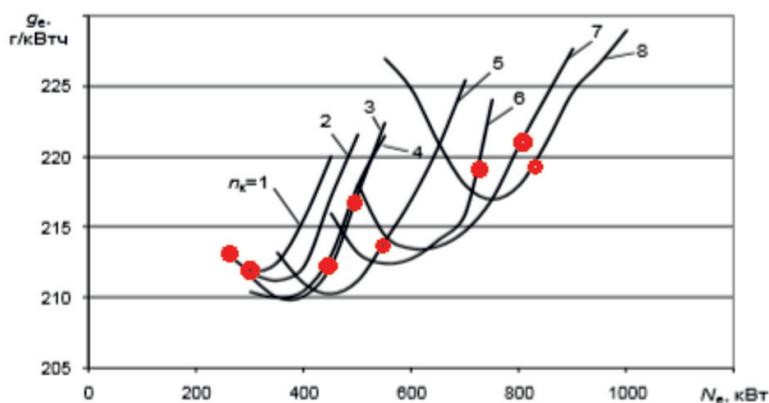


Рис. 1. Нагрузочная характеристика маневрового локомотива ЧМЭЗ

Для сравнения с дизельным двигателем была выбрана одновальная газотурбинная установка такой же мощности, что и дизельный двигатель локомотива ЧМЭЗ, оптимизированная с точки зрения КПД. Газотурбинная установка имеет центробежный двухкаскадных компрессор с номинальной степенью сжатия 10. Расчёт параметров цикла ГТУ произведен с помощью специально разработанной компьютерной программы.

Для анализа газотурбинной установки использована нагрузочная характеристика, приведённая на рис. 1 [9].

Результаты исследования и их обсуждение

По нагрузочной характеристике была определена мощность двигателя локомотива ЧМЭЗ на каждом ПКМ. Результаты определения эквивалентной мощности сведены в табл. 3 и отмечены на рис. 1 жирными точками.

Далее был найден необходимый для вышеуказанного распределения использования мощности часовой расход топлива (табл. 4).

Сравнительная гистограмма стоимости топлива для дизельного двигателя и газотурбинной установки для каждого положения контроллера машиниста представлена на рисунке 2. Стоимость дизельного топлива обозначена чёрным цветом, а стоимость природного газа для ГТУ – синим. Ширина каждого столбца гистограммы пропорцио-

нальна времени работы локомотива на каждом ПКМ.

Далее было произведено суммирование часовой стоимости топлива по всем ПКМ с учётом процентной продолжительности каждого режима работы.

Анализ экономической эффективности показал, что расход топлива у газотурбинного двигателя больше, чем у дизельного (54,75/26,1 кг/ч), однако, из-за более низкой стоимости топлива – природного газа, расходы на топливо для газотурбинной установки всего на 3,9% выше, чем у дизельного двигателя (1423 р./1369 р.).

При расчете эффективности установки была использована одновальная модель ГТД. Для дальнейшего развития темы исследования использования ГТД на маневровых локомотивах целесообразно рассмотреть более совершенные конструкции, с двух- и трехвальной компоновкой, имеющие более высокие показатели экономической эффективности [10]. ГТД со свободной силовой турбиной, кроме высокой экономичности, также имеют преимущества в виде высокого крутящего момента при переходных режимах.

Возможно также рассмотрение применения регенератора тепла уходящих газов для повышения КПД установки в маневровых локомотивах, однако при этом следует иметь в виду, что в локомотивах имеются жёсткие ограничения по габаритам установки.

Таблица 3

Эквивалентная мощность относительно ПКМ

ПКМ	1	2	3	4	5	6	7	8
Мощность, кВт	225	300	450	500	550	725	800	825

Таблица 4

Результаты расчета стоимости топлива для ГТД

ПКМ	0 (х.х.)	1	2	3	4	5	6	7	8
Время, %	30,4 (39,8)	10,9	4,7	3,9	4,2	3,7	1,6	0,6	0,2
Удельный расход, кг/ч		95,76	144,0	223,2	266,4	302,4	403,2	457,2	475,2
Расход за час работы ГТД, кг		10,44	6,77	8,7	11,19	11,2	6,45	0,6	0,2
Итого, кг		54,75							
Цена, р./кг		26							
Стоимость, р.		1423							

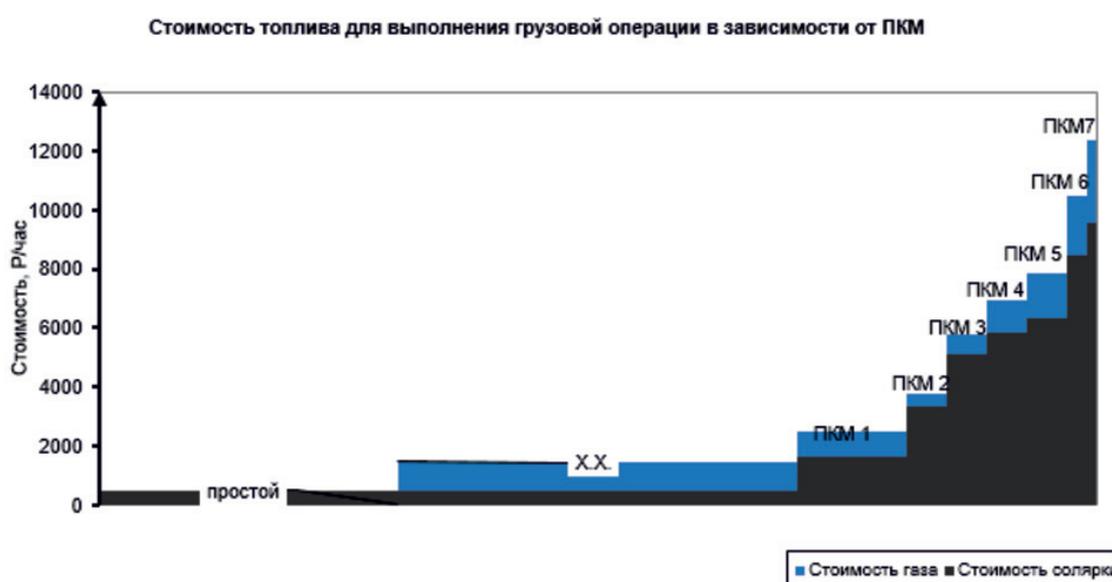


Рис. 2. Гистограмма стоимости 1 часа работы локомотива для каждого положения контроллера машиниста

Заключение

В рамках описанной работы выполнен анализ достоинств и недостатков использования дизельных маневровых локомотивов, выявлены проблемы, связанные с эксплуатацией дизельных установок: их низкая удельная мощность, высокая концентрация вредных выбросов в продуктах сгорания, шумовое загрязнение.

С учётом проведённого анализа можно сделать вывод, что ГТД имеют ряд эксплуатационных преимуществ, к которым относятся быстрый запуск, низкая трудоемкость обслуживания, малые выбросы загрязняющих веществ и др.

Рассмотрены экономические перспективы замены дизельных установок на газотурбинные, для чего разработана методика технико-экономического обоснования и с помощью электронных таблиц Microsoft Excel произведён сравнительный анализ экономической эффективности работы дизельного двигателя и ГТД, специально спроектированного для использования на локомотиве ЧМЭЗ. В методике учтена структура процентной продолжительности работы локомотива при каждом положении контроллера машиниста.

В результате исследования установлено, что применение газотурбинных устано-

вок на маневровых локомотивах оправдано не только с эксплуатационной, но и с экономической точки зрения, особенно если применить более сложные и эффективные ГТД, чем рассмотренная в данной работе. Однако, к сожалению, сложившаяся ситуация на рынке транспорта несколько снижает динамику введения рассмотренных инноваций [11].

Список литературы

1. Тепловозы промышленного транспорта. Основные технические характеристики тепловозов. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.matrixplus.ru/index3-001.htm> (дата обращения: 13.02.2020).
2. Тяговая характеристика и основные технические данные 2ТЭ10М. [Электронный ресурс]. URL: https://www.dieselloc.ru/2te10m_3te10m/2_3te10m_2.html (дата обращения: 13.02.2020).
3. Силовой модуль на базе ГТД-1250 для газотурбовозов. [Электронный ресурс]. URL: <http://kadvi.ru/modul-dlya-gazoturbvozov/> (дата обращения: 13.02.2020).
4. Кузнецова И.А. Об оценке технико-энергетической эффективности работы маневровых тепловозов путем моделирования рабочих процессов оборудования в режимах эксплуатации // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2016. № 3 (8). С. 6–8.
5. Павлов Ю.Н., Бобров А.Н. Применение газотурбинных установок для объектов транспортной инфраструктуры // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. 2019. № 15. С. 27–33.
6. Коссов Е.Е., Кузнецова И.А. К оценке эффективности работы маневрового локомотива путём моделирования режимов работы // Вестник транспорта Поволжья. 2014. № 4 (46). С. 40–49.
7. Стоимость дизельного топлива и природного газа. [Электронный ресурс]. URL: https://www.benzin-price.ru/stat_60days.php?region_id=77 (дата обращения: 13.02.2020).
8. Аникин В.И., Аникина О.В. Моделирование и визуализация информационной структуры алгоритмов в Microsoft Excel // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2014. № 1 (4). С. 21–28.
9. Демченко Е.Б. Оценка расхода топлива маневровыми тепловозами при расформировании составов на сортировочных горках // Транспортные системы и технологии перевозок. 2013. № 6. С. 39–46.
10. Антипов Ю.А., Шаталов И.К., Ельшин А.А. Анализ параметров одновальных, двухвальных и трехвальных газотурбинных установок при частичных нагрузках // Промышленная энергетика. 2013. № 9. С. 34–36.
11. Щуров Н.И., Гурова Е.Г., Макаров С.В., Стрельникова Д.М. Анализ режимов работы силовых установок маневровых тепловозов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13504> (дата обращения: 13.02.2020).

УДК 004.4

ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ САЙТА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИГРЫ ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ

Бужинская Н.В., Налимов Д.В.

*Нишнетагильский государственный социально-педагогический институт (филиал)
ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет»,
Нишний Тагил, e-mail: Nadezhda_V_A@mail.ru*

В условиях развития информационно-коммуникационных технологий изменяются способы получения информации. Большое количество пользователей для решения своих проблем используют Интернет. Сайты применяются для информирования людей, предоставления товаров и услуг, проведения опросов, установления новых контактов. Благодаря межсетевому взаимодействию появляются новые способы и средства обучения. В статье рассматриваются этапы разработки сайта для проведения международной интеллектуальной игры. Игра направлена на проверку уровня знаний и умений студентов и школьников в области программирования. В этом году филиалом РГППУ в г. Нижнем Тагиле было принято решение расширить географию мероприятия и проводить заочный тур для участников из других городов. Решить данную проблему позволит разработка сайта, целью которой является привлечение дополнительного числа участников. Кроме того, разработка сайта позволит автоматизировать процесс работы с заявками участников конкурса, группировать данные, подводить итоги. Процесс разработки сайта включает работу с базой данных в MySQL, в которой хранится необходимая информация, проектирование логической структуры сайта и верстку веб-страниц на XAMPP. Обязательным этапом является тестирование сайта, в процессе которого отслеживаются ошибки, недопустимые на этапе внедрения конечного продукта.

Ключевые слова: веб-страница, XAMPP, база данных, сайт, верстка, регистрация, скрипт

STAGES OF DEVELOPMENT OF THE INTELLECTUAL GAME PROGRAMMING SITE

Buzhinskaya N.V., Nalimov D.V.

*Nizhny Tagil State Social and Pedagogical Institute (branch) of the Russian State Professional
and Pedagogical University, Nizhny Tagil, e-mail: Nadezhda_V_A@mail.ru*

With the development of information and communication technologies, the ways of obtaining information are changing. A large number of users use the Internet to solve their problems. Sites are used to inform customers, provide products and services, conduct surveys, and establish new contacts. Thanks to inter-network interaction, new ways and means of learning appear. The article discusses the stages of developing a website for an international intellectual game. The game is aimed at testing the level of knowledge and skills of students and schoolchildren in the field of programming. This year, the branch of the RSPU in Nizhny Tagil decided to expand the geography of the event and conduct a correspondence tour for participants from other cities. This problem can be solved by developing a website that aims to attract an additional number of participants. In addition, the development of the site will allow you to automate the process of working with applications of contest participants, group data, and summarize results. The site development process includes working with a MySQL database that stores all data, working with the logical structure of the site, and layout of web pages on XAMPP. A mandatory step is testing the site, during which errors that are not allowed during the implementation of the final product are tracked.

Keywords: web page, XAMPP, database, site, layout, registration, script

Ежегодно кафедрой информационных технологий филиала РГППУ в г. Н. Тагил проводится интеллектуальная игра по программированию для школьников, студентов среднего профессионального и высшего образования. Это командное соревнование, предусматривающие развернутые ответы на вопросы в области программирования и решение практических заданий. Участники брейн-ринга должны продемонстрировать теоретическую и практическую подготовку в области программирования, проявить творчество и смекалку. Данный конкурс пользуется популярностью среди участников.

В связи с увеличением количества участников конкурса и добавлением заочной формы участия было принято решение разработать сайт интеллектуальной игры по программированию. Сайт позволит [1]:

– положительно повлиять на имидж игры;

– контактировать с участниками из других городов и даже стран;

– быстро обновлять информацию о конкурсе;

– проводить игру онлайн в установленные сроки;

– автоматизировать подведение итогов.

На первом этапе работы была разработана база данных, в которой хранится информация об участниках конкурса. В базу должны заноситься данные участников и руководителя, адрес учебного заведения. База данных проектировалась и создавалась в MySQL [2; 3].

Материалы и методы исследования

Процесс верстки веб-страниц для сайта конкурса графики будет осуществляться на XAMPP. XAMPP – это кроссплатформенный пакет для веб-программиста, который

позволяет работать с Apache, MySQL, PHP, Perl. XAMPP достаточно прост в использовании, имеет хорошую поддержку, не создает дополнительных дисков и содержит широкий выбор библиотек [4].

Для начала в корневой папке установленного XAMPP создадим папку с названием нашего сайта *Br.ru*. В данной папке располагаются каталоги, согласно логической структуре сайта. Файлы в каталогах могут изменяться в связи с добавлением новых страниц и функционала (рис. 1).

Каталоги *Css*, *Img* предназначены для хранения стилей и изображений. Директория *Sert* используется для хранения дипломов и сертификатов участников, *Video* – для видеофайлов, используемых на сайте.

В корне сайта находится файл *index.html* – это главная страница нашего веб-сайта. Также одним из главных файлов является *db.php*, который обеспечивает подключение к нашей базе данных посредством команды (*include_once("db.php");*) (листинг 1) [5].

Листинг 1

Подключение к базе данных

```
<?php
$link = mysqli_connect('localhost','root','br');
mysqli_set_charset($link, "utf8");
if(mysqli_connect_error())
{
    echo 'Ошибка в подключении(' . mysqli_connect_errno() . ')'. mysqli_connect_error();
}
?>
```

На главной странице будет представлена краткая информация о предстоящем мероприятии, месте, дате и времени. Рассмотрим ее структуру подробнее. После основных тегов производим верстку шапки, которая по итогу будет выглядеть следующим образом (рис. 2).

На рис. 2 представлено навигационное меню, которое будет осуществлять переход по страницам сайта, название, адрес и учебное заведение, в котором проводится брейн-ринг.

Следующий блок знакомит пользователей сайта с целями и задачами конкурса. В этой части располагается информация о конкурсе, слайдер фотографий, кнопка «ПОДАТЬ ЗАЯВКУ» (рис. 3).

Нажимая на кнопку «Подать заявку», участник должен ввести нужную информацию. После нажатия на кнопку «ЗАРЕГИСТРИРОВАТЬ» информация передается в базу данных.

При клике на кнопку срабатывает следующий PHP-скрипт (листинг 2).

Листинг 2

PHP-скрипт на добавление записей в базу данных

```
<?php
include_once("bd.php");
if(isset($_POST['reg']))
{
    $stage = $_POST['stage'];
    $team = strip_tags(trim($_POST['team']));
    $fio_mem1 = strip_tags(trim($_POST['fio_mem1']));
    $fio_mem2 = strip_tags(trim($_POST['fio_mem2']));
    $fio_mem3 = strip_tags(trim($_POST['fio_mem3']));
    $city = strip_tags(trim($_POST['city']));
    $institution = strip_tags(trim($_POST['institution']));
    $klass = strip_tags(trim($_POST['klass']));
    $tel = strip_tags(trim($_POST['tel']));
    $mail = strip_tags(trim($_POST['mail']));
    $head = strip_tags(trim($_POST['head']));
    $position = strip_tags(trim($_POST['position']));
    $sql = "INSERT INTO members
(stage, team, fio_mem1, fio_mem2, fio_mem3, city, institution, klass, tel, mail, head, position)
VALUES('$stage','$team','$fio_mem1','$fio_mem2','$fio_mem3','$city','$institution','$klass','$tel','$mail','$head','$position')";
    if($link->query($sql)===TRUE) {
        echo '<script>' . alert("Вы успешно зарегистрировались!") . '</script>';
    }
}
?>
```

Имя	Дата изменения	Тип	Размер
css	17.12.2019 1:07	Папка с файлами	
img	17.12.2019 1:07	Папка с файлами	
sert	16.12.2019 21:03	Папка с файлами	
video	16.12.2019 21:03	Папка с файлами	
bd.php	16.12.2019 21:03	Файл "PHP"	1 КБ
dist.php	16.12.2019 21:03	Файл "PHP"	4 КБ
index.html	16.12.2019 21:03	Chrome HTML Do...	8 КБ
news.html	16.12.2019 21:03	Chrome HTML Do...	3 КБ
player.php	16.12.2019 21:03	Файл "PHP"	6 КБ
player_sort.php	16.12.2019 21:03	Файл "PHP"	6 КБ
proba.php	16.12.2019 21:03	Файл "PHP"	1 КБ
question.php	16.12.2019 21:03	Файл "PHP"	7 КБ
reg.php	16.12.2019 21:03	Файл "PHP"	10 КБ

Рис. 1. Структура сайта

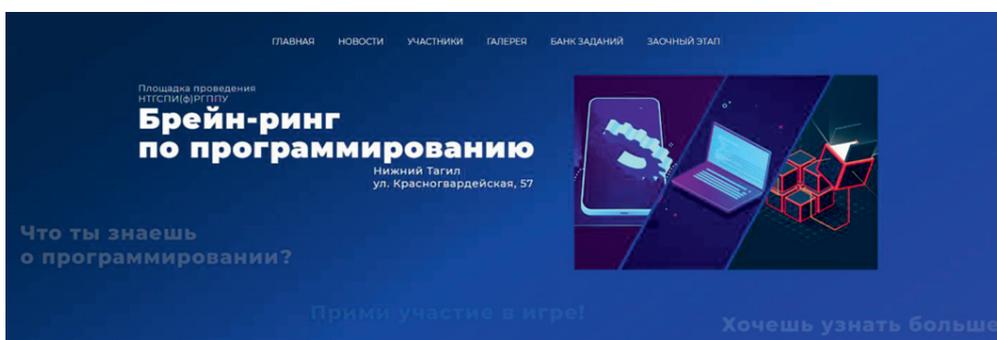


Рис. 2. Главная страница сайта

Как стать участником?!

«Брейн-ринг по программированию» - это интеллектуальная игра, где вы в команде из 3-х человек можете блеснуть своими знаниями в области программного кода.

Для регистрации команды, необходимо подать заявку, перейдя по кнопке ниже. Ознакомиться со сводом правил можно ниже, под кнопкой регистрации.

[ПОДАТЬ ЗАЯВКУ](#)

Подробная информация по Брейн-рингу

Ставший уже традиционным международный «Брейн-ринг по программированию #феМИШКА». Приглашаем вас принять участие в нашей интеллектуальной викторине, о которой мы можете узнать подробнее перейдя по [ссылке](#).

Рис. 3. Главная страница

На первом этапе необходимо обратиться к файлу с подключением к базе данных и задать переменные: $\$stage$, $\$steam$, $\$fio_mem1$, $\$fio_mem2$, $\$fio_mem3$, $\$city$, $\$institution$, $\$klass$, $\$tel$, $\$mail$, $\$head$, $\$position$. Затем

с помощью метода $\$_POST$ передать их из формы ввода в базу данных. Для этого необходимо написать запрос на добавление данных, INSERT INTO определяет таблицу и строки, куда необходимо ввести данные.

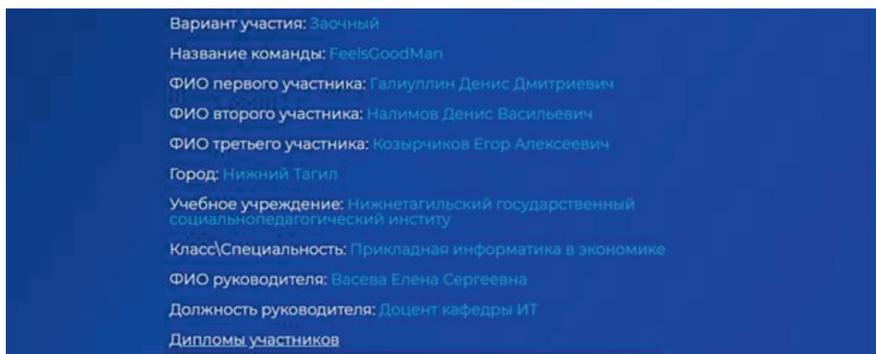


Рис. 4. Вывод списка зарегистрированных команд



Рис. 5. Фильтрация данных на сайте

Строка кода «`echo '<script>'.alert ("Вы успешно зарегистрировались!")'</script>'`» с помощью функции `alert` отвечает за сообщение об успешной регистрации команды, что добавит информативности нашей форме регистрации.

После добавления данных появляется необходимость их вывода. Вывод данных на странице сайта представлен на рис. 4.

При выводе информации на странице не отображаются номера телефонов и адреса электронных почт для обеспечения безопасности персональных данных. Эта информация будет доступна только администратору и разработчику.

Поскольку заявка заполняется всеми участниками конкурса, появляется необ-

ходимость фильтровать данные, например выводить список команд, зарегистрировавшихся на очный или заочный этап. Для этого воспользуемся тегом `<select>`, в котором в тег `<option>` в атрибут `value` для каждого варианта фильтрации пропишем переменные, которые будут передаваться в запрос. Для фильтрации только по «Очному» или «Заочному» этапам пропишем в атрибуте `value` значения «`Очн%`» и «`Заоч%`» соответственно.

Фильтрация осуществляется следующим образом. На странице `Player.php` для пункта `Select` создаем переменную `$_POST`. Данный способ позволяет скрыто передавать переменные из одного файла в другой (листинг 3).

Листинг 3

Фильтрация данных на сайте

```
<form action="player_sort.php" method="POST">
<label for="stage">Сортировать по участию:</label>
<select name="stage">
<option value=" disabled">Выберите этап</option>
<option value="%очный">Все этапы</option>
<option value="Очн%">Очный</option>
```

```
<option value='Заоч%'>Заочный</option>
</select>
<button name='stage1' class='dws-submit2' value='Выбрать' type='submit' >Выбрать</button><hr>
</form>
```

Запрос на фильтрацию

```
$s = $_POST['stage'];
$query = mysqli_query($link, "SELECT * FROM members WHERE stage LIKE '$s' ORDER BY team ");
```

При выводе на экран мы получим список команд, зарегистрированных на очный и заочный этапы одновременно.

Следующей страницей, которую мы рассмотрим, является «Банк заданий» – Question.php. На данной странице представлены примерные типы вопросов, которые будут встречаться в заданиях викторины. Для того чтобы проверить свои знания и узнать правильный ответ, будем использовать код JavaScript. При нажатии на кнопку под вопросом будет появляться всплывающее окно с правильным ответом (рис. 6).

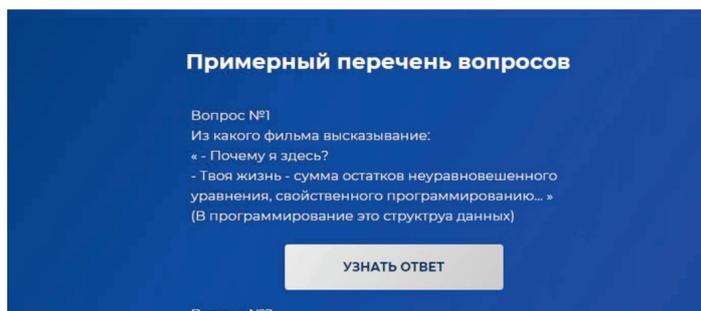


Рис. 6. Примерный перечень вопросов

Для начала создадим разметку всплывающего окна с правильным ответом (листинг 4).

Листинг 4

Разметка всплывающего окна с ответом

```
<div id="myModal" class="modal">
<div id="modal-content">
<span id="close">&times;</span>
<p>Матрица</p>
</div>
</div>
```

Для данного блока в стилях пропишем значение свойства *display*, равное *none*. Данное свойство скроет блок, чтобы мы могли вызывать его в дальнейшем посредством JavaScript и узнать ответ (листинг 5).

Листинг 5

JavaScript для всплывающего окна с ответом

```
$(function(){
$('#myBtn').click(function(){
$('#myModal').fadeIn(500);
})
$('#close').click(function(){
$('#myModal').fadeOut(500);
})
$(document).click(function(event){
if ($(event.target).closest('#myBtn').length || $(event.target).closest('#myBtn').length) return;
$('#myModal').fadeOut(500);
event.stopPropagation();
});
});
```

Подробная информация по заочному этапу

Данный раздел предлагает вам подробнее узнать про заочный этап участия в Брейн-ринге. Подробности этапа изложены в видеообращении.



Приглашаем вас принять участие в нашей интеллектуальной викторине, перейдя по кнопке ниже, о которой также вы можете узнать подробнее перейдя по [ссылке](#).

ПОДАТЬ ЗАЯВКУ

Рис. 7. Страница «Заочный этап»

При выполнении действия появляется правильный ответ, что позволяет улучшить взаимодействие с сайтом, а также сделать его более дружелюбным для пользователя.

Страница *Dist.php* будет рассказывать о заочном этапе конкурса. Для этого на странице размещен видеоматериал, в котором рассказывается о правилах проведения заочного конкурса. Внешний вид данной страницы представлен на рис. 7.

Для размещения видео используется тег `<video>`. Он добавляет, воспроизводит и управляет настройками видеоролика на веб-странице. Путь к файлу задается через атрибут *src* или вложенный тег *<source>*. Для универсального воспроизведения в указанных браузерах видео кодируют с помощью разных кодеков и добавляют файлы одновременно (листинг 6).

Листинг 6

Тег video

```
<div class="movie">
<video poster="/img/mishka.png" src="/video/br.mp4" type="video/mp4" controls>
Видео не загружено, обновите страницу, пожалуйста!
</video>
</div>
```

Благодаря данному коду можно разместить видео на сайте, а также с помощью атрибута *poster* добавить привью. Само видео будет храниться в корне сайта в папке Video.

С этой же страницы участник заочного тура переходит по ссылке на страницу с заданиями. В этом учебном году задания заочного тура были представлены в системе дистанционного обучения Moodle.

Итоговая логическая структура сайта представлена на рис. 8.

Результаты исследования и их обсуждение

Разработанный сайт использовался в 2019–2020 году для проведения заочного

тура интеллектуальной игры по программированию. Одновременно на данном этапе осуществлялось тестирование – это процесс поиска ошибок. Основные правила тестирования веб-сайтов – это шаги, которые показывают пользователю, насколько удобна и логична структура сайта, как организован поиск, воспринимается информация, представленная на сайте, и работает функционал данного сайта [6].

Результаты тестирования позволили выявить следующие недочеты:

– гиперссылки на сайте не отличаются оформлением от основного текста, что затрудняет переход участника на другую страницу;

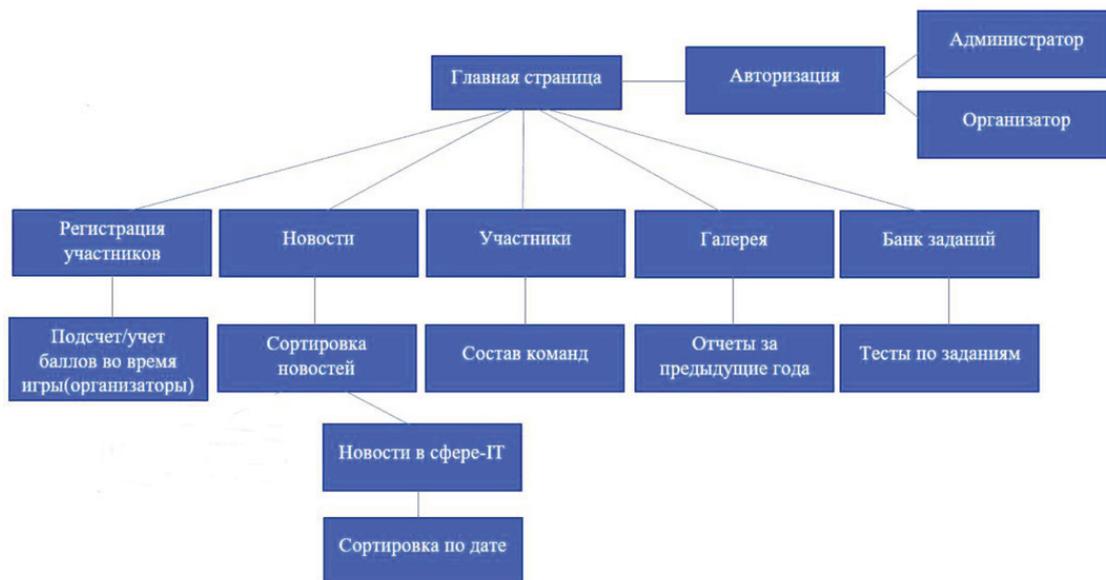


Рис. 8. Логическая структура сайта

- отсутствуют иконки социальных сетей и карта местоположения вуза;
- не продумана система заполнения сертификатов данными участников;
- отсутствует возможность скачивания сертификатов онлайн.

Данные ошибки были исправлены.

Выводы

Сайт интеллектуальной игры предназначен как для информирования участников интеллектуальной игры по программированию, так и автоматизации работы с заявками. Благодаря сайту у организаторов конкурса появилась возможность быстро и своевременно обрабатывать списки участников, связываться с руководителями, формировать отчеты и выдавать сертификаты. Кроме того, сайт позволит привлечь

новых участников и расширить географию конкурса.

Список литературы

1. Итан Маркотт Отзывчивый веб-дизайн. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2012. 173 с.
2. Бужинская Н.В., Налимов Д.В. Разработка базы данных на MySQL для учета участников интеллектуальной игры по программированию // Научно-практический электронный журнал «Аллея науки». 2018. № 11 (27). [Электронный ресурс]. URL: <https://alley-science.ru> (дата обращения: 10.03.2020).
3. Шварц Б., Зайцев П., Ткаченко В. MySQL по максимуму. СПб.: Питер, 2018, 864 с.
4. XAMPP – готовый комплект web-сервера. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.uamedwed.com/blog/soft/xampp-gotovuyj-komplekt-web-servera.html> (дата обращения: 10.03.2020).
5. Одиночкина С.В. Web-программирование PHP. СПб.: Университет ИТМО, 2012. 79 с.
6. Как тестировать веб-сайт? [Электронный ресурс]. URL <https://geteasyqa.com/ru/qa/test-website> (дата обращения: 10.03.2020).

УДК 004.056:336.71

ПУТИ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ИНТЕРНЕТ-ЭКВАЙРИНГА**Голиков С.Е.***ФГАОУВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, e-mail: kcl@mail.ru*

Сервисы ведения бизнеса в Интернете используют многие жители России. Любое предприятие или индивидуальный предприниматель может вести свою деятельность или предоставлять услуги через интернет-магазин по всему миру. Для этого необходимо всего лишь создать веб-сайт, который будут использовать потенциальные покупатели для заказа необходимого им товара и/или услуги. Для проведения платежей при помощи платежных карт интернет-магазины заключают договоры эквайринга с соответствующими банками. В статье описан алгоритм совершения покупок при помощи платежных карт, факторы риска, возникающие при проведении платежей в среде Интернет. Исходя из описанных факторов риска, определено, что задействование недобросовестных торгово-сервисных точек влечет возникновение финансовых и репутационных рисков для финансового учреждения. На основании приведенной обобщенной схемы рисков построена классификация основных видов мошенничества, используемых злоумышленниками. Выделенные пути снижения рисков позволили автору разработать методы снижения вероятности наступления рисков событий в области интернет-эквайринга, состоящие из технических и организационных мероприятий. Описанные практические рекомендации направлены на увеличение эффективности функционирования организованной контрольной среды с целью максимального снижения вероятности реализации рисков.

Ключевые слова: интернет-эквайринг, риски, фрод, электронная коммерция, процессинг

WAYS TO REDUCE THE RISKS OF INTERNET ACQUIRING**Golikov S.E.***Sevastopol State University, Sevastopol, e-mail: kcl@mail.ru*

Many residents in Russia are using payment services in the Internet. Any business or individual entrepreneur can conduct their activities or provide services through an online store around the world. To do this, you just need to create a website that potential buyers will use to order the product and/or service they need. To make payments using payment cards, online stores enter into acquiring agreements with the relevant banks. The article describes the algorithm for making purchases using payment cards, risk factors that arise when making payments in the Internet environment. Based on the described risk factors, it is determined that the use of unfair trade and service points leads to the occurrence of financial and reputational risks for a financial institution. Based on the given generalized risk scheme, a classification of the main types of fraud is constructed used by hackers. The identified ways to reduce risks allowed the author to develop methods to reduce the probability of occurrence of risk events in the field of Internet acquiring, consisting of technical and organizational measures. The described practical recommendations are aimed at increasing the effectiveness of the functioning of the organized control environment in order to minimize the likelihood of risk realization.

Keywords: Internet acquiring, risks, fraud, e-Commerce, processing

В связи со стремительным развитием информационных технологий и Интернета, огромную популярность приобрели сервисы ведения бизнеса посредством Всемирной сети.

Любое предприятие или индивидуальный предприниматель может вести свою деятельность или предоставлять услуги через интернет-магазин по всему миру. Для этого необходимо всего лишь создать веб-сайт, который будут использовать потенциальные покупатели для заказа необходимого им товара и/или услуги.

Цель исследования: на основании рассмотрения механизма проведения транзакции интернет-эквайринга и выявления основных факторов риска и видов мошенничества определить пути снижения рисков событий в области интернет-эквайринга, а также перечень технических и организационных мероприятий, направленных на повышение эффективности внутреннего контроля.

Материалы и методы исследования

На рис. 1 показана схема интернет-эквайринга [1; 2].

Алгоритм покупки выглядит следующим образом:

1. При выборе оплаты заказа пластиковой картой покупатель переадресуется на авторизационную страницу провайдера, где им вводятся платежные реквизиты.

2. Провайдер формирует запрос на авторизацию и перенаправляет покупателя в систему авторизации банка-эмитента (ACS).

3. После проведения аутентификации провайдер направляет информацию для авторизационного запроса в процессинговый центр (ПЦ).

4. Процессинговый центр направляет запрос на авторизацию операции в международную платежную систему (МПС).

5. В зависимости от результата авторизации ПЦ формирует сообщение провайдеру о совершении операции либо отказе.

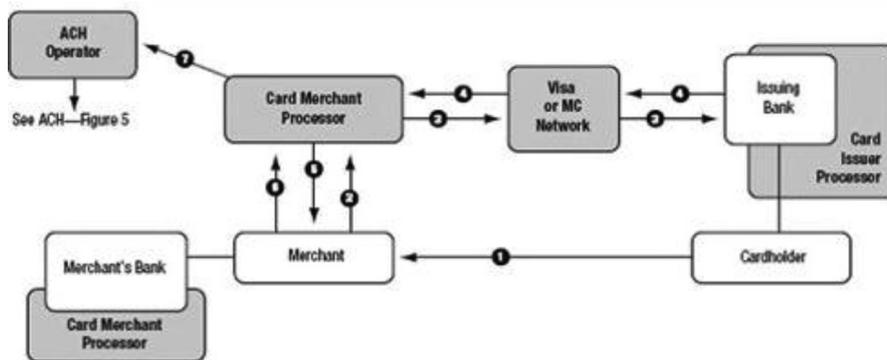


Рис. 1. Диаграмма транзакции интернет-эквайринга

6. Провайдер информирует интернет-магазин и клиента о результатах операции.

7. В зависимости от результата операции интернет-магазин совершает продажу или аннулирует заказ.

8. ПЦ направляет клиринговый файл для проведения расчетов в расчетный банк.

9. Расчетный банк переводит возмещение по совершенным операциям на счет интернет-магазина.

Рассмотрение механизма проведения интернет-транзакции позволяет выявить основные факторы риска:

- расширенные возможности для недобросовестных пользователей, так как покупатель физически может находиться в любой точке мира;

- мощный, недорогой инструментарий и быстрота осуществления транзакций (быстрота открытия интернет-магазина и небольшие затраты могут привести к большим финансовым потерям в случае слабой защищенности);

- постоянная доступность (круглосуточная функциональность, круглосуточная уязвимость для злоумышленников);

- отсутствие единого стандарта (Интернет не имеет установленных централизованных стандартов безопасности онлайн-торговли и регламентов деятельности. Эквайреры в странах, где не предусмотрена уголовная ответственность за преступления с применением платежных карт, где правоохранительные органы не придают данным вопросам должного внимания, не заключены договоры о выдаче преступников, подвергаются большим угрозам со стороны мошенников);

- уязвимость конфиденциальной информации (перехват информации о карточном счете в Интернете является менее сложной задачей, чем проведение транзакции типа MO/TO);

- достаточно низкая эффективность стандартных механизмов авторизации (анонимность в сети Интернет осложняет ведение любого расследования);

- торговля виртуальным товаром (товары покупаются электронным способом, транзакции проходят очень быстро. Если клиент сообщил вымышленные данные или использовал мошеннический способ оплаты, отследить его будет достаточно сложно);

- трансграничная миграция интернет-магазинов (возможность ТСП вступать в договорные отношения с целью мошенничества, переезд в другую страну, возможность заключения договора эквайринга на менее развитом рынке).

Исходя из вышесказанного, недобросовестные ТСП могут принести следующие виды рисков для банков [3]:

- 1) финансовые – убытки от оспоренных операций, за превышение уровня фрода, запрещенную деятельность, нарушения правил работы и т.п.;

- 2) репутационные и правовые – убытки от судебных исков со стороны держателей платежных карт, потеря деловой репутации.

На рис. 2 приведена обобщенная схема рисков [4]:

Основными видами нарушений являются:

- дистанционная продажа рецептурных препаратов, спайсов, табачных изделий, наркотиков, распространение детской порнографии и т.п.;

- нарушение авторских и смежных прав и продажа поддельных товаров;

- продажа и распространение вредоносного программного обеспечения;

- нелегальный гемблинг – проведение азартных игр. Данный тип бизнеса требует приобретения отдельной лицензии, особой обработки транзакций и т.п.

За каждое нарушение предусмотрены со стороны МПС высокие штрафы, которые

доходят до двухсот тысяч долларов, а также исключение из числа участников МПС вплоть до пожизненного.

В подкатегорию «фрод» включены остальные виды мошенничества. Сюда можно отнести [5]:

- работа «под витрину»: прикрытие противоправной деятельности законной;
- нарушение действующего законодательства и правил МПС;
- пирамиды, хайпы, однодневки.

Возможными видами мошенничества, связанные с интернет-платежами, являются:

- использование поддельных номеров карт;
- незаконное получение товара. Клиент товар получил, но ложно сообщает, что товар не доставлен или услуга не оказана;
- использование карты законного держателя другим человеком для заказов посредством сети Интернет;
- кража денег злоумышленниками из системы обработки платежей;
- создание интернет-магазина с целью сбора данных о платежных картах;
- «отмывание денег»;
- поддельные сайты – клоны.

Результаты исследования и их обсуждение

Исходя из вышесказанного, определены следующие способы снижения рисков (рис. 3).

1. Первоначальная проверка ТСП при подключении. Сюда входит проверка анкеты (информация о реквизитах организации, название торговца, юридический и фактический адреса, контактные телефоны, данные о сайте, IP-адрес сервера, на котором расположен интернет-магазин, данные

о товарах/услугах, Ф.И.О. должностных лиц, их идентификационные данные). Также проверяются:

- копии решения общего собрания участников торговца, копии приказов о назначении директора и главного бухгалтера;
- копии страниц паспортов должностных лиц;
- копии данных о присвоении ИНН, свидетельства о государственной регистрации, справки об открытии счета, прочие копии учредительных документов.

В случае возникновения проблем с проверкой первичных документов (некорректно заполнена анкета, форма деятельности в уставе и анкете различаются, выявлена регистрация ТСП по поддельным документам, наличие судимостей должностных лиц ТСП, деятельность ТСП направлена только на зарубежных покупателей, торговля «воздухом» и пр.). ТСП отказывают в заключении договора на обслуживание.

К сайту торговца должны быть предъявлены следующие требования:

- наличие полной и четкой информации о торговце (название, адрес, наличие лицензий, адреса для контактов);
- наличие информации о каких-либо ограничениях в обслуживании, если таковые есть;
- указание типов принимаемых к оплате платежных карт, логотипы платежных систем;
- описание условий доставки и передачи товара клиенту;
- описание предоставляемых услуг;
- информация о сроках гарантийного обслуживания;
- описание порядка отказа от платежа и возврата денежных средств;



Рис. 2. Обобщенная схема рисков

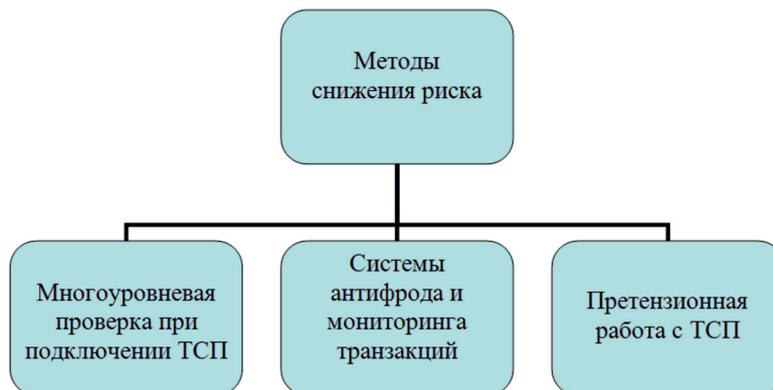


Рис. 3. Методы снижения рисков

- описание валют платежа;
- информация о политике неразглашения и защиты конфиденциальной информации о клиентах, в т.ч. персональных данных.

В случае обнаружения несоответствия сайта торговца предъявляемым требованиям эквайрер предлагает привести содержание сайта к установленным требованиям. ТСП может быть подключено только после устранения всех замечаний.

После осуществления проверок документов и содержания сайта проводится ряд дополнительных мероприятий:

- запрашивается информация о счетах ТСП в других банках;
- проверяется кредитная история учредителей торговой точки, списки поставщиков;
- если торговая точка обслуживалась в другом банке-эквайрере, проводится работа по проверке дополнительных показателей;
- рассчитываются риски банка в случае принятия торговой точкой предоплаты за товары и услуги;
- запрашиваются образцы товаров/услуг, которыми торгует продавец.

2. Системы антифрода и мониторинга транзакций. Основными видами фрода являются:

- кардинг (использование платежной карты или ее реквизитов не санкционировано держателем);
- фишинг (использование поддельных сайтов, внешне похожих на сайт банка-эквайрера);
- «дружеский антифрод» (владелец карты совершает покупку, а затем требует возврата средств на карту вследствие неоказания услуги).

Данные системы позволяют выявить чрезмерный всплеск активности торговой точки, что позволяет проводить анализ. В системах антифрода используются лимиты

и ограничения на проведение операций (ограничение количества транзакций по одной карте за определенный промежуток времени, ограничение на максимальную сумму, количество пользователей, использующих одну банковскую карту, и пр.). Обязательным требованием к подобным системам является наличие блока распознавания пользователя. Фрод-мониторинг позволяет оценивать поведение покупателя в процессе проведения электронного платежа. После проведения мониторинга транзакция отправляется на авторизацию по протоколу 3D-Secure (Master Card Secure Code). Если банк не поддерживает данную технологию, то транзакция будет отправлена в процессинговый центр напрямую. Технология 3D-Secure (Master Card Secure Code) позволяет осуществлять аутентификацию держателя карты на специальном сервере банка-эмитента, выпустившего карту.

Претензионная работа с ТСП позволит избежать убытков или хотя бы их уменьшить после того, как произошел фрод или операция была оспорена. В случае обнаружения факта мошенничества необходимо:

1. Установить непосредственный контакт с ТСП и запросить всю имеющуюся информацию по проведенным транзакциям.

2. Если факт мошенничества подтверждается или имеются веские основания предполагать, что мошенничество имело место, надо предпринять следующие действия:

- заморозить счета для получения возмещения по операциям с картами или прочих счетов ТСП;
- расторгнуть договор на эквайринг с данным ТСП;
- уведомить правоохранительные органы о мошенничестве и сотрудничать с ними в целях привлечения злоумышленников к уголовной и иной ответственности;

- обратиться в суд с иском о возмещении убытков;
- внести название ТСП в список ТСП, с которым расторгнут договор на эквайринг.

Заключение

Таким образом, эффективное снижение рисков возможно только тогда, когда соответствующие бизнес-подразделения банка принимают активное участие в риск-менеджменте. Методы снижения рисков событий в области интернет-эквайринга состоят из технических и организационных мероприятий. Для качественного выполнения организационных мероприятий необходимо разработать систему мотивации всех подразделений, участвующих в обеспечении эквайринга, а также эффективную систему внутреннего контроля, включающую как периодические контрольные процедуры и аудит, так и ежедневные процедуры контроля, встроенные в бизнес-процессы. Чем

эффективнее будет организована контрольная среда, тем меньше будет вероятность реализации рисков.

Список литературы

1. Интернет-эквайринг для «чайников». [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/157565/> (дата обращения: 11.03.2020).
2. RETAIL PAYMENT SYSTEMS. [Электронный ресурс]. URL: <https://ithandbook.ffiec.gov/it-booklets/retail-payment-systems/retail-payment-systems-risk-management/retail-payment-instrument-specific-risk-management-controls/merchant-acquiring.aspx> (дата обращения: 11.03.2020).
3. How to Minimize Risks of Online Merchant Acquiring. [Электронный ресурс]. URL: <https://evercompliant.com/minimize-risks-online-merchant-acquiring/> (дата обращения: 11.03.2020).
4. Бочаров Н. Мерчанты как повышенный источник риска для Интернет-эквайринга. [Электронный ресурс]. URL: <https://bosfera.ru/bo/merchanty-kak-povyshennyu-istochnik-riska-dlya-internet-ekvayringa> (дата обращения: 16.03.2020).
5. Анти-фрод системы и как они работают. [Электронный ресурс]. URL: https://www.securitylab.ru/blog/personal/Informacionnaya_bezopasnost_v_detalyah/339929.php (дата обращения: 11.03.2020).

СЛУЧАЙНОСТЬ КВАНТОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Горбачев А.А., Кухтин В.Н., Черкесова Л.В.

Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, e-mail: chia2002@inbox.ru

Генераторы случайных чисел, основанные на фотонах, имеют огромный интерес в научной сфере, потому что квантовая природа явлений, составляющая их основу, даже при любом количестве и любом качества измерений системы, не дает возможность узнать получаемую последовательность чисел. Квантовые генераторы случайной последовательности являются на данный момент самыми приближенными к идеальным. Типичный генератор случайной последовательности включает в себя источник энтропии для генерации четко определенных квантовых состояний и соответствующую систему обнаружения. В статье рассмотрены категории квантовых генераторов случайной последовательности. Основываясь на степени надежности устройств, квантовые генераторы случайных чисел можно разделить на три категории: практический, самотестируемый, полусамотестируемый. Практический (доверенный) генератор – обладает высокой скоростью генерации случайности, так как основан на доверенных устройствах. Самотестируемый генератор позволяет генерировать случайность без доверия к реализации устройств. Полусамотестируемый генератор обладает средними показателями между практическим и самотестируемым. Случайность имеет решающее значение практически для всего, что мы делаем с нашей вычислительной и коммуникационной инфраструктурой. В частности, она используется для шифрования данных, защищая все: от мирных разговоров до финансовых транзакций и государственных секретов.

Ключевые слова: случайная последовательность, квантовый генератор случайности, кубит, фотон, источник энтропии

RANDOMNESS OF QUANTUM GENERATORS

Gorbachev A.A., Kukhtinov V.N., Cherkesova L.V.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: andrew.gorba4ev2018@yandex.ru

Random number generators based on photons are of great interest in the scientific field, because the quantum nature of the phenomena that make up their basis, even with any number and any quality of measurements of the system, does not allow you to know the resulting sequence of numbers. Quantum random sequence generators are currently the closest to ideal ones. A typical random sequence generator includes an entropy source for generating well-defined quantum States and an appropriate detection system. The article considers the categories of quantum randomness sequence generators. Based on the degree of device reliability, quantum random number generators can be divided into three categories: practical, self-testable, and semi-self-testable. Practical (trusted) generator-has a high rate of randomness generation, as it is based on trusted devices. Self-test generator – allows you to generate randomness without trusting the device implementation. Semi-self-test generator – has average values between practical and self-test. Randomness is critical to almost everything we do with our computing and communication infrastructure. In particular, it is used to encrypt data, protecting everything from peaceful conversations to financial transactions and state secrets.

Keywords: random sequence, quantum randomness generator, qubit, photon, entropy source

Еще с давних времен у человечества возникла потребность в случайных числах из-за большей популярности выборочного наблюдения вместо сплошного. Во времена появления первых ЭВМ появился огромный интерес к проблеме, заключавшейся в получении случайного числа, потому что ЭВМ дает новые возможности для работы со случайными числами. Широко распространенные генераторы случайных чисел основаны на компьютерных алгоритмах и математических преобразованиях, либо на цифровых, аналоговых схемах или особых аппаратных средствах, реагирующих на различные параметры окружающей среды, которые имеют случайный характер поведения. Несмотря на сложность различных физических законов и математических формул, на которых основывается принцип работы генератора, их последовательность чисел является псевдослучайной, так как

теоретически существует возможность их восстановить [1].

Цель исследования: определить сущность случайности квантовых генераторов, рассмотреть категории генераторов и выявить их преимущества и недостатки.

Материалы и методы исследования

Считается что для генерации наиболее случайного числа необходимо использовать аппаратный генератор – устройство, генерирующее случайную последовательность чисел на основе вычисляемых, хаотически изменяющихся параметров происходящего физического процесса. Функционирование этих устройств чаще всего основывается на использовании таких надежных источников энтропии, как дробовой шум, фотоэлектрический эффект, тепловой шум, квантовые явления и т.д. Эти процессы считаются наиболее

непредсказуемыми. Полученная последовательность случайных чисел возникает в результате измерения состояния физической системы, которая бывает на основе классической и квантовой физики. Если генератор основывается на законах классической физики, то случайность зависит только от неопределенности начальных условий [2]. Таким образом, начальные условия, на основе даже сложного закона классической эволюции, могут быть восстановлены, следовательно, и взломан генератор случайной последовательности. Теоретически генераторы на основе классической физики являются псевдослучайными генераторами, но на практике в настоящее время еще не придумано способа нахождения начальных условий для сложных явлений, поэтому на данный момент они также считаются случайными.

Однако с учетом скорости развития технологий и человечества в целом, не так много осталось времени до нахождения ответов для сложных явлений в классической физике. Поэтому нужно заранее быть готовым к массовым хакерским атакам на подобные системы. Для предотвращения таких взломов необходимы истинно случайные генераторы. По-настоящему случайную последовательность можно получить из явлений, принадлежащих квантовой физике. Так, результаты работы квантового генератора, находящегося каждый раз в одинаковом состоянии, имеют абсолютно случайный характер. В квантовой механике система может быть получена в суперпозиции базисных состояний (измерений), как показано на рис. 1.

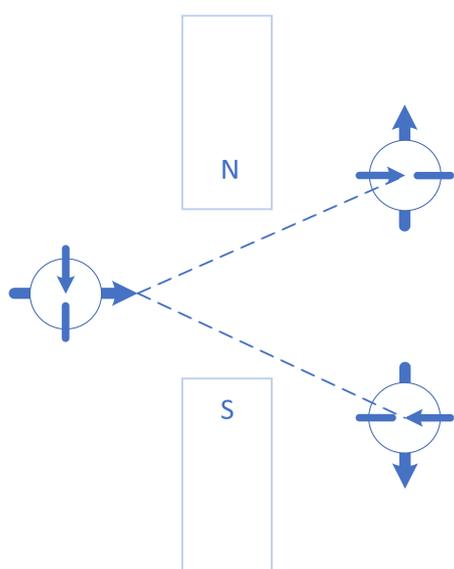


Рис. 1. Суперпозиции базисных состояний

У полностью способного квантового компьютера хватит мощности, чтобы декодировать вычисления, которые создают любую текущую форму шифрования. Например, квантовый компьютер с 300 квантовыми кубитами может проводить больше вычислений, чем атомов во Вселенной.

Квантовые генераторы случайных чисел (Quantum random number generator – QRNG) можно разделить на три основные категории, основываясь на уровне надежности устройств:

- практический (доверенный) QRNG – способен генерировать случайность на высоких скоростях, так как построен на откалиброванных и откалиброванных устройствах;
- самотестируемый QRNG – умеет генерировать случайную последовательность без доверия к реализации устройств;
- полусамотестируемый QRNG – является чем-то средним между практическим и самотестируемым генератором, обеспечивая компромисс между скоростью генерации случайных чисел и надежностью устройства.

Практический QRNG обычно разрабатывают с использованием несложного процесса, как показано на рис. 1. Существует огромное количество практических генераторов случайных последовательностей на основе различных реализаций приведенного процесса. Как правило, такие генераторы имеют низкую стоимость аппаратной реализации и высокую скорость генерации случайной последовательности.

Из любого квантового процесса, нарушающего когерентную суперпозицию состояний, может быть порождена истинная случайность. Большая часть современных практических QRNG реализованы в фотонных системах, это связано с потенциальной возможностью интеграции чипов по размерам и наличием высококачественных оптических компонентов [3].

Случайные биты могут быть получены естественным путем: путем измерения кубита. Кубит – это двухуровневая квантовомеханическая система, которая, подобно биту в классической теории информации, является фундаментальной единицей квантовой информации.

Один из вариантов увеличения скорости генерации случайной последовательности – это проведение измерений временно- или пространственного режима фотона, относящиеся к многомерному квантовому пространству.

Временные QRNG измеряют время прихода фотона. Одним из важных преимуществ данного QRNG является то, что из однофотонного детектирования может быть

извлечено более одного бита случайного числа, что улучшает скорость генерации случайных чисел. Период времени обычно устанавливается равным времени простоя детектора. По сравнению с кубитом QRNG, временной режим QRNG уменьшает влияние мертвого времени обнаружения.

Подобно случаю временного QRNG, несколько случайных битов могут быть сгенерированы путем измерения пространственного режима фотона с помощью системы обнаружения с пространственным разрешением. Одним из наглядных примеров является передача фотона через светоделитель $1 \times N$ и определение положения выходного фотона. Пространственный QRNG предлагает такие же свойства, как и временной QRNG, но он требует нескольких детекторов. Кроме того, корреляция может быть введена между случайными битами из-за перекрестных помех между различными пикселями в плотно упакованном массиве детекторов.

Случайность в практических QRNG в большинстве случаев достаточна для реальных задач, при условии правильной реализации модели. Однако такие генераторы теряют свою безопасность в случае, если устройство управляется противником. Например, в случаях, когда QRNG полностью поставляется производителем с плохим умыслом. Такой производитель способен копировать очень длинную случайную последовательность на большой жесткий диск и только выводить номера с жесткого диска в последовательности, производитель всегда может узнать результат работы устройства QRNG.

Также возможна реализация QRNG, у которого выходная случайная последовательность не будет иметь зависимость от физических реализаций. Истинная случайность может быть сгенерирована путем самотестирования даже на не совсем идеальной реализации генератора.

Суть самотестирования QRNG основана на независимом от устройства рассмотрении квантовой запутанности или нелокальности путем наблюдения за нарушением неравенства Белла [4] (рис. 2). Джон Стюарт Белл (28 июня 1928 – 1 октября 1990) является физико-теоретиком, который сформулировал и доказал неравенства Белла (теореме Белла), впоследствии заложил теоретическую основу для экспериментальных исследований ЭПР-парадокса.

Преимуществом этого типа QRNG является свойство самотестирования случайности. Даже если выходная случайность смешивается с нехарактерным классическим шумом, все равно существует возмож-

ность получить некоторую часть подлинной случайности, основанную на количестве наблюдаемой нелокальности. Скорость генерации самотестирующегося QRNG является очень низкой, так как такой генератор должен демонстрировать нелокальность. Исходя из этого, для тестов Белла требуется использовать случайные входные данные, начинающиеся с короткого случайного числа. Поэтому такой процесс генерации случайности также называется расширением случайности [5].

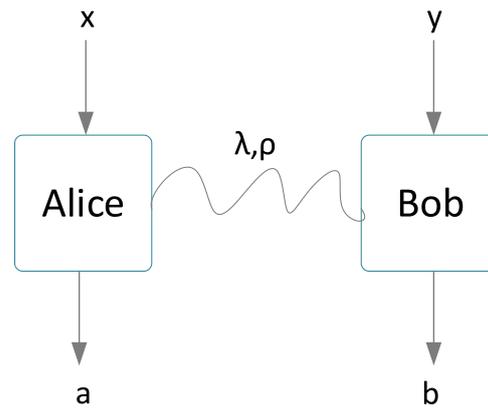


Рис. 2. Иллюстрация двудольного теста Белла

Для случайных входов x и y две пространственно-разделенные стороны Alice и Bob выводят значения a и b соответственно, без сигнализации. Неравенство Белла определяется как линейная комбинация вероятностей $p(a, b|x, y)$.

В построенных на абсолютно случайных входах самотестируемых генераторах, выходной поток случайности содержит нарушения тестов Белла, и наоборот: когда множество входных данных предопределено, всякое неравенство Белла может быть отклонено до допустимой произвольной величины, исключая вызов квантового параметра. Все протоколы самотестирующих генераторов данные условия не поддерживают. Кроме того, сохраняется актуальная проблема – генерация случайности при наличии частичной случайности, ведь нарушитель может использовать дополнительные сведения о входах для подделки отклонений неравенств Белла. Усиление случайности, когда от любой частичной случайности генерируется свободная произвольная случайность, невозможно получить в стандартных процессах.

Обычно генератор состоит из системы считывания и источника случайности. В современных алгоритмах некоторая

часть реализована достаточно хорошо, а другая – нет. Данный факт подвигает к созданию промежуточного типа генераторов случайной последовательности. Такой генератор называется полусамотестируемым. В соответствии с несколькими гипотезами, случайность может генерироваться без полной характеристики устройств, к примеру, надежная случайность может быть сгенерирована с помощью достоверной системы считывания и различного недостоверного объекта случайности. Компромисс между самотестирующимся и практическим генераторами, которым соответственно характерны достаточная безопасность сертифицированной случайности и высокая производительность с низкой стоимостью, обеспечивает полусамотестирующийся генератор случайной последовательности [6].

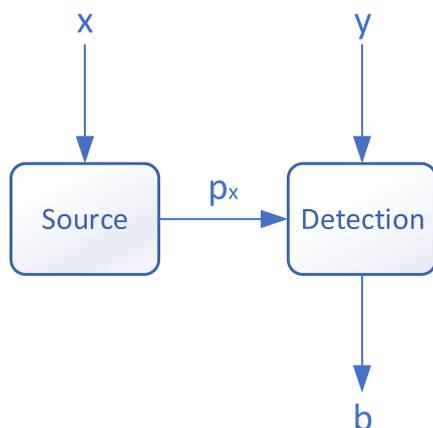


Рис. 3. Полусамотестирующийся генератор случайной последовательности

Проанализировав рис. 3, можно удостовериться, что стандартный генератор состоит из двух основных модулей, а именно источника генератора и измерительного устройства. Источник генератора распространяет квантовые состояния, а измерительный прибор отслеживает эти состояния и выпускает случайные биты. В надежном устройстве стандартного генератора случайной последовательности источник и измерительные устройства должны быть спроектированы достаточно хорошо. В самотестируемом генераторе случайность выхода не связана с устройствами реализации. На иллюстрации полуавтоматического тестирования QRNG, независимая от источника схема представлена уникальным x , соответствующим состоянию ρ_x , и несколькими вариантами настроек измерения y [7].

За последние два десятилетия произошла огромная разработка для всех трех типов квантовых генераторов случайных чисел.

Результаты исследования и их обсуждение

Из всякого квантового процесса, нарушающего когерентную суперпозицию состояний, может быть сгенерирована истинная случайность. Множество практических генераторов спроектированы в фотонных системах по причине присутствия высококачественных оптических свойств и потенциала интеграции с размером чипа. Стандартный генератор содержит источник энтропии, который генерирует четкие определенные квантовые состояния, и надлежащую систему обнаружения. Обычно на выходе личная квантовая случайность слита с классическими шумами. В совершенстве, извлекаемая квантовая случайность должна быть достаточно предопределена количественно и должна быть главным источником случайности. Настоящая случайность может быть извлечена из состава квантового и классического шума.

Случайность имеет решающее значение практически для всего, что мы делаем с нашей вычислительной и коммуникационной инфраструктурой. В частности, она используется для шифрования данных, защищая все: от мирных разговоров до финансовых транзакций и государственных секретов [8].

Подлинную, поддающуюся проверке случайность, чрезвычайно трудно найти. Но это может измениться, как только квантовые компьютеры продемонстрируют свое превосходство. Случайность и квантовая теория идут вместе. В обоих случаях первое является неизбежным следствием второго [9].

Законы квантовой механики не диктуют определенный результат измерения – только вероятности каждого результата. Это делает его идеальным источником случайных чисел. Системы с непрерывными переменными имеют высокую пропускную способность и эффективные детекторы по сравнению с их дискретными переменными аналогами. Кроме того, квантовые генераторы случайных чисел имеют преимущество перед обычными источниками случайности в том, что они неуязвимы для воздействий окружающей среды и позволяют проводить проверку статуса в реальном времени [10].

Заключение

Основными категориями квантовых генераторов случайности являются практический, самотестируемый и полусамотестируемый QRNG. Преимуществом перво-

го считаются высокая производительность и низкая стоимость, а недостатком – безопасность. Самотестируемый генератор не обладает достаточной скоростью, как практический, но имеет высокую безопасность сертифицированной случайности. Полусамотестируемый генератор является компромиссным решением между практическим и самотестируемым генераторами.

Список литературы

1. Гриббин Д. В поисках кота Шредингера. Квантовая физика и реальность. М.: Рипол-Классик, 2016. 352 с.
2. Пиквер К. Великая физика. От Большого взрыва до Квантового воскрешения. 250 основных вех в истории физики. М.: Лаборатория знаний, 2016. 352 с.
3. Yuan Xiao, Cao Zhu, Ma Xiongfeng. Randomness requirement on the Clauser-Horne-Shimony-Holt Bell test in the multiple-run scenario. *Phys. Rev. A* (3) 91 (2015). no. 3. 032111. 7 p.
4. Bell J.S. On the Einstein Podolsky Rosen paradox. *Phys. Phys. Fiz.* 1. 1964. no. 3. P. 195–200.
5. Eric R. Johnston. *Programming Quantum Computers: Essential Algorithms and Code Samples*. O'Reilly Media. English, 2019. P. 157–159.
6. Bernhardt C. *Quantum Computing for Everyone*. The MIT Press. English, 2019. 203 p.
7. Thi Ha Kyaw. *Towards a Scalable Quantum Computing Platform in the Ultrastrong Coupling Regime*. Springer International Publishing. 2019. 78 p.
8. Eremina O.R., Igoshin V.I., Letfullin R.R. Quantum cryptography on the «entangled» two-photon states. *SCI2002 Proceedings, Vol. VII «Information Systems Development II»*, Orlando, Florida, July 14–18. 2002.
9. Ллойд С. Программируя Вселенную. Квантовый компьютер и будущее науки. М.: Альпина нон-фикшн, 2014. 368 с.
10. What is a Quantum Random Number Generator (QRNG). [Electronic resource]. URL: <https://www.nanalyze.com/2017/02/quantum-random-number-generator-qrng/> (date of access: 12.03.2020).

УДК 621.311.22

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА РЕНКИНА

Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.

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

Целью работы, описанной в данной статье, являлась разработка программы расчёта и построения термодинамического цикла Ренкина (цикла паротурбинной установки) по его заданным начальным и конечным параметрам, а также по КПД используемых в нём агрегатов. Для расчёта цикла использован известный из литературы алгоритм. При создании программы также ставилась цель автоматизации расчётов для существенного уменьшения их трудоёмкости. При этом представляется возможным решить актуальную на данный момент проблему повышения качества проектирования и улучшения технико-экономических показателей паротурбинных установок. В качестве среды разработки программного продукта использован один из самых современных языков программирования Python с подключением модуля для создания графического интерфейса tkinter и библиотеки для вывода графиков matplotlib. Ключевой особенностью программы является использование специального модуля CoolProp, позволяющего получать физические и, в частности, термодинамические свойства рабочих тел (в данной работе использовались свойства воды). При отработке программы произведён расчёт характеристик цикла Ренкина для конкретной паросиловой установки, доказавший удобство использования языка Python для создания научных приложений. В программе реализован также алгоритм, позволяющий рассчитывать и строить графические зависимости термического КПД цикла от изменяющихся его начальных либо конечных термодинамических параметров. Дано заключение о проделанной работе и рекомендации по сферам применения её результатов.

Ключевые слова: термодинамика, термодинамический цикл, цикл Ренкина, паротурбинная установка, язык Python, библиотеки Python, модуль CoolProp

DEVELOPMENT OF PROGRAM FOR RESEARCH OF THERMODYNAMIC RANKINE CYCLE

Ilichev V.Yu., Yurik E.A.

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

The purpose of the work described in this article was to develop a program of calculation and construction of a thermodynamic Rankine cycle (steam turbine plant cycle) according to its specified initial and final parameters, as well as according to the efficiency of the units used in it. An algorithm known from literature has been used to calculate the cycle. The purpose of the program creation was also to automate calculations to significantly reduce their labour consumption. At the same time, it is possible to solve the current problem of increasing the quality of design and improving the technical and economic indicators of steam turbine plants. The software development environment is one of the most modern Python programming languages, with a module connected to create graphical interface (tkinter) and a library to output graphs (matplotlib). The key feature of the program is the use of a special module CoolProp, which allows to obtain physical and in particular thermodynamic properties of working bodies (in this work water properties were used). During the program development, the Rankine cycle characteristics were calculated for a specific steam power plant, which proved the convenience of using the Python language to create scientific applications. The program also implements an algorithm that allows to calculate and build graphical dependencies of thermal efficiency of the cycle on changing initial or final thermodynamic parameters of the cycle. An opinion on the work done and recommendations on the application of its results were given.

Keywords: thermodynamics, thermodynamic cycle, Rankine cycle, steam turbine plant, Python language, Python libraries, CoolProp module

Цикл Ренкина – термодинамический цикл, по которому работают паросиловые или паротурбинные установки (ПТУ), являющиеся в настоящее время основными тепловыми агрегатами, производящими электрическую энергию в мире [1]. Соответственно, разработка любой паротурбинной установки начинается с нахождения расположения основных (характерных) точек цикла.

Чаще всего построение цикла Ренкина производится в так называемой *i-s* диаграмме, по оси абсцисс которой откладывается энтропия системы, а по оси ординат – энтальпия (рис. 1).

Цикл состоит из нескольких термодинамических процессов, протекающих последовательно и отделяемых точками их начала и окончания [2]:

1–2 – адиабатное расширение пара в турбине (изменение при этом энтальпии в турбине H_0 называют располагаемым теплоперепадом);

1–2д – действительное расширение пара в турбине (изменение энтальпии при этом в турбине H_d называют использованным или действительным теплоперепадом);

2–3 – изобарный (и изотермический, если он происходит в области влажного пара) отвод теплоты в конденсаторе;

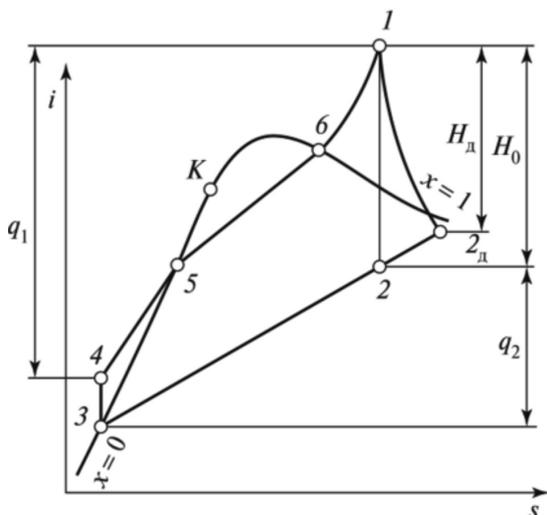


Рис. 1. Цикл Ренкина с характерными точками

- 3–4 – адиабатное повышение давления в питательном насосе;
- 4–1 – изобарный подвод теплоты в паровом котле, который состоит из трёх участков:
- 4–5 – нагрев воды до кипения;
- 5–6 – парообразование;
- 6–1 – перегрев пара.

Буквой К обозначена критическая точка, выше которой водяная фаза не может существовать и водяной пар ведёт себя как газ – заполняет весь выделенный объём [3]. Такой пар называют перегретым.

Левая пограничная линия (левее точки К) разделяет области воды и пара со степенью сухости $x = 0$. Правая пограничная линия (правее точки К) разделяет области перегретого пара и пара со степенью сухости $x = 1$.

С помощью q_1 обозначена теплота, подведённая к рабочему телу (воде) в котле, q_2 – теплота, отведённая в конденсаторе.

Изображение цикла Ренкина в i - s диаграмме позволяет не только наглядно показать протекание основных процессов в паросиловой установке, но и найти параметры, характеризующие эффективность цикла. Вычислив влияние координат характерных точек цикла на эффективность, можно целенаправленно оптимизировать параметры цикла.

Таким образом, для повышения качества проектирования паросиловых установок, работающих по циклу Ренкина, необходим быстрый и малозатратный способ нахождения характерных точек данного цикла [4]. В связи с этим целью данной работы является автоматизация построения необходимых зависимостей и характерных точек с помощью специально разработанной компьютерной программы.

Материалы и методы исследования

Для создания расчётной программы использовался алгоритм определения положения точек начала и окончания термодинамических процессов ПТУ, а также различных типов коэффициентов полезного действия (КПД) установки, приведённый в работе [5].

Средством разработки программного продукта являлся получивший широкое распространение в настоящее время язык программирования Python. В данном случае он был выбран благодаря своим неоспоримым достоинствам:

- лёгкость написания программ научной направленности;
- большой набор средств для создания графического интерфейса пользователя (GUI);
- возможность вывода графиков, обладающих высоким качеством, а также автоматическое их сохранение в виде файлов распространённых графических форматов во время выполнения программы;
- возможность создания программы в виде одного исполняемого файла.

Но главным критерием выбора языка Python являлось то, что для него существует мощный программный модуль CoolProp, позволяющий получать физические и, в частности, термодинамические свойства многих веществ. Текущая версия содержит свойства 122 веществ, среди которых в данном исследовании было использовано вещество вода-пар. Для аппроксимации свойств воды и водяного пара в модуле CoolProp используется новейшая на данный момент методика IF97 [6].

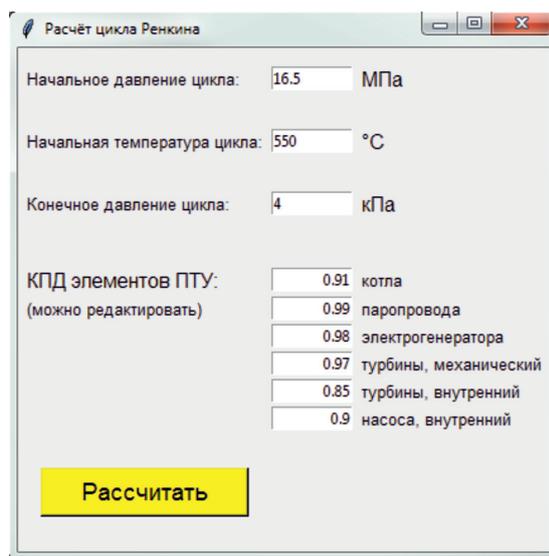


Рис. 2. Интерфейс программы для расчёта цикла Ренкина

Основное окно программы для расчёта цикла Ренкина было создано с помощью

подключённого модуля – библиотеки tkinter языка Python. Командами данного модуля созданы пояснительные надписи, поля для ввода исходных данных, кнопка запуска расчёта, [7]. Вывод результатов расчёта цикла реализован в виде графиков с использованием модуля matplotlib [8].

Созданный интерфейс программы показан на рис. 2.

Как видно из рисунка, для расчёта цикла необходимо ввести лишь начальные и конечные параметры водяного пара, а также КПД элементов паротурбинной установки.

Результаты исследования и их обсуждение

Для отработки функций программы использовался приведённый в [5] пример расчёта основных точек и характеристик цикла Ренкина. Исходные данные согласно данному примеру введены в главное окно программы и запущен расчёт.

На рис. 3 приведён построенный в *i-s* диаграмме с помощью программы цикл.

В верхней части изображения также выводятся два КПД: термический КПД цикла, определяющий его термодинамическое совершенство, и эффективный КПД действительного цикла, полученный с учётом дополнительных потерь в котле, паропроводах, в электрогенераторе, в насосе, механических потерь в турбине.

Первый, термический, КПД цикла зависит в большой степени от выбора положения основных точек цикла, которое

в некоторых пределах можно изменять. Для демонстрации этого влияния написан ещё один вариант рассматриваемой программы. В нём осуществляется вывод графика зависимости термического КПД от начального давления (в точке 1 – перед турбиной).

На рис. 4 показана данная зависимость при начальной температуре $t_1 = 550^\circ\text{C}$ (такой же, как и при построении цикла в вышеприведённом примере). Давление p_1 изменялось от 5 до 50 МПа. Остальные исходные данные те же, что и на рис. 1.

Рисунок демонстрирует, что максимального значения термический КПД цикла Ренкина в данном случае достигает при давлении p_1 , примерно равном 38 МПа.

Подобный график можно вывести и для любых других исходных данных. Если снизить начальную температуру t_1 до 450°C , то программа выдаст картину, изображённую на рис. 5.

Из рисунка видно, что при снижении начальной температуры максимальный термический КПД цикла получается при меньшем значении начального давления, равном примерно 24 МПа. Максимально достижимый термический КПД цикла при этом снижается на 2,5%.

Данное явление влияния начальных параметров цикла на КПД описано в литературе по термодинамике, например в [9].

Подобным образом с помощью программы на языке Python с подключением описанных выше модулей-библиотек можно рассчитать и построить любые другие характеристики цикла Ренкина.

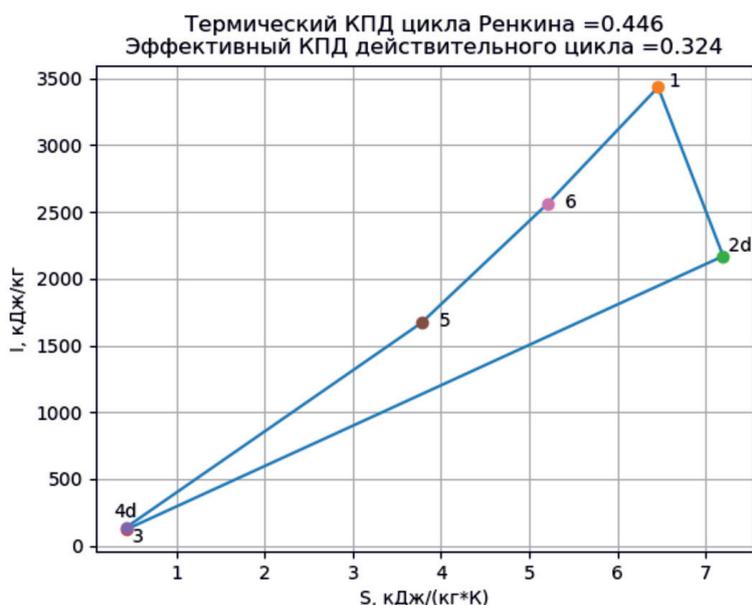


Рис. 3. Точки цикла Ренкина и КПД, полученные в программе

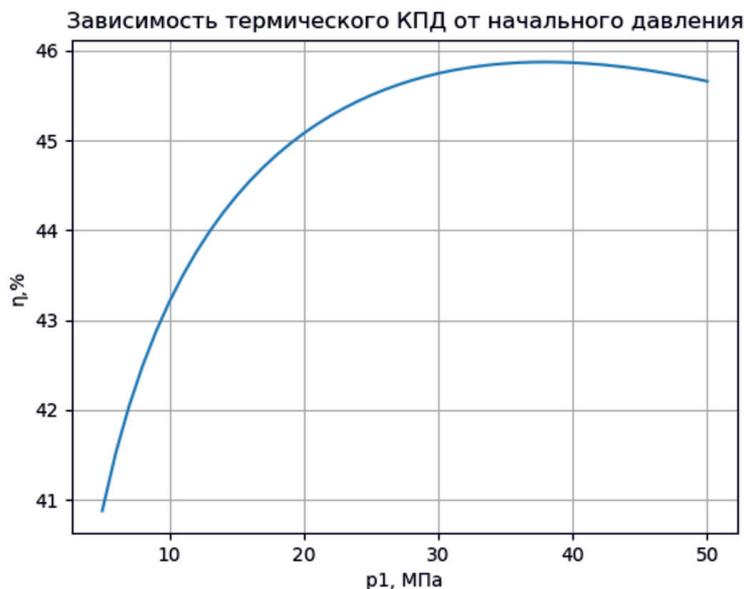


Рис. 4. Зависимость термического КПД цикла от давления пара перед турбиной при начальной температуре 550 °C

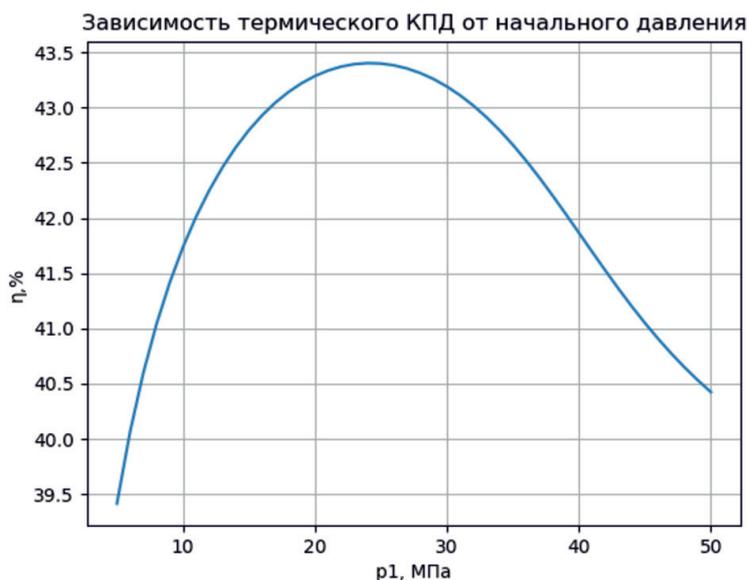


Рис. 5. Зависимость термического КПД цикла от давления пара перед турбиной при начальной температуре 450 °C

Процесс написания и использования компьютерного приложения доказал удобство применения языка Python для реализации алгоритмов научных расчётов. Расчёт точек и характеристик цикла Ренкина, выполненный с помощью программы в сравнении с примером, описанным в статье [5], показал полное соответствие полученных результатов.

Следует отметить уникальную возможность использования модуля CoolProp при

нахождении физических и термодинамических свойств веществ, и, пожалуй, нет больше ни одного свободно распространяемого программного обеспечения, реализующего в полной мере эту возможность.

Основное предназначение разработанной программы видится в оптимизации цикла паротурбинной установки с целью получения наибольшей её эффективности при дальнейшей детальной разработке.

Заключение

Таким образом, в рамках описанной работы с использованием приведённого в литературе алгоритма расчёта цикла Ренкина разработана программа на языке Python с использованием дополнительных программных модулей, позволяющая решить следующие задачи:

– построить цикл существующей паротурбинной установки с указанием точек начала и окончания протекания всех термодинамических процессов;

– подобрать характеристики разрабатываемого цикла Ренкина с целью получения наивысшей экономичности паросиловой установки;

– использовать программу для наглядной демонстрации взаимного влияния исходных факторов и результирующих характеристик цикла.

С использованием разработанной программы можно производить как проверку характеристик уже используемой установки при каком-либо изменении исходных параметров, так и проектировать новые паротурбинные установки, работающие по циклу Ренкина. Такая автоматизация процесса проектирования приведёт к повышению надёжности и эффективности работы ПТУ [10]. Также данную программу можно рекомендовать использовать для обучения студентов, персонала тепловых станций основам протекания термодинамических процессов и как иллюстрацию применения

языка Python в создании научно ориентированных приложений.

Список литературы

1. Полина И.Н., Ефимова С.Г. Техническая термодинамика: учебное пособие для студентов направления бакалавриата «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Промышленная теплоэнергетика») всех форм обучения. Сыктывкар: СЛИ, 2014. 186 с.

2. Семенов Ю.П. Теплотехника: учебник. 2-е изд. М.: ИНФРА-М, 2019. 400 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://znanium.com/catalog/product/1014755> (дата обращения: 29.04.2020).

3. Кочетков А.В., Федотов П.В. Фазовая диаграмма воды // Интернет-журнал «Науковедение». 2016. Т. 8. № 4 [Электронный ресурс]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/38TVN416.pdf> (дата обращения: 29.04.2020).

4. Константинов Г.Г., Ахмедов С.Б. Автоматизация проектирования турбогенераторов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019. Т. 23. № 6 (149). С. 1126–1135.

5. Смирнов Ю.А. Анализ цикла Ренкина с учетом необратимых потерь: Метод. указания. СПб.: Гос. техн. ун-т, 1999. 18 с.

6. Coolprop. IF97 Steam/Water Properties. [Электронный ресурс]. URL: http://www.coolprop.org/fluid_properties/IF97.html (дата обращения: 29.04.2020).

7. Хайбрахманов С.А. Основы научных расчётов на языке программирования Python: учебное пособие. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2019. 96 с.

8. Сысоева М.В., Сысоев И.В. Программирование для «нормальных» с нуля на языке Python. Учебник. В 2 ч. Ч. 1. М.: ООО «МАКС Пресс», 2018. 176 с.

9. Ромашова О.Ю. Методы оптимизации и расчеты на ЭВМ технико-экономических задач: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. 210 с.

10. Константинов Г.Г., Ахмедов С.Б. Автоматизация проектирования турбогенераторов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019. Т. 23. № 6 (149). С. 1126–1135.

УДК 551.46.09

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОИСКА И РЕСУРСНОЙ ОЦЕНКИ МОРСКИХ ГАЗОГИДРАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Лискин В.А., Егоров А.В., Тихонова Н.Ф.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: nrk@ocean.ru

Объектом исследований являются специальные гидрохимические измерительные средства, необходимые для разведки, поиска и исследований газогидратных месторождений на морском дне. Разработан комплекс технических средств, предназначенный для поиска и обследования регионов нахождения морских газогидратных месторождений, оценок интенсивности потоков вещества, связанных с наличием газогидратов, а также для исследований аномалий содержания метана в морских осадках. Разработан и включен в состав комплекса блок гидрохимической аппаратуры, выполняющий функции измерений интенсивности метановых потоков и других газообразных углеводородов из донных осадков. Разработаны микрокомпьютерные и схмотехнические средства, обеспечивающие управление и реализующие алгоритмы работы управляющего контроллера. Выполнена разработка и оснащение комплекса оборудованием, обеспечивающим безопасность операций постановки комплекса на дно и его снятия. В результате, с помощью представляемого комплекса технических средств, стало возможным измерение величин восходящих со дна потоков метана, причем независимо от формы метана (растворенного или в виде пузырьков). Помимо потока метана, подводный телеуправляемый комплекс позволяет проводить исследования потоков других химических соединений, таких как сульфаты или хлор, для чего комплекс снабжается геологическими пробоотборниками. Выполнены промежуточные испытания аппаратно-программных элементов комплекса. Прорабатываются необходимые средства, относящиеся к вспомогательному оборудованию, а именно подсистемы навигации, подводного позиционирования и гидролокационного поиска, а также гидроакустические и космические средства общесудового и специального назначения. В результате проведенных исследований и разработок созданы специальные технические средства, в том числе телеуправляемый комплекс для обнаружения и исследования газовых гидратов на морском дне.

Ключевые слова: гидрохимическая аппаратура, телеуправляемый комплекс, газовые гидраты, аномалии, метан

HYDROCHEMICAL MEASURING MEANS DESIGN FOR MARINE GAS-HYDROGEN DEPOSITS SEARCH AND RESERVES ESTIMATION

Liskin V.A., Egorov A.V., Tikhonova N.F.

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru

The object of research is special hydrochemical measuring tools necessary for the exploration, search and research of gas hydrate deposits on the seabed. A set of technical means has been developed for searching and examining regions where marine gas hydrate deposits are located, estimating the intensity of substance flows associated with the presence of gas hydrates, and also for studying anomalies in the methane content in marine sediments. A block of hydrochemical equipment was developed and included in the complex, which performs the functions of measuring the intensity of methane flows and other gaseous hydrocarbons from bottom sediments. Microcomputer and circuitry tools have been developed that provide control and implement the operating algorithms of the control controller. The development and equipping of the complex with equipment ensuring the safety of operations of setting the complex to the bottom and removing it has been completed. As a result, using the presented complex of technical means, it became possible to measure the values of methane ascending from the bottom, regardless of the form of methane (dissolved or in the form of bubbles). In addition to the methane stream, the underwater remote-controlled complex allows the study of flows of other chemical compounds, such as sulfate or chlorine, for which the complex is equipped with geological samplers. Intermediate tests of the hardware-software elements of the complex are carried out. The necessary tools are being worked out related to auxiliary equipment, namely the subsystems of navigation, underwater positioning and sonar search, as well as sonar and space means for general and special purposes. As a result of the research and development, special technical equipment was created, as well as an underwater, remote-controlled complex for the detection and study of gas hydrates on the seabed.

Keywords: hydrochemical equipment, remote control complex, gas hydrates, anomalies, methane

Рассмотрено создание гидрохимических измерительных средств, включаемых в состав анализируемого ниже подводного телеуправляемого комплекса. Комплекс и входящая в его состав измерительная аппаратура по своей специфике являются средствами для проведения геохимических исследований в морской среде и предназначены в том числе для обнаружения и оценки ресурсов морских газогидратных

месторождений. Другим важным назначением комплекса является проведение измерений потока химических элементов через поверхность раздела вода – дно. Так как образование и существование газовых гидратов обусловлено наличием восходящего потока метана, то предлагаемый комплекс аппаратуры является одним из инструментов исследований названных процессов. Выполнено исследование методов и осо-

бенностей измерения гидрохимических параметров придонного слоя воды и донных осадков, для чего комплекс оборудуется соответствующими датчиками. Другой особенностью исследований является возможность получения характеристик придонных вод в автоматическом режиме в течение продолжительного времени на достаточно больших глубинах. Для этих целей в состав комплекса включены приспособления для отбора проб воды и донных осадков через интервалы времени, предусмотренные программой экспериментов.

Назначение и область применения

Подводный телеуправляемый комплекс предназначен, прежде всего, для обнаружения и исследований газогидратных проявлений на морском дне, для измерения величин восходящего потока метана, как растворенного в морской воде, так и в виде пузырьков. Кроме того, комплекс позволяет измерять потоки таких химических соединений, как хлор или сульфат. Все эти потоки связаны с восходящей фильтрацией глубинных вод. По величинам потока основных ионов может быть рассчитана скорость восходящей фильтрации, но для этого необходимо определение концентрации ионов в фильтрующейся жидкости. Для определения требуемой концентрации ионов необходимо проводить отборы проб осадка в месте постановки блока специализированной аппаратуры, а непосредственное взятие этих проб осуществляется геологическим пробоотборником. Кроме того, проводятся вспомогательные измерения теплового потока (термоградиента) в осадках и визуальные наблюдения в случае наличия пузырьковой разгрузки метана со дна. Также необходимо вести получение данных по временной изменчивости этих параметров, что крайне важно для оценки возможных ресурсов газогидратов в районах проводимых исследований. Подводный телеуправляемый комплекс осуществляет постановку блока гидрохимической аппаратуры на дно и активацию его в рабочий режим на определенное время (время экспозиции). В течение этого времени в непрерывном режиме (скважность 1–2 мин) определяется величина и направление скорости течения и температура внешней воды, содержание кислорода в придонной воде в рабочем и фоновом боксах. Вся эта информация записывается в цифровую память микрокомпьютера бортового блока, откуда в дальнейшем считывается в компьютеры судового центра обработки. Через заданный интервал времени блоки автоматического пробоотбора постановочного блока производят отбор порций

воды из рабочего и фоновых боксов. За счет обмена химическими элементами и процессов, происходящих в самой воде, концентрации их в объеме боксов изменяются. По этим изменениям определяются потоки через поверхность раздела вода – дно.

Гидрохимические боксы

В состав подводного телеуправляемого комплекса включаются блоки гидрохимической аппаратуры, предназначенные для проведения исследований процессов массообмена химическими элементами через поверхность раздела вода – дно. Важнейшим элементом блока гидрохимической аппаратуры является бокс, а точнее, целый ряд боксов, при постановке на дно заглубляющихся своими краями в грунт (кроме фоновых) и ограждающих от окружающей водной среды стенками объем воды с частью дна. Расчеты потоков обмена элементами через дно проводятся на основании измеренных изменений концентраций веществ в объеме боксов. При этом необходимо проводить постоянное перемешивание воды в боксе с целью уменьшения погрешностей измерений. Перечислим основные боксы в соответствии с выполняемыми функциями: рабочий бокс, фоновый бокс, гидрохиноновый (бокс турбулизации). Существенной частью создаваемого комплекса, является упомянутый выше рабочий бокс, снабженный устройством для перемешивания воды. Кроме того, в состав комплекса включается блок автоматического пробоотбора морской воды и фотометрические датчики кислорода с устройствами накопления данных. Отдельно выполнен прочный герметичный корпус для блока питания, электрических кабелей с герметичными разъемами и комплекса аппаратуры управляющего микропроцессорного контроллера. Там же размещается блок технических средств, несущих вспомогательные функции, среди них отметим: фоновый бокс, гидрохиноновый бокс, кассеты с гидрохиноновыми таблетками, Вспомогательный гидрохиноновый бокс применяется для пересчета результатов измерений в закрытой системе бокса на открытую систему морской воды [1–3].

Рабочий бокс

Для исследований газогидратных проявлений проводится изоляция некоторого объема воды и контактирующего с ним участка дна, посредством специального рабочего бокса. Для правильного функционирования рабочего бокса используется подсистема принудительной промывки рабочего объема бокса, вслед за постановкой на грунт. Имитация в боксе специфической

гидродинамики придонного слоя осуществляется принудительным перемешиванием воды, а измерения концентраций элементов в боксе осуществляются периодически. Для этого ведется отбор проб воды из бокса, что компенсируется таким же объемом внешней воды. В процессе заданной экспозиции на дне, содержание растворенных элементов в замкнутом объеме бокса изменяется и используется для расчета потоков этих элементов через поверхность раздела вода – осадок. Необходимая для последующего комплексного анализа концентрация кислорода в боксе измеряется посредством чувствительного датчика непрерывно действия.

Фоновый бокс

Вычленение биохимических и гидрохимических преобразований, идущих в замкнутом объеме воды, проводится с помощью не имеющего открытого контакта с дном фонового бокса, в отличие от контактирующего с участком дна открытого рабочего бокса. Внутренний объем рабочего бокса контактирует с поверхностью дна, а в фоновом боксе между дном и внутренним объемом должна стоять непроницаемая перегородка. Начальный же состав воды в фоновом и рабочем боксах одинаков. Процедура отбора проб, перемешивающее устройство, датчики и другие вспомогательные устройства в обоих боксах также одинаковы. Изменения концентраций элементов после постановки на грунт, в объеме фонового бокса, будут определяться только процессами в воде (влияние дна исключено). Так как процессы в воде для фонового и рабочего боксов одинаковы, мы можем вычлесть из изменений концентраций в рабочем боксе изменения в фоновом боксе. Разница концентраций будет определяться исключительно процессами обмена через границу раздела вода – осадок. Заметим, что в фоновом боксе имеется закрывающееся специальное нижнее промывочное отверстие, через которое бокс заполняется водой в процессе опускания комплекса и которое закрывается на дне, а рабочий бокс вообще не имеет дна.

Гидрохиноновый бокс

Контроль степени перемешивания (турбулизации) воды внутри боксов осуществляется с помощью специального гидрохинонового бокса. Отметим, что внутренний объем всех трех боксов – рабочего, фонового и гидрохинонового – одинаков, как и системы перемешивания одинаковы. Оценка степени турбулизации осуществляется по скорости растворения гидрохинона (спе-

циального слабо растворимого вещества), заполняющего специальные гидрохиноновые площадки. Изменяя степень турбулизации, можно управлять толщиной диффузионного подслоя – тонкого слоя воды вблизи твердой поверхности, с которой, в свою очередь, связаны скорости растворений. В предлагаемой конструкции гидрохинонового бокса степень турбулизации может меняться за счет соответствующих изменений в размерах площади лопастей мешалок. Как показали опыты, скорость растворения гидрохинона прямо пропорциональна площади лопастей и может изменяться в 4–5 раз [4–6].

Подсистема управления

Подсистема выполняет управление автоматической системой пробоотбора, закрытием и открытием промывочных отверстий в верхних крышках рабочего и фонового боксов, обеспечивает питание перемешивающих устройств стабилизированным по напряжению постоянным током. Конструктивно подсистема состоит из прочного корпуса, блока питания, управляющего микропроцессорного контроллера, внутренних коммуникационных проводов и разъемов, необходимых для программирования работы подводного телеуправляемого комплекса, а также из внешних коммуникаций.

Основные характеристики подсистемы управления:

- оптимизированы весогабаритные параметры;
- обладает функциональной гибкостью;
- имеет большой запас рабочей глубины (3000 м);
- легко собирается и разбирается;
- удобно крепится на станции.

Разработаны и изготовлены коммутационные соединения блока гидрохимической аппаратуры. В них использованы удобные для использования в морских условиях разъемы, позволяющие соединять их без предварительной просушки. Была полностью обеспечена потребность коммутаций элементов комплекса, заключающаяся в двух типах специальных разъемов и, соответственно, двух типов кабелей. Блочные части разъемов герметично устанавливались на коммутируемых блоках, а съемные были объединены в две подсистемы в зависимости от типа кабеля.

Модернизация

вспомогательных подсистем

Осуществлено обоснование и разработка функциональных схем электрической части гидрохимического блока, включающих: интерфейсы подключения электрохимиче-

ских измерителей концентраций кислорода в морской воде и величины pH, а также ранее разработанного гидрофизического модуля. Разработан специальный аппаратный интерфейс для гидроакустического канала связи и системы измерения, считывания и передачи электрических сигналов с датчиков. Модернизирована подсистема сбора и накопления информации; подсистема программного и операционного обеспечения работы отдельных устройств станции (работа моторов, шприцев и т.д.). Усовершенствован блок пробоотборников гидрохимического модуля с шаговым приводом исполнительного механизма. Проведены лабораторные испытания всех устройств, блоков и подсистем гидрохимического модуля. В ближайшей перспективе предполагается оснащение комплекса гидроакустической связью для дистанционного считывания информации и передачи команд управления. Предполагается использование корреляционного метода передачи гидроакустических сигналов. Ведется разработка комплекса программ, в которые входят: пакеты моделирования многолучевости и доплеровских смещений, программ обнаружения передаваемой информации, программ генерации излучаемых сигналов.

Механическая модернизация

Проведена модернизация ранее разработанных функциональных узлов и состава механической части комплекса, включающей: опускаемую с судна на морское дно на тросе или в свободном падении несущую металлическую раму с установленными на ней специальными камерами. Для отбора проб придонной воды из боксов устанавливается набор специальных шприцев, а также гидрохиноновый блок – комплекс, позволяющий корректировать разницу в гидродинамике внутри боксов и снаружи, а перемешивание воды в боксах, имитирующих придонную гидродинамику, осуществляется управляемыми моторами. Кроме того, комплекс оборудуется механической подсистемой для отбора донных осадков из-под боксов, после окончания эксперимента.

Реализация плавной постановки на дно

При постановке комплекса на дно происходят определенные нарушения донной поверхности, которые могут повлиять на интенсивность обменных процессов между водой и осадком. Это нарушение неразрывности слоя осадков происходит под воздействием внедряемых в осадок краев бокса. При внедрении краев бокса в осадок возможно добиться уменьшения нежелатель-

ных краевых эффектов, для чего края бокса должны быть достаточно тонкими, а размер дна, ограниченный стенками бокса, достаточно большим. Внедрение в осадок должно быть плавным, без ударных нагрузок, нарушающих структуру поверхности осадка. Для донных комплексов были разработаны разнообразные системы плавной постановки на дно. Возможно использование систем, снабженных водяными парашютами. Но наиболее распространенными остаются системы, в которых плавность постановки достигается в два этапа. Первый этап – это установка на дно внешней рамы комплекса. Далее, плавно опускается на дно весь комплекс аппаратуры, включая специальную гидрохимическую аппаратуру. Была проведена проработка техники отдачи балласта гидрохимическим блоком подводного телеуправляемого комплекса. Результатом этого явилась разработка варианта конструкции на базе унифицированных размыкателей троса. Предложенная система отдачи балласта должна обеспечивать всплытие рамной конструкции гидрохимического блока по окончании инкубации на дне. Установленная положительная плавучесть соответствует 50 кг (без балласта). Два гидроакустических размыкающих устройства дублируются размыкающим устройством с пережиганием. Рабочая глубина системы отдачи балласта рассчитана на 2000 м, дальность действия системы гидроакустического управления всплытием – 3000 м, автономность – 30 суток, период управления всплытием по таймеру регулируется в пределах 30 суток с дискретностью одни сутки. Предусмотрено наличие гидроакустической связи после срабатывания механизмов размыкания (масса одного размыкающего элемента не превышает 15 кг) [7–9].

Заключение

Проведено исследование задач, особенностей и методов измерения гидрохимических параметров придонного слоя воды и донных осадков. Сложность проблемы заключается в получении характеристик *in situ* в течение продолжительного времени в автоматическом режиме на достаточно больших глубинах. Для этих целей подводный телеуправляемый комплекс оборудуется датчиками химических параметров и приспособлениями для отбора проб воды и донных осадков в предусмотренные программой экспериментов интервалы времени. Выполнено обоснование функциональной схемы механической части комплекса. Она включает: несущую металлическую раму с установленными на ней камерами, которая опускается с судна на морское дно

на тресе или в свободном падении (тонкая балансировка механической конструкции, возможен парашют); моторы для перемешивания воды в боксах, имитирующие придонную гидродинамику; блок шприцев для отбора проб придонной воды из боксов; гидрохиноновый блок – систему позволяющую корректировать разницу в гидродинамике внутри боксов и снаружи; систему спуска – подъема; устройство для отбора донных осадков из-под боксов после окончания эксперимента. Выполнена разработка и изготовление конструктивных и функциональных элементов опытного образца подводного телеуправляемого комплекса, включая специализированную гидрохимическую аппаратуру для исследования газовых гидратов. Предварительно выполнены конструктивные проработки и макетирование разрабатываемой аппаратуры, а также промежуточные испытания элементов комплекса. Был предложен и отработан комплекс специальных средств, в числе которых отметим: подсистему гидролокационного поиска, гидроакустические средства связи, подводного позиционирования и навигации, средства общесудового и специального назначения, в том числе космические. С помощью этих средств предварительно проводится обследование акваторий для последующих постановок исследовательской аппаратуры. Управление всплываем подводного телеуправляемого комплекса обеспечивается набором специальных акустических подсистем. В дальнейшем предполагается оснастить комплекс независимыми системами отдачи балласта, обеспечивающими всплытие.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН на 2020 г. (тема

№ 0149-2020-0011) при поддержке РФФИ (проект № 20-05-00384_А и проект № 18-05-60070 «Арктика»).

Список литературы

1. Rozhkov A., Egorov A. One-dimensional model of gas hydrate formation in underwater mud volcanoes, 10th International Conference on Gas in Marine Sediments, 6–12 September, 2010, Limnological Institute SB RAS, Listvyanka (Lake Baikal), Russia, ASTRACKS, P. 138–140.
2. Зимин А.В. Короткопериодная изменчивость гидрофизических полей и характеристик внутреннего волнения в течение полусуточного приливного цикла в шельфовых районах Белого моря // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 3. С. 293–303.
3. Черников А.Г., Либина Н.В. Новый способ дистанционного прогнозирования и 3D моделирования геологических и гидрологических структур морских акваторий на основе нелинейной марковской статистики // *Морские исследования и образование: материалы II международной научно-практической конференции (Москва, 28–30 октября 2013 г.)*. М., 2013. С. 123–126.
4. Бабий В.И., Бабий М.В., Родионов А.А. Показатели качества измерений гидрофизических полей океана // *Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XIV Международной научно-технической конференции «МСОИ-2015»*. Т. 1. М., 2015. С. 48–53.
5. Лискин В.А., Егоров А.В., Лежнин В.А. Подход к разработке и созданию модифицируемых донных станций // *Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2013»* – Т. 2. М., 2013. С. 288–289.
6. Смирнов Г.В., Аистов Е.А., Оленин А.Л. Многоканальный гидролого-оптико-химический комплекс // *Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011»*. Т. 1. М., 2011. С. 104–106.
7. Kudryavtsev V., Kozlov I., Chapron B., Johannessen J.A. Quad-polarization SAR features of ocean currents. *J. Geophys. Res. Oceans*. 2014. 119 p. DOI: 10.1002/2014JC010173.
8. Лобковский Л.И., Ковачев С.А. Система геодинамического мониторинга морской нефтегазодобычи на шельфе на примере морского нефтегазового месторождения имени Ю. Корчагина // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2010. № 11. С. 11–14.