

УДК 331.464 + 316.628

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Республика Беларусь*

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ**



Международная научно-техническая конференция  
**МОНИТОРИНГ ТЕХНОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**  
**2019**

*МИНСК 2020*

Е.Н. ЗАЦЕПИН, С.В. ДРОБОТ 3 РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ .....	3
А.Д. АРДЯКО, А.Ю. ШАМЫНА8 СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В СИСТЕМАХ СКВОЗНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ. 8	8
А.В. СЕНЬКО15 ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ IoT ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ .....	15
Н.А. ИСКРА23 ПОДХОД К АНАЛИЗУ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА .....	23
Т.А.РАДИШЕВСКАЯ <sup>1</sup> , Д.В.РАДИШЕВСКИЙ <sup>2</sup> 33 НЕЙРО-НЕЧЕТКИЙ КЛАССИФИКАТОР ПРЕДАВАРИЙНЫХ СОСТОЯНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ НА ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТАХ.....	33
С. Б. САЛОМАТИН <sup>4</sup> 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ СЕНСОРНОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ КОДОВЫХ РЕШЕТОК .....	42
В.В. ФОМЕНКО <sup>4</sup> 7 МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСТАЛОСТИ ВОДИТЕЛЯ ЗА РУЛЕМ .....	47
А.Ю. ШАМЫНА, А.Д. АРДЯКО, А.К. ЛАБОХА <sup>5</sup> 1 МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ .....	51
А.К. ЛАБОХА, А.Ю. ШАМЫНА <sup>5</sup> 9 ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ И ВРЕМЕННЫМИ ЗАТРАТАМИ ПРИ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПО МЕТОДУ ОБРАТНЫХ ВЗВЕШЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ .....	59
Э.Г. ЧУРЛЕЙ, Т.В. КУЗЬМЕНКО, Т.С. БАЛАКИРЕВА <sup>6</sup> 5 ОТНОШЕНИЕ СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ К ПОДДЕЛЬНЫМ НОВОСТЯМ:СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	65
А.Ю. ЯЦКЕВИЧ, И.Г. ШУПЕЙКО <sup>7</sup> 3 МОДЕЛИ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ КАК КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ ОСНОВА МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....	73
Р.А. ШАКУН <sup>8</sup> 1 ШУМОПОДАВЛЕНИЕ НА ИЗОБРАЖЕНИИ С ПОМОЩЬЮ FFDNet.....	81

Е.Н. ЗАЦЕПИН, С.В. ДРОБОТ

## РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию*

**Аннотация.** В работе предложена усовершенствованная система радиационного мониторинга окружающей среды, которая использует современные «облачные» технологии. Рассмотрены особенности построения системы радиационного мониторинга окружающей среды с учетом географических, почвенных, рельефных и ландшафтных особенностей местности.

*Ключевые слова:* радиационный контроль, мобильное дозиметрическое устройство, атомная электростанция, «облачные» технологии, районирование территорий.

**Abstract.** The work proposes an improved system of environment radiation monitoring, which uses modern "cloud" technology. The features of constructing a system of environment radiation monitoring taking into account the geographical, soil, relief and landscape features of the area are considered.

*Keywords:* radiation monitoring, mobile dosimetry device, nuclear power plant, "cloud" technologies, zoning of territories.

**Doklady BGUIR. 201\***, Vol. \*\*\*, No. \*, pp. \*\*-\*\*

**Environment radiation monitoring**

**E.N. Zatsepin, S.V. Drobot**

### Введение

Важнейшей задачей Государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуации Республики Беларусь является обеспечение ядерной, радиационной и экологической безопасности страны, которая может быть эффективно решена, в случае решения другой важной задачи – мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций на ядерно- и радиационно-опасных объектах [1]. При этом потенциальную угрозу могут представлять: организации использующие радиоактивные источники; две действующие, близкорасположенные к границам страны атомные электростанции (АЭС) – Ровенская и Смоленская; остановленная и находящаяся на стадии вывода из эксплуатации Игналинская АЭС; Чернобыльская АЭС с остановленными энергоблоками 1-3 и аварийным энергоблоком 4, последствия аварии на котором локализованы «саркофагом», построенным в 1986 г. и новой конструкцией «Укрытие-2», введенной в эксплуатацию в 2019 г. Кроме того, после ввода в эксплуатацию появится еще один потенциально-опасный объект уже на территории страны – Белорусская АЭС.

Все перечисленные объекты при соблюдении нормальных условий эксплуатации являются безопасными. Однако при нарушении условий хранения и эксплуатации радиоактивных источников или при возникновении аварийных ситуаций на АЭС может произойти выброс радиоактивных веществ в окружающую среду.

В работе предложена усовершенствованная система радиационного мониторинга окружающей среды, которая использует современные «облачные» технологии.

### **Существующие подходы к построению системы радиационного мониторинга окружающей среды**

Существующая в Республике Беларусь система радиационного мониторинга окружающей среды включает следующие элементы: автоматизированные системы контроля радиационной обстановки вблизи размещения Белорусской АЭС и в зонах влияния перечисленных выше АЭС сопредельных государств, а также пункты наблюдения на территории страны, в которых осуществляется измерение мощности дозы гамма-излучения, выполняется отбор проб радиоактивных выпадений из приземного слоя атмосферы и отбор проб радиоактивных аэрозолей.

Традиционно автоматизированная система контроля радиационной обстановки вокруг АЭС представляет собой регулярную сеть пробоотборов, расположенных в узлах пересечения восьми основных румбов (направлений) с концентрическими кругами, радиус которых обратно пропорционален плотности радиоактивного загрязнения, поступающего с АЭС. Такой «регулярный» способ построения системы имеет ряд недостатков, поскольку при этом некоторые территории оказываются не охваченными наблюдением, не учитывается рельеф местности и низкие плотности выпадения радиоактивных осадков, поступающих с АЭС при нормальной работе [2]. Более совершенной является система контроля радиационной обстановки, в которой заложен принцип районирования территории вокруг АЭС путем оценки содержания радионуклидов в элементах ландшафта, выделяемых по объективным признакам. Для этого в 30 км зоне изучаются почвенные, рельефные и ландшафтные структуры, демографические характеристики и проводится районирование зоны наблюдения АЭС по объективно сходным физико-географическим свойствам местности.

На остальной части территории Республики Беларусь экологическое районирование подразделяется на ландшафтно-географическое, природно-хозяйственное, эколого-экономическое районирования [3-5]. Для целей эффективного ведения аграрного производства выделяется почвенно-радиологическое, почвенно-экологическое, почвенно-генетическое и почвенно-технологическое, агроландшафтное районирование [4, 5]. При разработке государственных программ по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС большой практический интерес представляет почвенно-радиологическое районирование, при котором территория радиоактивного загрязнения и ее почвенный покров рассматриваются как целостная экологическая система [5].

Для сельского хозяйства особый интерес представляют почвенно-географическое районирование и природно-сельскохозяйственное районирование территории, которые наиболее полно отражает особенности природной среды отдельных областей и районов на основе учета климатических и ландшафтных условий, характера почвенного покрова. В связи с чем выделено 3 почвенные провинции – северная, центральная и южная (полесская), 7 – почвенно-климатических округов, 20 – агропочвенных районов, 3 природно-сельскохозяйственные провинции (Северная, Центральная, Южная), 9 округов и 73 природно-сельскохозяйственных районов [3, 4].

Учитывая большой территориальный разброс областей, районов, округов и значительное расстояние между точками контроля, радиационный мониторинг необходимо проводить не только вблизи АЭС, но и по всей территории Республики

Беларусь с учетом принципа районирования территорий, когда для объективной оценки радиоактивного загрязнения учитываются почвенные, рельефные и ландшафтные особенности местности и имеющийся на территории состав радиоактивных элементов.

Реальные трудности, связанные с обеспечением сохранности и недоступности оборудования для посторонних лиц привели к различным подходам в организации радиационного мониторинга. Один из них – мобильный мониторинг на заранее спланированных маршрутах следования, другой – полностью автоматизированный дистанционный стационарный мониторинг.

### **Системы безопасности и радиационная обстановка вблизи АЭС**

На АЭС возможны нарушения режимов нормальной эксплуатации и возникновение аварийных ситуаций с выходом радиоактивных веществ за пределы АЭС. Это представляет потенциальный риск для персонала АЭС, населения и окружающей среды и требует принятия определенных технических и организационных мер, снижающих вероятность возникновения таких ситуаций до приемлемого минимума. В соответствии с нормативными документами санитарно-защитная зона (СЗЗ) АЭС – это территория вокруг АЭС, на границе которой уровень облучения людей в условиях нормальной эксплуатации станции может превысить установленный предел дозы облучения населения (1 мЗв/год). Обеспечение безопасности персонала АЭС, населения вокруг АЭС, а также предотвращение радиоактивного загрязнения окружающей среды является важной задачей [6]. При нормальной эксплуатации АЭС физические барьеры на пути распространения радиоактивных веществ в окружающую среду остаются неповрежденными, при этом радиоактивные элементы, образующиеся в топливе, оказываются локализованными и не представляют опасности. При аварии физические барьеры могут разрушаться и прекращают выполнять защитные функции, что повышает вероятность выхода радионуклидов в окружающую среду сверх установленных пределов. Для предотвращения аварии, облучения персонала и выброс радионуклидов во окружающую среду в состав АЭС включаются различные системы безопасности. Эти системы автоматически прекращают цепную реакцию деления или уменьшают ее до безопасного уровня, в случае если контролируемые физические параметры активной зоны реактора достигают граничных значений. В состав АЭС входят системы диагностики, а также автоматизированная система радиационного контроля, в том числе технологического, которые позволяют своевременно обнаружить повреждение каждого из имеющихся защитных барьеров. При этом осуществляется контроль состава теплоносителя первого контура, объемной активности аэрозолей, инертных газов, контроль мощности дозы и т.д.

### **Мобильное дозиметрическое устройство системы радиационного контроля**

Для построения системы радиационного мониторинга окружающей среды предлагается использовать современные инфокоммуникационные «облачные» технологии. Основой такой системы является портативное мобильное клиентское устройство, включающее дозиметр и смартфон, оборудованный приемником глобальной системы позиционирования (GPS) или приемником глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС). Под управлением специализированного прикладного программного обеспечения результаты измерения мощности дозы вместе с географическими координатами точки, в которой произведены измерения, будут передаваться смартфоном для обработки, хранения и накопления в серверную часть системы радиационного мониторинга окружающей

среды. Это обеспечивает высокую надёжность, поскольку информация, единожды сохранённая в «облаке», становится доступна всем, кто имеет доступ к общему сетевому ресурсу в соответствии с политикой используемого «облака». Также, благодаря «облачным» технологиям, обеспечивается высокая масштабируемость системы: возможность централизованного контроля позволяет наращивать количество абонентов-мобильных дозиметров и оперативно получать данные от них без ущерба производительности и качества сервиса. «Облачная» модель распространения и поддержки программного обеспечения предполагает использование различных программных приложений в режиме удаленного доступа. Суть этой модели заключается в максимальном переносе бизнес-логики и данных на сервер. При реализации этой модели все данные хранятся на сервере, вычисления проводятся на сервере, взаимодействие пользователей осуществляется посредством обмена данными через сервер. При этом на долю электронного устройства пользователя (компьютер, планшет, смартфон) остается только задача обеспечения связи с сервером и отображения информации. Таким образом достигается независимость предоставляемого функционала от конкретного устройства - на любом компьютере, планшете, смартфоне приложение может выглядеть одинаково, предоставлять одинаковый функционал и актуальные данные.

Существующая система радиационного мониторинга окружающей среды будет дополнена мобильными пунктами наблюдения, которые позволят осуществлять мониторинг в точках, отстоящих на значительные расстояния от стационарных пунктов наблюдения. Это позволит значительно расширить и уточнить данные для анализа радиационно-экологической обстановки.

Для мобильного радиационного контроля местности с использованием облачных технологий, может быть использован портативный дозиметр, который подключается к любому современному смартфону с соответствующим программным обеспечением. Принципиальная схема предложенного дозиметра показана на рисунке 1.

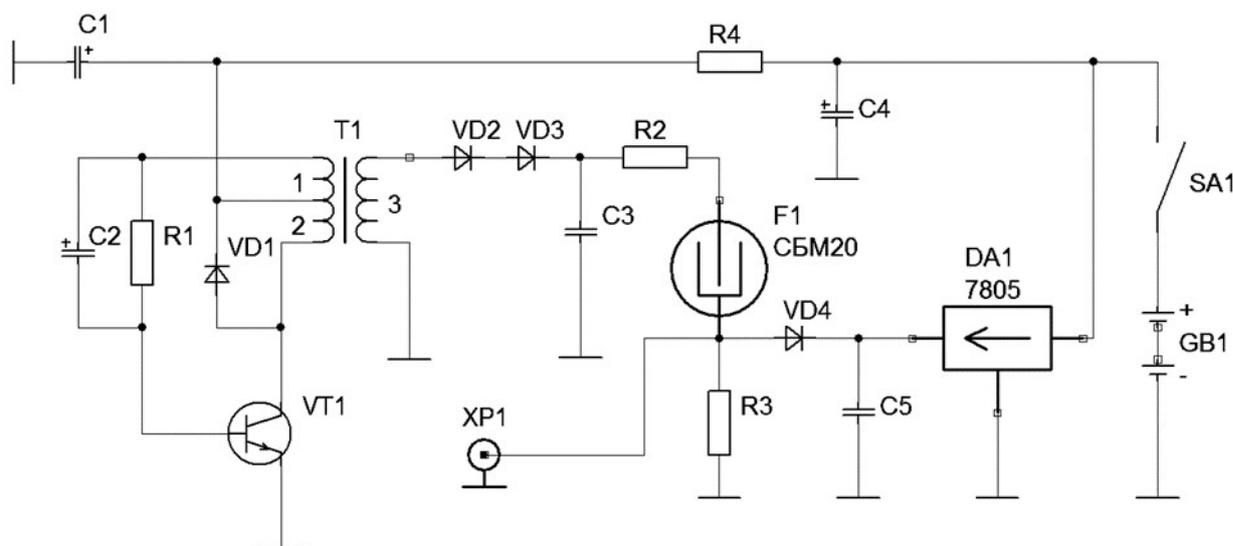


Рисунок 1 – Принципиальная схема дозиметра

Основной элемент дозиметра – газоразрядная трубка счётчика Гейгера-Мюллера F1. Для питания газоразрядной трубки CBM20 требуется постоянное напряжение 400 В, которое может быть получено с помощью повышающего трансформатора T1.

Переменное напряжение формируется генератором, собранном на транзисторе VT1, которое подается на первичную обмотку трансформатора T1. Со вторичной обмотки снимается импульсное напряжение амплитудой порядка 400 В, которое выпрямляется диодами VD2 и VD3 и подается на анод газоразрядной трубки F1. При воздействии ионизирующих частиц на газоразрядную трубку в ней происходит ионизация молекул и атомов газа и образование свободных электронов и протеканию импульсов тока. Это создает падение импульсного напряжения на резисторе R3, которое через разъем ХР1 подается на смартфон для подсчета частиц и пересчета этой величины в мощность дозы.

### Заключение

Рассмотрены особенности построения системы радиационного мониторинга окружающей среды с учетом географических, почвенных, рельефных и ландшафтных особенностей местности. Предложена усовершенствованная структура системы радиационного мониторинга окружающей среды, которая использует современные инфокоммуникационные «облачные» технологии, включая портативное мобильное клиентское устройство из дозиметра и смартфона, оборудованного GPS- или ГЛОНАСС-приемником, а также серверную часть, которая служит для обработки, хранения и накопления данных о радиационной обстановке.

### Список литературы

1. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Закон Республики Беларусь от 5 мая 1998 г. № 141–З // Ведамасці Нацыянальнага сходу Рэспублікі Беларусь, 1998, № 19. – С. 212.
2. Арлинская, А.М. Методология комплексного мониторинга на территории расположения АЭС / А.М. Арлинская // Радиационная безопасность и защита АЭС, вып.12, 1998. – С.168-176.
3. Качков, Ю.П. Природно-сельскохозяйственное районирование на современном этапе / Ю.П. Качков, О.Ф. Башкинцева, В.М. Яцухно // Земля Беларуси, 2006, № 1. – С. 15–20.
4. Лебедева, И.И. Почвенно-генетическое районирование: принципы, задачи, структура, приложение / И.И. Лебедева и др. // Почвоведение, 2012, № 7. – С. 715–72.
5. Цыбулько, Н.Н. Комплексная почвенно-радиологическая оценка и районирование территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь / Н.Н. Цыбулько // Сільськогосподарська та лісова радіологія – 30 років після Чорнобилю : Тези доповідей Міжнар. конф., Київ, 3 черв. 2016 р. Київ, 2016. – С. 27.
6. Зацепин, Е.Н. Основные принципы обеспечения безопасности Белорусской АЭС / Е.Н. Зацепин, С.В. Дробот // Известия НАНБ. Серия физико-технических наук. – № 1, 2015. – С. 118–122.

### References

1. O zaschite naselenia i territorii ot chrezvychainyh situacii prirodnogo i tehnogenogo haraktera. Zakon Respubliki Belarus ot 5 maia 1998 g. № 141–Z // Vedamasci Nacianalnaga Shodu Respubliki Belarus, 1998, № 19. – S. 212. (in Russ.)
2. Arlinskaia, A.M. Metodologia kompleksnogo monitoring na territorii raspologenia AES / A.M. Arlinskaia // Radiacionnaia bezopasnost i zaschita AES, vyp.12, 1998. – S.168-176. (in Russ.)

3. Kachkov, Y.P. Prirodno-selskohoziastvennoe raionirovanie na sovremennom etape / Y.P. Kachkov, O.F. Bashkinceva, V.M. Yacuhno // Zemlia Belarusi, 2006, № 1. – S. 15–20. (in Russ.)
4. Lebedeva, I.I. Pochvenno-geneticheskoe raionirovanie: principy, zadachi, struktura, prilozhenie / I.I. Lebedeva i dr. // Pochvovedenie, 2012, № 7. – S. 715–72. (in Russ.)
5. Tsybulko, N.N. Kompleksnaia pochvenno-radiologicheskaja ocenka i raionirovanie territorii radioaktivnogo zagriaznenia Respubliki Belarus / N.N. Tsybulko // Silskogospodarska ta lisova radiologija – 30 rokov pislia Chornobylu : Tezi dopovidei Mignar. konf., Kyiev, 3 cherv. 2016 r. Kyiv, 2016. – S. 27. (in Russ.)
6. Zatsepin, E.N. Osnovnye principy obespechenia bezopasnosti Belorusskoi AES / E.N. Zatsepin, S.V. Drobot // Izvestia NANB. Seria fiziko-tehnicheskikh nauk. – № 1, 2015. – S. 118–122.

#### **Сведения об авторах**

Зацепин Е.Н., канд.техн.наук, доцент, доцент кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Дробот С.В., канд.техн.наук, доцент, декан факультета инфокоммуникаций Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

#### **Information about the authors**

Zatsepin E.N., PhD, associate professor, associate professor of department of human engineering and ergonomics of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Drobot S.V., PhD, associate professor, dean of faculty of infocommunications of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

#### **Адрес для корреспонденции**

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, д. 6,  
Белорусский государственный  
университет информатики и  
радиоэлектроники  
тел. +375 17 293-23-87;  
e-mail: [ecolog@bsuir.by](mailto:ecolog@bsuir.by)  
Зацепин Евгений Николаевич

#### **Address for correspondence**

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovki st., 6,  
Belarusian State University of Informatics  
and Radioelectronics,  
tel. +375 17 293-23-87;  
e-mail: [ecolog@bsuir.by](mailto:ecolog@bsuir.by)  
Zatsepin Evgeni Nikolaevich.

**А.Д. АРДЯКО, А.Ю. ШАМЫНА**

### **СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В СИСТЕМАХ СКВОЗНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Республика Беларусь*

**Аннотация.** В статье рассматривается применение и сравнение цифровых моделей рельефа ASTER GDEM и SRTM для создания высокоскоростного API и пространственной базы данных, хранящей совмещенные геометрические модели рельефа местности, сформированные на базе моделей матриц высот.

*Ключевые слова:* модель рельефа, API, пространственная база данных.

**Abstract.** The article considered the use and comparison of digital terrain models ASTER GDEM and SRTM to create a high-speed API and spatial database that stores combined geometric terrain models formed on the basis of models of elevation matrixes.

*Keywords:* terrain models, API, spatial database.

## Введение

Исследования территорий, связанных с изучением объектов и явлений природы, выявлением структуры землепользования, ареалов нарушения, загрязнения и деградации природной среды, требуют наличия качественных цифровых моделей рельефа (ЦМР) местности, для формирования которых в большинстве случаев используются дистанционные методы зондирования Земли [1].

Из существующих программных решений по предоставлению данных высоты можно отметить сервис Open-Elevation [4], однако даже для выборки по одной координате сервис характеризуется большим временем отклика, что недопустимо в системах моделирования.

В связи с этим для обработки данных ДЗЗ целесообразно разработать отдельный микросервис с публичным API. Следуя тенденции использования свободно распространяемых геоинформационных ресурсов и программных продуктов с открытым исходным кодом, для создания высокоскоростного API и пространственной базы данных, хранящей совмещенные геометрические модели рельефа местности, сформированные на базе моделей матриц высот, предполагается использование уже существующих ЦМР и программных средств их обработки.

## Глобальные цифровые модели рельефа Земли

По данным различных космических аппаратов в настоящее время построены глобальные цифровые модели для всей поверхности Земли, наиболее известные из них SRTM и ASTER GDEM [3].

На точность построения рельефа оказывают влияние многие факторы: пространственное разрешение и геометрическое качество изображений, состояние атмосферы, масштаб карты, точность опорных точек и др. Кроме факторов, оказывающих влияние на точность и качество моделей рельефа, они характеризуются рядом других параметров: охват поверхности земного шара; формат и тип данных значений; специальное значение для областей, в которых значение высоты отсутствует; система координат; размер фрагмента, если цифровая модель рельефа разбита на фрагменты; доступность и условия использования [2].

Модель SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) имеет отклонения от государственной геодезической сети в пределах от -6 до +9 метров, при этом прослеживается зависимость положительных и отрицательных отклонений от покрытия территории древесно-кустарниковой растительностью, а именно: в лесных массивах расположен основной процент отрицательных отклонений, что свидетельствует о некачественной корректировке DEM за высоту древесного покрова.

В то же время, на открытых участках местности DEM имеет положительные отклонения в 3 – 4 метра.

Модель SRTM из официального источника имеет дыры в данных и требует интерполяции для дальнейшего использования.

Для создания ЦМР ASTER GDEM использовалась автоматическая обработка всего архива данных ASTER, насчитывающего 1,5 млн. сцен. На сегодняшний день ASTER GDEM считается лучшей глобальной подобной моделью высокого пространственного разрешения.

Особенностью Aster GDEM является ее высокое пространственное разрешение (25×25 м). Распределение погрешностей по закону Гаусса в сравнении с экспозиционным распределением склонов во смещении плановой привязки модели (Y-направление) [1].

### **Сравнение моделей рельефа**

Сравнение цифровых моделей рельефа ASTER GDEM и SRTM выполнено на примере выборки значений в районе размещения БелАЭС с помощью Profile Tools в Qgis (рис. 1 и рис. 2). В виду того, что в модели SRTM имеются дыры в данных, для получения более адекватной модели применен фильтр гауссового размытия.

Данные SRTM3 доступны с размером ячейки 90х90 м, а ASTER GDEM имеет размер ячейки 30х30м [3].

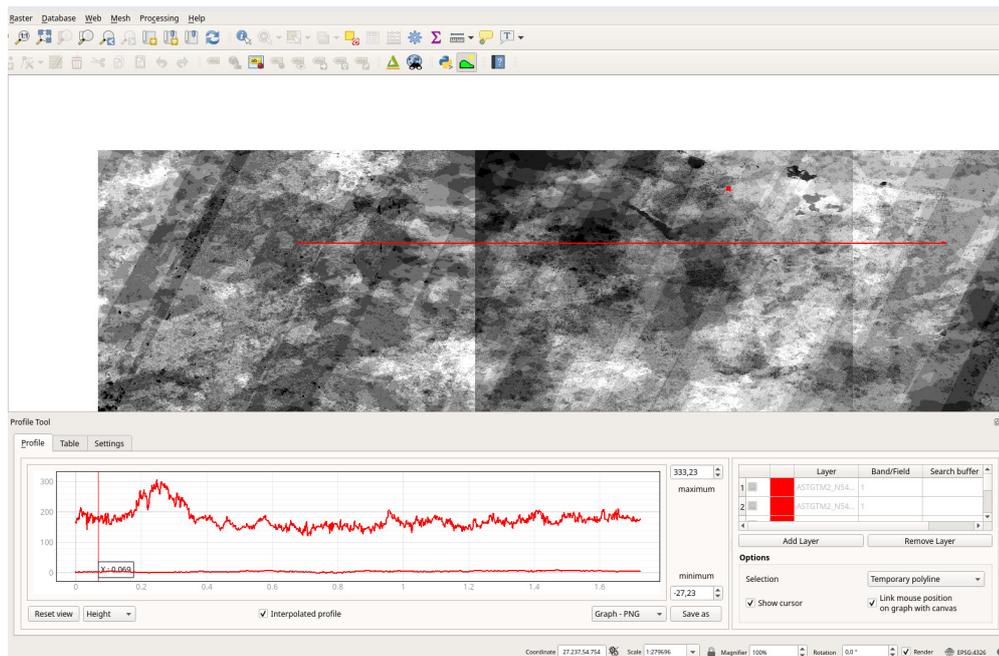


Рис. 1 – Пример выборки с помощью Profile Tools в Qgis из данных поверхности рельефа ASTER GDEM в районе БелАЭС

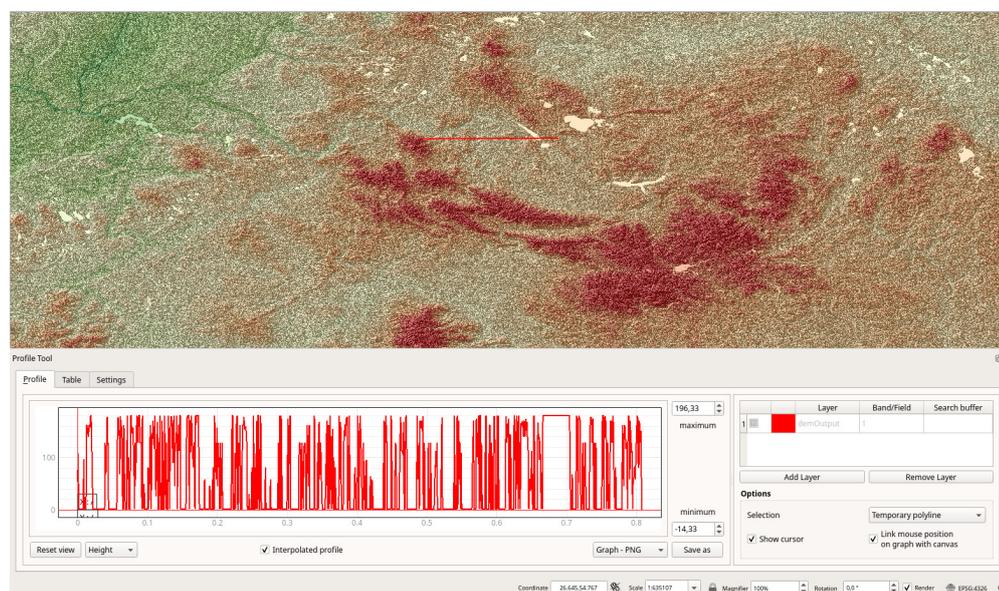


Рис. 2 – Пример выборки с помощью Profile Tools в Qgis из данных поверхности рельефа SRTM в районе БелАЭС

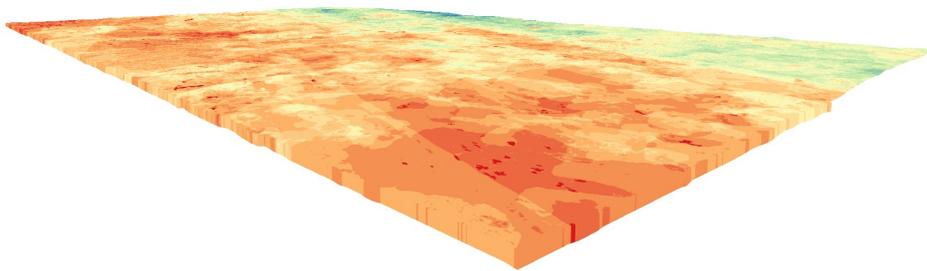


Рис. 3 – Построение 3d карты высот с помощью Qgis из данных поверхности рельефа ASTER GDEM в районе БелАЭС



Рис. 4 – Пример выборки с помощью Profile Tools в Qgis из данных поверхности рельефа SRTM с применением фильтра гауссового размытия

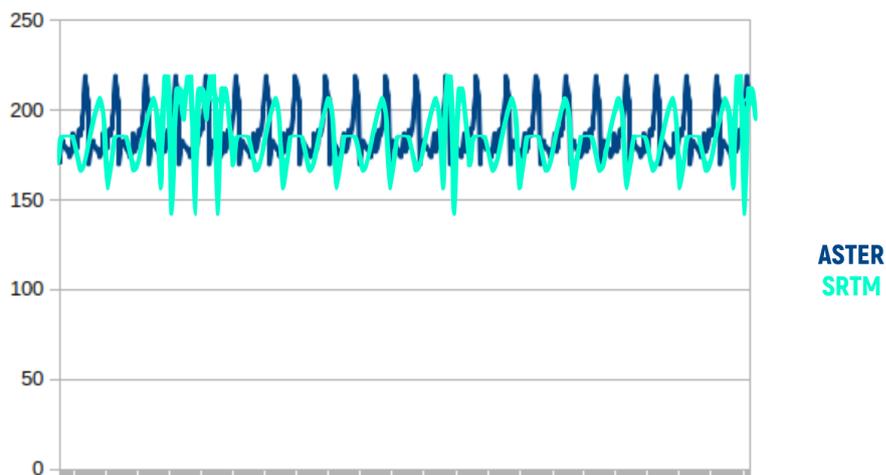


Рис. 5 – Пример выборки из пространственных таблиц, содержащих данные ASTER и SRTM по координатам (54.755972 26.091805), (54.755972 26.101805).  
Расстояние 0.7км.

На рисунке 5 представлена сравнительная выборка из пространственных таблиц, содержащих данные ASTER и SRTM по координатам (54.755972 26.091805), (54.755972 26.101805), расстояние 0.7км. Данные SRTM доступны с размером ячейки 90x90 м, а ASTER GDEM имеет размер ячейки 30x30м. В виду того, что в модели SRTM имеются дыры в данных, для получения более адекватной модели применена интерполяция. Конечные значения SRTM отличаются от ASTER GDEM и имеют меньшую точность и существенные дыры в данных.

### **Создание пространственной базы данных в PostgreSQL для хранения растров с использованием типа данных raster**

Для получения данных о рельефе по заданным координатам необходимо разделить растры на более мелкие области и разместить их в пространственной базе данных. Для генерации sql файла импорта в базу данных на основе пространственных растров используется консольная утилита raster2pgsql с указанием SRID и разрешения тайлов.

Для получения данных поверхности рельефа из базы данных используется запрос на пересечение точки, линии или полигона в зависимости от передаваемого параметра. Для представления растров в виде точечной геометрии используется функция ST\_PixelAsPoints. Для выполнения запроса на пересечение с заданными координатами используется функция ST\_Intersects.

Далее был разработан микросервис, реализовывающий интерфейс и API для работы с пространственной базой данных и позволяющий получать необходимые данные из модели рельефа по API.

Параметры запроса к API:

- долгота исходной точки (longitude);
- широта исходной точки.(latitude);
- длина отрезка (length);
- угол поворота отрезка(angle).

Разработанное API микросервиса позволяет получать данные о рельефе по заданным координатам в любом объеме с минимальным временем отклика для произведения дальнейших расчетов в системах моделирования.

### **Заключение**

В работе было рассмотрено применение и сравнение цифровых моделей рельефа ASTER GDEM и SRTM для создания микросервиса с публичным API и пространственной базы данных, хранящей совмещенные геометрические модели рельефа местности, сформированные на базе моделей матриц высот. Произведен анализ и модификация данных поверхности рельефа с применением фильтров размытия. Разработано API и пространственная база данных для получения данных поверхности рельефа по заданным координатам или ограниченной областью. Результат данной работы актуален для ряда научных задач, в которых требуется построение расчета на основе данных высот рельефа, особенно при работе с природными объектами. Дальнейшая работа над темой будет сосредоточена в

направлении исследования методов поиска и распознавания географических объектов из различных источников аэрокосмических данных.

### Список литературы

1. В.В. Беленко, Применение данных дистанционного зондирования для картографирования застраиваемых земель при проведении геоэкологической оценки. 2016.
2. Д.Н. Цыганков, В.И. Сысенко. Применение данных дистанционного зондирования для мониторинга использования земель сельскохозяйственного назначения. 2012.
3. Shuttle Radar Topography Mission: [Электронный ресурс]. – 2019 – Режим доступа: "<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>". – Дата доступа: 06.05.2019
4. Open-Elevation: [Electronic resource]. – 2019 – Режим доступа: "<https://open-elevation.com/>". – Дата доступа: 01.11.2019

### References

1. V.V. Belenko, Application of remote sensing data for mapping built-up land during geo-ecological assessment. 2016.
2. D.N. Tsygankov, V.I. Sysenko. The use of remote sensing data to monitor the use of agricultural land. 2012.
3. Shuttle Radar Topography Mission: [Electronic resource]. – 2019 – Access mode: "<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>". – Access date: 06.05.2019
4. Open-Elevation: [Electronic resource]. – 2019 – Access mode: "<https://open-elevation.com/>". – Access date: 01.11.2019

### Сведения об авторах

Ардяко А.Д., аспирант кафедры ПОИТ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Шамына А.Ю., аспирант и ассистент кафедры ПОИТ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

### Information about the authors

A.D. Ardyako, post-graduate student of Information Technologies Software sub-department, BSUIR.

A.Y Shamyna, post-graduate student and assistant of Information Technologies Software sub-department, BSUIR.

### Адрес для корреспонденции

220005, Беларусь, Минск, ул. Гикало, 9,  
Белорусский государственный  
университе  
тел. +375 29 644 09 41  
e-mail: ardyakon@gmail.com  
Ардяко Алексей Дмитриевич

### Address for correspondence

220005, Belarus, Minsk, Gikalo st, 9,  
Belarussian state university of informatics  
and radioelectronics  
tel. +375 29 644 09 41  
e-mail: ardyakon@gmail.com  
Ardyako Alexey Dmitrievich

**А.В. СЕНЬКО**

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ IoT ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

*Fastdev AB  
Sveavägen, 9, vån 17, Stockholm, 11157, Швеция*

*Поступила в редакцию*

**Аннотация.** В статье описано применение современных технологий и сервисов IoT облачного провайдера Microsoft Azure, использованных для построения системы удаленного мониторинга территориально распределенных природных объектов. Описана облачная архитектура системы, приведены примеры использования различных сервисов хранения и анализа сообщений для целей создания системы мониторинга и предотвращения чрезвычайных ситуаций.

*Ключевые слова:* Интернет вещей, системы дистанционного мониторинга, облачные технологии, Microsoft Azure.

**Abstract.** In article described application of modern IoT technologies, provided by Microsoft Azure, used for architecting the remote monitoring system for geographically distributed nature objects. Described cloud architecture of system, described examples of using different services for message storing and analysis for purpose of creating monitoring and emergency case preventing system.

*Keywords:* IoT, remote monitoring systems, Cloud Computing, Microsoft Azure.

**Doklady BGUIR. 201\*, Vol. \*\*\*, No. \*, pp. \*\*-\*\***

**Application of modern IoT technologies for architecting monitoring systems of geographically distributed nature objects**

**A.V. Senko**

### **Введение**

Одним из важнейших факторов минимизации ущерба от природных и техногенных катастроф является фактор времени: чем раньше обнаружен факт наступления предельного состояния техногенного объекта или природного комплекса, тем больше времени будет у служб ГО и ЧС на адекватное реагирование. А поскольку количество потенциальных природных комплексов очень велико и все они географически разнесены, то единственно приемлемыми с экономической точки зрения системами анализа их состояния являются системы дистанционного мониторинга.

Текущее состояние природного объекта может быть определено путем измерения параметров физических величин в конкретных его географических точках (измерительных пунктах) или путем анализа его изображений, полученных с борта летательных или космических аппаратов. Однако построение систем мониторинга традиционно сопряжено с большими техническими трудностями и высокими материальными затратами. Развитие современных технологий интернета вещей и облачных технологий позволяют существенно сократить затраты на создание систем дистанционного мониторинга благодаря использованию готовых сервисов и

компонентов. В данной статье рассказывается как с помощью сервисов облачных сервисов Microsoft Azure можно построить масштабируемую, надежную и защищенную систему мониторинга природных объектов.

### **Обзор существующих систем мониторинга природных объектов**

Все системы дистанционного мониторинга природных объектов можно разделить на 3 большие группы:

1. Системы телесигнализации [2];
2. Дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), включая спутниковые системы и системы на базе пилотируемых и беспилотных ЛА [4];
3. Дистанционного мониторинга параметров состояния окружающей среды, включая состав атмосферы, уровня воды, радиации и пр. [2]

Системы *телесигнализации* относятся к чисто реактивным системам, то есть они реагируют на факт наступления некоего события (например, существенного повышения температуры измеряемого объекта, задымления и пр).

Системы *ДЗЗ* и *дистанционного мониторинга параметров* в ряде случаев могут быть использованы для проактивного реагирования и предотвращения природных катастроф до их фактического возникновения. Для этого, необходимо комплексирование в единую сеть пунктов измерения и центров обработки информации [1].

Системы *дистанционного мониторинга* состоят из сети пунктов наблюдения / замеров параметров физических величин природных полей, значения оценок которых по каналам связи поступают в единый диспетчерский центр (ДЦ) для последующей обработки. На основе их анализа и сравнения с пороговыми уровнями, можно создавать системы оповещения о ЧС. Кроме того, зная характер территориального распределения величин параметров возможно оценить масштабы стихийного бедствия. В тоже время, анализ исторических данных измерений позволяет строить математические модели, на основе которых возможно предсказание будущего состояния природного объекта.

Традиционные системы дистанционного мониторинга создавались с использованием выделенных физических вычислительных средств, сетей передачи данных и аппаратных средств пунктов замеров, конфигурируемые и зачастую создаваемые специально для данной системы. Это требовало больших капитальных затрат и приводило к созданию немасштабируемых, трудных и дорогих в сопровождении систем. Современные облачные среды предоставляют ряд сервисов и SDK для доступа к ним, позволяющих существенно упростить, ускорить и удешевить создание систем мониторинга [3], [5].

### **Архитектура облачного сервиса мониторинга**

Обобщенная архитектура системы мониторинга территориально-распределенных природных объектов, созданную на основе облачных сервисов Azure IoT приведена на рисунке 1 [10], [11]. Сигналы с электронных измерительных датчиков, поступают в каналы аналоговой обработки, которая может включать в себя фильтрацию сигнала, усиление или аттеюацию, нормализацию, синхронное детектирование и пр. [6]. После прохождения тракта аналоговой обработки, сигналы подаются на вход АЦП встраиваемой микропроцессорной системы.

Программа, запущенная в виде фонового процесса операционной системы (не обязательно операционной системы реального времени) встраиваемой системы пункта

замера, периодически считывает показания с АЦП, отправляя результаты измерений в виде сообщений JSON в облачный сервис Azure IoT Hub.

В настоящее время имеется достаточно много аппаратных платформ, совместимых с IoT сервисами Microsoft Azure, например Raspberry Pi, Arduino, Espressif ESP32 и другие [7], [8], [9]. В качестве сети в IoT устройствах может быть использована мобильная сеть 2G / 3G / 5G, NB IoT, специализированная IoT сеть типа LoRa WAN или локальная сеть, соединенная с интернет - шлюзом, например Wi-Fi, Bluetooth или Zigbee.

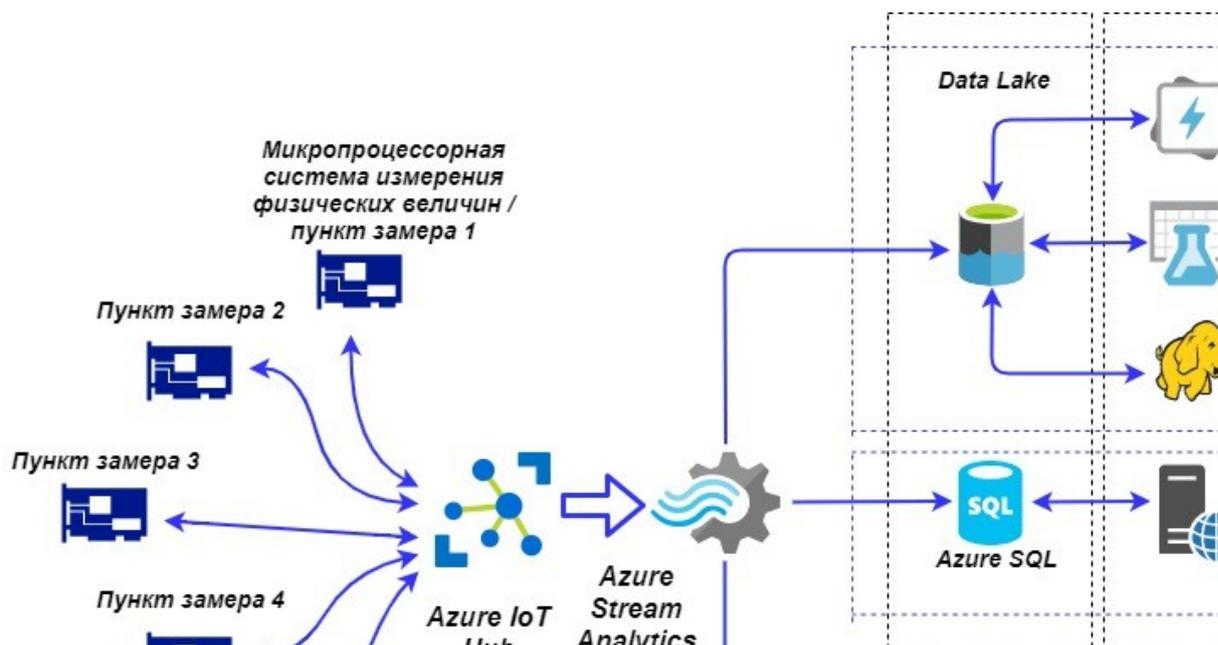


Рисунок 1. Архитектура системы мониторинга территориально-распределенных природных объектов, созданная на базе облачных сервисов Azure IoT.

Для того, чтобы пункты замеры могли удаленно взаимодействовать с центром обработки данных, в современных системах используют специальные протоколы, наиболее распространенным из которых является MQTT [12].

Azure IoT Hub является брокером сообщений, предоставляющим защищенный доступ к MQTT топикам, обеспечивающий авторизацию и аутентификацию устройств, а также хранение их учетных данных и метаданных.

Протокол MQTT обеспечивает взаимодействие между программными клиентами на основе модели “издатель - подписчик” (pub / sub, publisher subscriber). Программные клиенты могут выступать в качестве издателей, посылая при этом сообщения в топики, или подписчиком, принимая сообщения из топиков. Каждый клиент может посылать сообщения в один или несколько топиков, в то же время каждый клиент может быть подписан на один или несколько топиков. Также, клиент может выступать только подписчиком или только издателем. MQTT брокер представляет программным клиентам адреса конечных точек топиков и обеспечивает надежное хранение сообщений, доступных программным клиентам (рисунок 2).

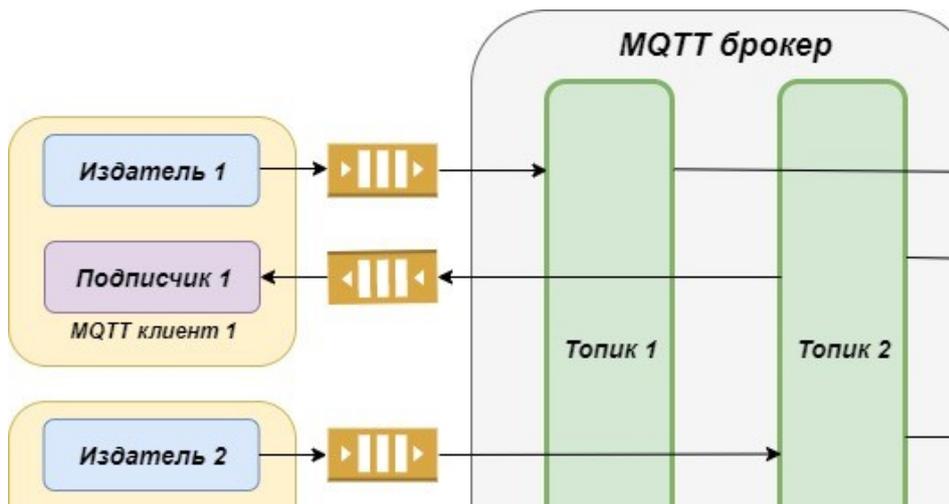


Рисунок 2. Архитектура обмена сообщениями между клиентами на основе протокола MQTT

Фрагмент кода Python программы программного MQTT клиента, использующий Azure IoT SDK, показан на рисунке 3:

```
import os
from azure.iot.device import IoTHubDeviceClient, Message

def get_data_from_sensor():...
def process_exception(e):...

def mqtt_client_main():
    try:
        client_cnn_string = os.environ["MQTT_BROKER_CNN_STRING"]
        client = IoTHubDeviceClient.create_from_connection_string(client_cnn_string)

        while True:
            sensor_data = get_data_from_sensor()
            message = Message(sensor_data)

            print( "Message content: {}".format(message) )
            client.send_message(message)

            sleep_delay = int(os.environ["SLEEP_DELAY"])
            time.sleep(sleep_delay)

    except Exception as e:
        process_exception(e)

if __name__ == '__main__':
    mqtt_client_main()
```

Рисунок 3. Пример кода программного клиента, посылающего сообщения в Azure IoT Hub сообщения в формате JSON и использующего строку подключения для аутентификации.

Сообщения с измерительных пунктов, в формате JSON, поступают в сервис Azure IoT Hub, который играет роль брокера сообщений. Он предоставляет защищенный доступ к MQTT топикам, обеспечивает авторизацию и аутентификацию устройств, хранение их учетных данных и метаданных.

### Потоковая обработка сообщений в облачной системе мониторинга

Сообщения, принятые сервисом Azure IoT Hub, могут быть подвергнуты потоковой обработке, которая может включать в себя: осреднение показателей измеряемой

величины в течении заданного временного интервала, агрегирование, отсеечение аномальных значений, непрерывное применение к сообщениям натренированной машинным обучением модели и распределении самих сообщений в зависимости от их содержания по разным направлениям. В облачной платформе Microsoft Azure это реализуется при помощи сервиса Azure Stream Analytics, подключенного к выходу Azure IoT Hub. Сервис Azure Stream Analytics представляет собой непрерывный фильтр, алгоритм работы которого описывается при помощи синтаксиса ANSI SQL. Каждый источник входных сообщений (например MQTT топик сервиса Azure IoT Hub) в SQL выражении интерпретируются как таблица, с которой можно выполнять различные операции.

Все входные сообщения поступают в подсистему хранения данных, состоящую из хранилищ трех типов:

- Очереди сообщений для подсистемы оповещения, построенной на основе сервиса Azure Service Bus;
- Хранилища оперативной информации, построенного на основе экземпляра сервиса реляционной базы данных Azure SQL;
- Хранилища исторической информации, построенного на основе HDFS совместимого сервиса Azure Data Lake Store.

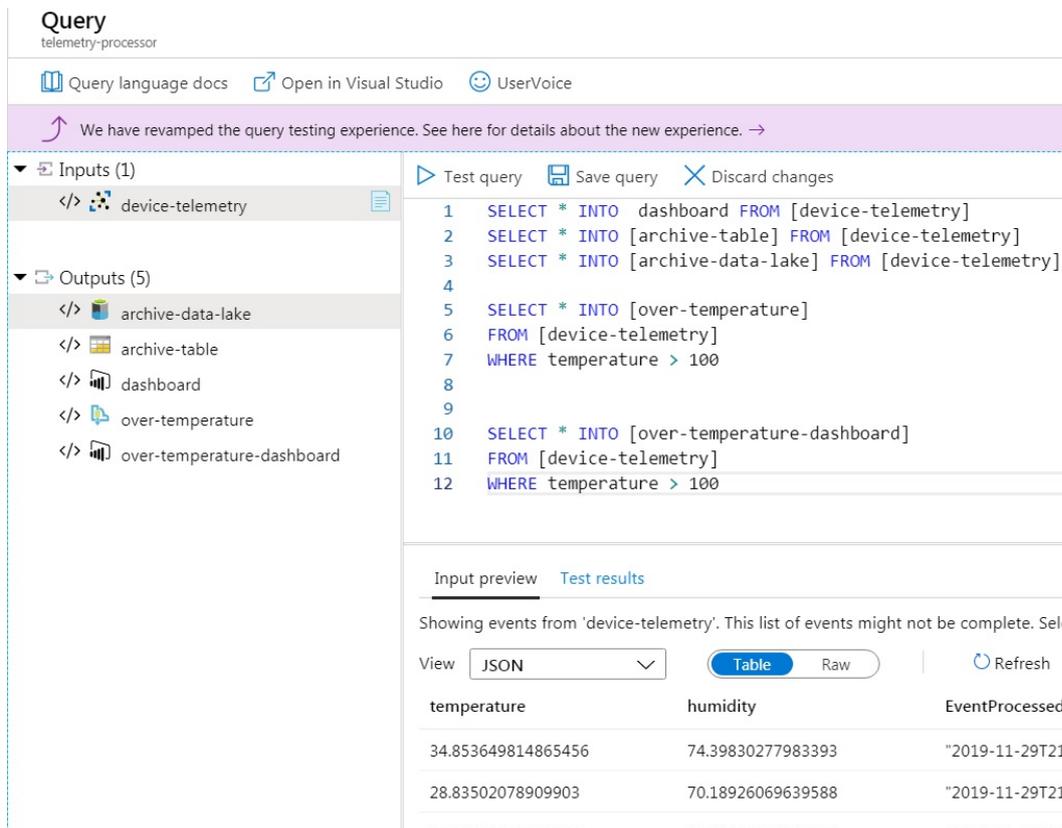


Рисунок 4. Окно редактора непрерывного потокового фильтра. Слева видны выходы, к которым подключен сервис Azure IoT Hub, справа - сам выполняемый запрос и десериализованные данные, поступающие на вход.

## Подсистемы обработки и анализа данных системы мониторинга

Подсистема рассылки сообщений служит для оповещения потребителей о превышении измеряемыми величинами заданных порогов. Очередь сообщений в ней необходима для того, чтобы синхронизировать скорость отсылки сообщений со скоростью их поступления.

Подсистема отображения оперативной обстановки необходима для визуализации информации о текущем состоянии наблюдаемого природного комплекса. Для этого сообщения из сервиса Azure Stream Analytics, должны сохраняться в “горячем” хранилище (реляционная – Azure SQL - или нереляционная – CosmosDB - база данных), которое оперативно обновляется новыми сообщениями и также оперативно обновляет визуальное представление. Если для отображения информации используется сервис PowerBI, то он подключается к сервису Azure Stream Analytics напрямую.

Подсистема анализа исторических данных предназначена для долговременного хранения истории значений физических величин, отосланных пунктами замера с последующим ее изучением. В качестве долговременного хранилища может выступать как реляционное (Azure SQL DWH) так и нереляционное (Azure Data Lake) хранилища данных.

Подсистема анализа данных включает в себя сервисы, которые выполняют программный анализ данных, сохраненных в подсистемах хранения. Самый сложный и комплексный случай - подсистема анализа исторических данных, которая может включать в себя [3], [5]:

- Пакетный анализ и трансформацию, включая ETL, выполняемый, например, сервисом Azure Data Lake analytics. Этот вид анализа запускается периодически и служит для регулярной агрегации, группировки и фильтрации данных;
- Пакетную процедуру перетренировки моделей машинного обучения, нужную для “подстройки” моделей под изменившиеся входные данные;
- Выполнение аналитических запросов научным персоналом в интерактивном режиме с целью отыскания новых закономерностей в данных.

Подсистема рассылки оповещений реализована на основе сервиса Azure Logic App, позволяющего автоматизировать выполнение рабочих процессов анализа входящих сообщений о превышении пороговых значений и определения канала рассылки оповещений.



Рисунок 5. Реализация логики рабочего процесса подсистемы рассылки оповещений, созданной на основе сервиса Azure Logic App.

Отфильтрованные сообщения, поступившие в очередь сообщений Azure Service Bus, запускают выполнение экземпляра Azure Function, представляющей собой код, исполняемый в безсерверном окружении. Этот код должен иметь доступ к хранилищу состояний оповещений, показывающих отправлено ли оповещение реципиенту или

нет. Если сообщение еще не было отправлено или используется более сложная логика обработки (отправлять сообщение каждые пол часа до тех пор, пока состояние природного объекта не изменится), то запускается экземпляр сервиса Azure Logic App, осуществляющий отправку оповещения.

Также, экземпляр сервиса Azure Stream Analytics Job может быть размещен непосредственно на аппаратной платформе, на которой будет также реализовываться логика подсистемы рассылки оповещений. Для этого может быть использован сервис Azure IoT Edge, разворачиваемый на аппаратуре пункта замера. В случае отсутствия связи с Azure IoT Hub, этот сервис может хранить в себе исторические данные мониторинга и отправлять их в хаб как только появится соединение.

### Заключение

В статье описано построение облачной архитектуры системы мониторинга природных объектов с использованием сервисов облачного провайдера Microsoft Azure. Показано, что для создания ключевых элементов подобной системы не требуется разработка с нуля, развертывание на отказоустойчивых кластерах и сложное конфигурирование программных продуктов. Относительная простота конфигурирования облачных сервисов позволяет существенно снизить затраты на разработку и эксплуатацию системы мониторинга в целом.

### Список литературы

1. Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (ГИАЦ НСМОС) // Официальный портал. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nsmos.by>.
2. Козырев Н.А. Современная телеметрия в теории и на практике. Учебный курс / Н.А. Козырев, А.В. Назаров, И.В.Шитов, В.П. Обрученков, А.В. Древин. - СПб: Наука и техника, 2007. – 627 с.
3. Облачные архитектуры IoT: BigData и мониторинг подвижных объектов / BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 13–14 марта 2019 года). В 2 ч. Ч. 1 / редкол. : В. А. Богуш [и др.]. – Минск: БГУИР, 2019. – 403 с.
4. Подсистема Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли. Мониторинг земельного фонда /Николай Бобер [и др.]// Земля Беларуси – 2018. – № 2. – С. 23-24.
5. Сенько А. Работа с BigData в облаках. Обработка и хранение данных с примерами из Microsoft Azure. – СПб. Питер, 2019. – 448 с. 9
6. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ. - Изд. 2-е. - М.: Издательство БИНОМ . -. 2014. - 704 с., ил. ISBN 978-5-9518-0351-1.
7. Azure Certified for IoT device catalog [Электронный ресурс]. URL: <https://catalog.azureiotsolutions.com/alldevices>.
8. Azure IoT Device SDKs Platform Support. // Microsoft Azure IoT Hub documentation. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-hub/iot-hub-device-sdk-platform-support>.
9. Azure IoT Git repo // APIs, SDKs and open source projects from Microsoft Azure. [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/Azure/iot>.
10. Azure IoT reference architecture // Microsoft Azure architecture center. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/architecture/reference-architectures/iot/>.

11. Microsoft Azure IoT reference architecture // e-book, version 2.1. [Электронный ресурс] . URL: [http://download.microsoft.com/download/A/4/D/A4DAD253-BC21-41D3-B9D9-87D2AE6F0719/Microsoft\\_Azure\\_IoT\\_Reference\\_Architecture.pdf](http://download.microsoft.com/download/A/4/D/A4DAD253-BC21-41D3-B9D9-87D2AE6F0719/Microsoft_Azure_IoT_Reference_Architecture.pdf).
12. MQTT community official page. [Электронный ресурс]. URL: <http://mqtt.org/>.

## References

1. Glavnij informatsionno-analititseskij tsentr Natsionalnoj sistemi monitoringa okruzajuschej sredi Respubliki Belarus (GAITZ NSMOS) // Oficialnij portal. URL: <http://www.nsmos.by>.
2. Kozirev N.A. Sovremennaja telemetrija v teorii i na praktike. Uchebnij kurs / N.A. Kozirev, A.V. Nazarov, I.V. Schitov, V.P. Obruchenkov, A.V. Drevin. - SPb: Nauka i tehnika, 2007. – 627 s.
3. Oblatsnije architekturi IoT: BigData i monitoring podvijnich objectov / BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA i analiz visokhogo urovnja: sb. materialov V Mezhdunarodnoj nautsno-praktitseskoj konferentsii (Respublika Belarus, Minsk, 13–14 marta 2019 goda). V 2 ch. Ch. 1 / redcollegija: V. A. Bogush [i dr.]. – Minsk: BSUIR, 2019. – 403 p.
4. Podсистема Belorusskoj kosmitseskoj sistemi distantsionnogo zondirovanija Zemli. Monitoring zemeljnogo fonda /Nikolaj Bober [i dr.] // Zemlja Belarusi – 2018. – № 2. – p. 23-24.
5. Senko A. Rabota s BigData v oblakah. Obrabotka i chranenije dannich s primerami iz Microsoft Azure. – SPb. Piter, 2019. – 448 s.
6. Horwitz P., Hill W. Isskustvo skhemotehniki: Perevod s anglijskogo. - Izd. 2. - M.: Izdatelstvo BINOM . -. 2014. - 704 pages., ill. ISBN 978-5-9518-0351-1.
7. Azure Certified for IoT device catalog. URL: <https://catalog.azureiotsolutions.com/alldevices>.
8. Azure IoT Device SDKs Platform Support. // Microsoft Azure IoT Hub documentation. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-hub/iot-hub-device-sdk-platform-support>.
9. Azure IoT Git repo // APIs, SDKs and open source projects from Microsoft Azure. URL: <https://github.com/Azure/iot>.
10. Azure IoT reference architecture // Microsoft Azure architecture center. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/architecture/reference-architectures/iot/>.
11. Microsoft Azure IoT reference architecture // e-book, version 2.1. URL: [http://download.microsoft.com/download/A/4/D/A4DAD253-BC21-41D3-B9D9-87D2AE6F0719/Microsoft\\_Azure\\_IoT\\_Reference\\_Architecture.pdf](http://download.microsoft.com/download/A/4/D/A4DAD253-BC21-41D3-B9D9-87D2AE6F0719/Microsoft_Azure_IoT_Reference_Architecture.pdf).
12. MQTT community official page. URL: <http://mqtt.org/>.

### Сведения об авторах

Сенько Александр Васильевич, кандидат физико-математических наук, старший разработчик программного обеспечения, Фастдев АБ.

### Information about the authors

Senko A.V., PhD, senior software engineer, Fastdev AB

### Адрес для корреспонденции

147 45, Швеция,  
Тумба, Минтвэген, 12,  
Фастдев АБ  
тел. +46729226011;  
e-mail: [alexandresenko@gmail.com](mailto:alexandresenko@gmail.com)  
Сенько Александр Васильевич

### Address for correspondence

147 45, Sweden, Tumba, Myntvägen, 12,  
Fastdev AB  
tel. +46729226011;  
e-mail: [alexandresenko@gmail.com](mailto:alexandresenko@gmail.com)  
Senko Alexandre

Н.А. ИСКРА

## ПОДХОД К АНАЛИЗУ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию*

**Аннотация.** В данной работе предлагается подход к анализу изображений в системах мониторинга. Основное внимание уделяется построению семантической модели изображения. Результаты экспериментов по языковой интерпретации полученной модели показывают улучшение скорости обработки и качества аннотирования изображений до 60% (метрика METEOR) по сравнению с нейросетевыми методами. Также, использование данной модели позволяет очистить и нормализовать данные для обучения, в том числе нейросетевых архитектур, применяющихся в анализе изображений. Рассматриваются перспективы использования данной методики в ситуационном мониторинге.

*Ключевые слова:* ситуационный мониторинг, детекция объектов, семантическая модель, нейронные сети, обработка изображений, обработка языка, R-CNN, WordNet.

**Abstract.** In this paper the approach to image analysis in monitoring systems is proposed. Main focus is on the construction of the semantic model of the image. Experimental results with language interpretation of the model show the increase of the processing speed and the quality of image captioning up to 60% (METEOR metric) in comparison to pure neural network based methods. The usage of the model also allows to clean and normalize data for training neural network architectures specialized on image analysis among others. The perspectives of this technique employment in situational monitoring are considered.

*Keywords:* situational monitoring, object detection, semantic model, neural networks, image processing, language processing, RCNN, WordNet

**Doklady BGUIR. 201\*, Vol. \*\*\*, No. \*, pp. \*\*-\*\***

**Approach to image analysis and interpretation for monitoring systems**

**N.A. Iskra**

### Введение

Задача анализа изображений в системах технического зрения стоит сегодня остро. Автоматическая интерпретация изображения при мониторинге – задача нетривиальная. Например, для системы видеонаблюдения, было бы актуальным не просто записывать и сохранять видео, но и анализировать происходящее, а также сигнализировать о любых подозрительных ситуациях – нарушениях, происшествиях, действиях, требующих реагирования.

Рассматриваемый в данной работе подход к анализу изображений системой технического зрения проходит по следующему сценарию:

Шаг 1. Выделение отдельных объектов на изображении. Это могут быть только значимые в контексте данной системы объекты (например, участники движения,

дорожная разметка и знаки в системах наблюдения за трафиком), области, очерчивающие объекты, или более точное выделение объекта попиксельно.

Шаг 2. Построение семантической модели. На данном этапе формализуются связи между объектами и/или атрибуты отдельных объектов.

Шаг 3. Интерпретация модели. По построенной модели может быть получено текстовое описание происходящего (аннотация изображения, например, для ведения журнала наблюдения) или определены конкретные ситуации на изображении, представляющие интерес (например, случаи нарушения правил дорожного движения, дорожно-транспортные происшествия и т.п.) Во втором случае интерпретация модели будет состоять в выделении только тех связей и атрибутов, которые могут сигнализировать об аномальной ситуации.

Наиболее важной частью в реализации анализа ситуации является построение интерпретируемой модели изображения. В данной статье основное внимание будет уделено методике построения этой модели, а также выбору алгоритма детекции объектов на изображении, как предварительного этапа построения модели.

## Теоретический анализ

### *А. Детекция объектов на изображении*

Первым этапом анализа является обработка исходного изображения и автоматическое распознавание объектов на нём. При этом решается одна из следующих подзадач [1]:

– семантическая сегментация изображения (англ. Semantic Segmentation) – для каждого пикселя во входном изображении определить его категорию или класс;

– классификация и локализация (англ. Classification and Localization) – определить класс одиночного объекта на изображении и его точное месторасположение;

– детекция объектов (англ. Object Detection) – определить класс и прямоугольную область, ограничивающую каждый из объектов на изображении;

– сегментация образов (англ. Instance Segmentation) – на изображении с множеством объектов определить контуры (все видимые пиксели) и класс каждого из объектов.

Для построения семантической модели изображения наиболее интересны решения двух последних подзадач.

Среди современных алгоритмов детекции объектов актуальны методы, в том числе основанные на использовании глубоких нейронных сетей:

– метод скользящего окна (англ. Sliding Window) [2];

– метод предложения регионов (англ. Region Proposals) [3];

– метод детекции за один проход (англ. Single Shot Detection) [4].

Каждый из подходов имеет свои достоинства и недостатки, важные с точки зрения применения их в системах, требующих анализа изображения [5].

Для построения модели, описанной в данной статье, наиболее подходят методы, основанные на классе нейросетевых моделей с предложением регионов, так называемые R-CNN, и их развитие:

– R-CNN [3] – представляет собой модель последовательной обработки изображения: генерацию набора предложений регионов, применение предобученной свёрточной нейронной сети с завершающим слоем опорных векторов и линейную регрессию для более точного определения регионов;

– Fast R-CNN [6] – модель, в которой для ускорения работы предыдущей последовательности обработки добавляется подборка регионов и объединение всех нейросетевых моделей в одну;

– Faster R-CNN [7] – для ещё большего ускорения в модели используется селективный поиск регионов;

– Mask R-CNN [8] – в отличие от предыдущих моделей, данная использует бинарную маску для определения не просто прямоугольного региона – кандидата в объекты, а конкретных пикселей, принадлежащих объекту, что, по сути, и является решением задачи сегментации образов, описанной выше.

### Б. Модель изображения

За основу модели изображения принимается так называемый сцен-граф (англ. Scene Graph) [9]. Сцен-граф – это структура данных, описывающая содержание сцены, которая, в свою очередь, может быть задана изображением или его текстовым описанием. В сцен-графе закодированы экземпляры объектов, их атрибуты и отношения между объектами.

Формально, сцен-граф определяется следующим образом: пусть  $C$  – множество классов объектов,  $A$  – множество типов их атрибутов,  $R$  – множество типов отношений. Сцен-граф задаётся как  $G = (O, E)$ , где  $O = \{o_1, \dots, o_n\}$  – множество объектов – вершины графа,  $E \subseteq O \times R \times O$  – множество ребер графа. Каждый объект представлен как  $o_i = \{c_i, A_i\}$ , где  $c_i \in C$  – класс объекта, а  $A_i \subseteq A$  – его атрибуты.

Сцен-граф может быть привязан к изображению. Пусть  $B$  – множество прямоугольных областей, каждая из которых ограничивает определённый объект на изображении (назовём их области объектов, англ. Bounding Boxes), тогда привязка сцен-графа  $G = (O, E)$  к изображению, это функция  $\gamma: O \rightarrow B$ , или  $\gamma_o$ .

Для экспериментальной части используется набор данных Visual Genome [10], который представляет собой набор из размеченных 108 077 изображений, для которых путём привлечения большого количества людей, вручную были определены 5,4 миллиона описаний регионов в виде текста и сцен-графов.

Пример привязки сцен-графа к регионам на изображении из Visual Genome приведён на рис. 1.



Рис. 1. Пример изображения из Visual Genome с привязкой [11]

Fig.1. An example of an image from Visual Genome with grounding [11]

Текстовые привязки сцен-графов (каждый объект, атрибут и отношение) в Visual Genome соответствуют синсетам из WordNet [12]. WordNet – сетевое представление слов, структурированное по смысловым отношениям между ними. В WordNet каждое слово представлено множеством своих синонимичных значений, которое называется синсетом (англ. synset). Каждый синсет представлен тройкой

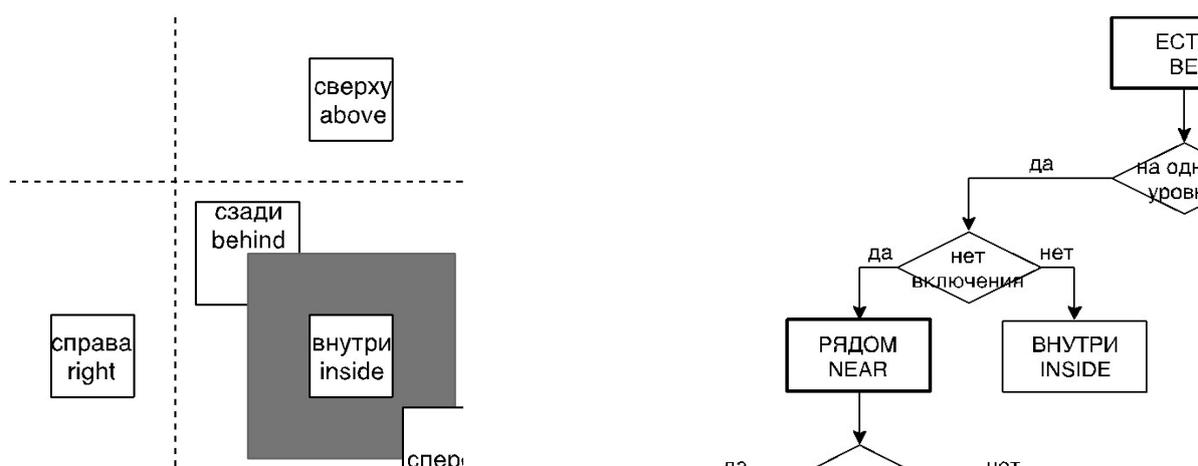
<word>.<pos>.<number>, где word – слово, pos – часть речи (n – существительное, v – глагол, a – прилагательное, r – наречие), number – индекс значения. Например, понятие «человек» в WordNet представлено тремя значениями person.n.01, person.n.02 и person.n.03. Текстовая привязка объекта «person» из Visual Genome соответствует синсету person.n.01. В WordNet между синсетами установлены связи синонимии, антонимии, «часть-целое» (мероним – холоним), «общее-частное» (гипероним – гипоним).

### Методика построения модели изображения

Для построения модели изображения в виде сцен-графа нужно сначала определить объекты на изображении, а затем для каждой пары объектов принять решение, могут ли они иметь связи и какие именно [13]. Подбор связей может быть значительно упрощен за счёт использования внешних баз знаний (общих или узкоспециализированных для конкретной предметной области) [14]. В обоих случаях для изображения, на котором найдено  $n$  объектов, необходимо рассмотреть  $(n^2 - n)$  отношений. В данной работе предлагается упростить решение за счёт определения так называемых «значимых» (англ. salient) объектов [15], и в дальнейшем рассматривать  $(n - 1)$  отношений. Такой подход соответствует сценарию наблюдения за определёнными объектами в системах мониторинга.

Частотный анализ данных Visual Genome показывает, что самые частые отношения между объектами на изображениях – это пространственные отношения: отношение «на» («on») встречается 642 150 раз, «в» («in») – 218 166, «сзади» («behind») – 39 833. Кроме того, благодаря иерархической структуре привязок WordNet, пространственные отношения могут быть описаны более подробно: например, «car in a parking lot» («машина на стоянке») или «car is parked in a parking lot» («машина припаркована на стоянке»). Действительно, при взгляде на изображение человек прежде всего отмечает, как объекты расположены друг относительно друга в пространстве. При автоматической обработке также возможно определить смысловые пространственные отношения между объектами [16].

На рис. 2 показана методика автоматического построения модели для пространственных отношений.



**Рис. 2.** Методика автоматического построения модели для пространственных отношений

**Fig.2.** The technique for automatic model construction for spatial relations

В левой части рис. 2 визуализирована система всех возможных пространственных отношений: область значимого объекта (субъекта) закрашена, остальные области – варианты расположения объекта интереса (объекта), для которого при помощи дерева принятия решений на правой части рис. 2 будет определяться вид пространственного отношения вида «субъект – отношение – объект».

Следует отметить, что для наименований видов отношений в данной модели используются предлоги, которые не представлены в WordNet, т.е. на данном этапе привязка к WordNet не возможна, однако на следующем шаге (для интерпретации) будут применяться синсеты, содержащие данные предлоги и их смыслы (be.v.01, along.r.01 и др.).

В дереве прямоугольниками показаны блоки, соответствующие определённому виду отношения, при этом выделены более общие отношения, требующие уточнения (как гиперонимы из WordNet). При построении дерева для ускорения процесса принятия окончательного решения правила (на рисунке показаны ромбами) формулировались в соответствии со статистическими данными анализа Visual Genome, таким образом, что более частый случай будет находиться в дереве левее. Так, в исходном наборе данных отношение «рядом» (near) встречается чаще других пространственных отношений (26 316 раз), «сверху» (above) – существенно чаще, чем «снизу» (below) – 13 767 раз и 3 349 раз соответственно и т.д.

Реализация метода, применяемая для постановки экспериментов, описанных далее, сначала производит детекцию объектов методом на основе Faster R-CNN, определяя классы объектов и их области. За значимый принимается объект с наибольшей площадью области.

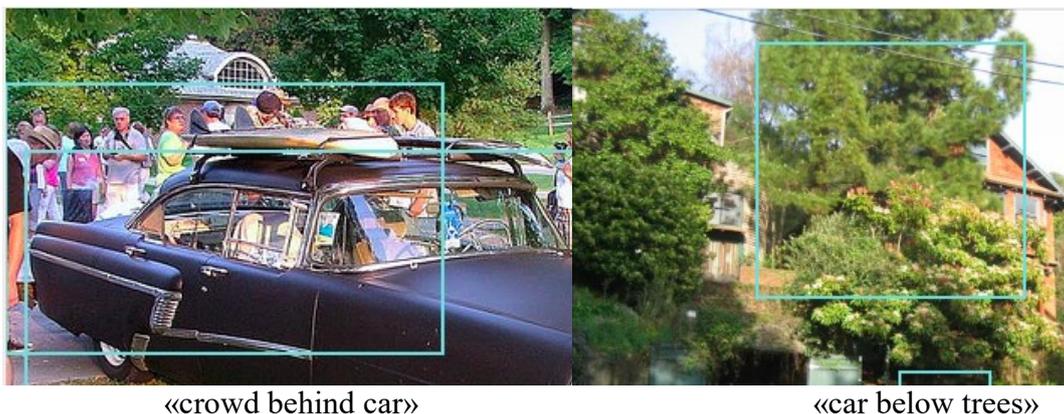
На реальных естественных изображениях границы областей объектов, как правило, пересекаются. Если пересечение областей значимого объекта и объекта интереса менее 50% площади области объекта интереса, выбираются соответствующие правилу решения отношения из множества {«сверху», «снизу», «слева», «справа»} (т.е. считается, что пересечения нет). При пересечении более 50% выбор отношения осуществляется на основании сравнения пиксельных масок объектов, полученных при применении Mask R-CNN к областям объектов: если в зоне пересечения больше пикселей значимого объекта, выбирается отношение «сзади», и отношение «спереди» – в противоположном случае.

## **Экспериментальная часть**

### *А. Экспериментальная оценка построения модели*

Для экспериментальной оценки методики построения модели изображения из базы Visual Genome были выбраны два набора изображений.

Первый набор представляет собой выборку из изображений, в которой на каждое из рассматриваемых отношений приходится по 50 регионов с привязкой (т.е. 50 регионов с отношением «above», 50 регионов – с «below» и т.д. – всего 350 регионов). Примеры таких изображений приведены на рисунке 3.



**Рис. 3.** Примеры регионов из экспериментальной выборки  
**Fig.3.** Examples of regions from experimental set

Второй набор выбирался автоматически по результатам детекции объектов и определению отношений между объектами в соответствии с методикой. Его размер также 350 регионов (по 50 регионов на каждое отношение).

Размер экспериментальных выборок относительно небольшой, поскольку верификацию результатов определения отношений планировалось проводить вручную для того, чтобы оценить не только точность построения модели, но и «натуральность» (англ. *gameability*) полученных результатов, т.е. исключить ситуации, когда высокий показатель метрики оценки качества (правильный результат) может соответствовать выражению, которое человек считает «ненатуральным» (например, «the sky is blue in color» вместо «the sky is blue») [17].

В первом эксперименте автоматически определяются отношения в выбранных регионах и для обоих наборов результаты сравниваются с эталонными (приведенными в базе) и оцененными экспертами (см. табл. 1).

#### *Б. Экспериментальная оценка интерпретации модели*

Для экспериментальной оценки интерпретации построенной модели для первого набора регионов генерируются текстовые описания регионов путём замены отношений соответствующими наиболее часто встречающимся синонимами из WordNet (например, «car below tree» превращается в «car parked under tree») и полученные аннотации сравниваются с эталонными при помощи метрики METEOR [18].

Также результаты аннотирования сравниваются с результатами, полученными при применении комбинированного нейросетевого [19] и чисто свёрточного нейросетевого [20] подходов к аннотации регионов изображений без построения семантической модели (табл. 3).

### **Результаты и их обсуждение**

В табл. 1 приводятся результаты оценки построения модели. Результаты детекции объектов в эксперименте принимаются за верные, если совпадает метка класса, различия в детекции областей принимаются за несущественные в данном контексте.

**Таблица 1.** Оценка результатов построения модели  
**Table 1.** The evaluation of model construction results

	Набор 1		Набор 2	
	кол-во	%	кол-во	%
Размер набора (отношений/объектов)	350/70 0	100	350/70 0	100
Детекция объектов (при помощи RCNN)	687	98, 1	694	99, 1
Отношения (совпадение с представленными в базе)	335	95, 7	344	98, 2
Отношения (совпадение при визуальном анализе)	340	97, 1	346	98, 8

Очевидно, что ошибки в детекции (в первом наборе их 13, во втором – 6) «отбраковывают» регионы, в которые входят данные объекты. Соответственно, для первого набора, если считать, что при определении отношений в эксперименте участвуют уже не 350, а 343 региона, точность определения отношений будет не 95%, а 99%.

Более высокий процент правильности определения отношений при визуальной оценке объясняется тем, что в Visual Genome некоторые исходные данные содержат неточности. В табл. 2 приведены результаты совпадения отдельных видов отношений с представленными в базе для экспериментального набора 1 и видно, что в исходном наборе присутствует 5 примеров неточностей, т.е., например, в базе записано отношение «BELOW», а эксперт видит, что объекты находятся рядом (отношение «NEAR»).

**Таблица 2.** Анализ точности определения отношений по видам  
**Table 2.** The Analysis of relations estimation precision for different relations

Пространственное отношение	Визуальная оценка (из 50-ти)	Предлагаемая методика (из 50-ти)
BEHIND	49	44
IN FRONT	48	45
RIGHT	50	50
LEFT	50	50
INSIDE	50	50
ABOVE	49	48
BELOW	49	48

Таким образом, можно использовать методику автоматического определения пространственных отношений и для частичной очистки данных. Так, перезапустив процесс построения модели для набора 1 удалось «исправить» 4 из 5 неточностей, определённых путём визуального анализа.

В табл. 3 приведены результаты оценки генерации аннотаций для первого «исправленного» набора.

**Таблица 3.** Оценка качества аннотирования регионов  
**Table 3.** The evaluation of region captioning quality

Модель кодера	METEOR
CNN + RNN [19]	0.305

TCN [20]	0.290
Семантическая модель	0.515

Как видно в таблице, использование семантической модели для кодирования информации из изображения существенно превосходит нейросетевые модели при построении осмысленных фраз, описывающих регионы. По метрике METEOR, учитывающей не только структуру аннотации, но и её семантические вариации, предлагаемая методика показывает результаты более чем на 60% лучше, чем нейросетевые подходы.

### Заключение

Таким образом, предлагаемая в данной работе методика построения модели изображения, отличительной особенностью которой является определение значимых объектов, анализирует на порядок меньше отношений между объектами, что позволяет существенно сократить время обработки изображения на тестовых наборах из базы Visual Genome и улучшить качество аннотирования.

Необходимо отметить, что данный подход содержит упрощения – за значимый объект принимается самый большой, рассматриваются только отношения между двумя объектами (т.е. только фрагменты сцен-графа), не принимаются во внимание атрибуты объектов. В дальнейшем планируется использовать более сложные подходы к определению значимого объекта (в том числе на основе конкретной предметной области), полное построение и анализ сцен-графа.

При проведении ситуационного мониторинга для более точной интерпретации модели нужно выбирать изображения со специальными ситуациями, использовать базы изображений и экспертные знания из конкретных предметных областей (мониторинг трафика, мониторинг техногенных объектов и т.д.)

### Список литературы

1. Agarwal S., Terrail J.O.D., Jurie F. Recent advances in object detection in the age of deep convolutional neural networks // arXiv preprint arXiv: 1809.03193. – 2018.
2. Müller J., Fregin A., Dietmayer K. Disparity sliding window: object proposals from disparity images / IEEE/RSJ International conference on intelligent robots and systems. – 2018. – pp. 5777 – 5784.
3. Girshick R., Donahue J., Darrell T., Malik J. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation / Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2014. – pp. 580 – 587.
4. Liu W., Anguelov D., Erhan D., Szegedy C., Reed S., Fu C.Y., Berg A.C. Ssd: Single shot multibox detector / European conference on computer vision. – Springer, Cham, 2016. – pp. 21 – 37.
5. Хурсов П.С., Искра Н.А. Алгоритмы детекции объектов для анализа изображений / Информационные технологии и системы: материалы международной научной конференции. – Минск, 2019. – с. 128 – 129.
6. Girshick R. Fast r-cnn / Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. – 2015. – pp. 1440 – 1448.
7. Ren S., He K., Girshick R., Sun J. Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks / Advances in neural information processing systems. – 2015. – pp. 91 – 99.
8. He K., Gkioxari G., Dollár P., Girshick R. Mask r-cnn / Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. – 2017. – pp. 2961 – 2969.

9. Xu D., Zhu Y., Choy C.B., Fei-Fei L. Scene graph generation by iterative message passing / Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2017. – pp. 5410 – 5419.
10. VisualGenome. – URL: <https://visualgenome.org>.
11. Krishna R., Zhu Y., Groth O., Johnson J., Hata K., Kravitz J., Chen S., Kalantidis Y., Li L.J., Shamma D.A., Bernstein M.S. Visual genome: Connecting language and vision using crowdsourced dense image annotations / International journal of computer vision. – 123(1). – 2017. – pp. 32 – 73.
12. Miller G.A. WordNet: An electronic lexical database. – MIT press, 1998.
13. Yang J., Lu J., Lee S., Batra D., Parikh D. Graph r-cnn for scene graph generation / Proceedings of the european conference on computer vision. – 2018. – pp. 670 – 685.
14. Iskra N., Iskra V., Lukashevich M. Neural network based image understanding with ontological approach / Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2019): материалы международной научно-технической конференции. – Минск, 2019. – с. 113 – 122.
15. Borji A., Cheng M.M., Hou Q., Jiang H., Li J. Salient object detection: A survey / Computational visual media. – 2014. – pp. 1 – 34.
16. Искра Н.А., Межень А.Л., Шункевич Д.В. Онтология предметной области пространственных сущностей для системы семантического анализа изображений / Информационные технологии и системы: материалы международной научной конференции. – Минск, 2019. – с. 112 – 113.
17. Shunkevich D., Iskra N. Ontological approach to image captioning evaluation / Pattern Recognition and Information Processing: Proceedings of the 14 international conference. – Minsk: Bestprint, 2019. – pp. 219 – 223.
18. Banerjee S., Lavie A. METEOR: An automatic metric for MT evaluation with improved correlation with human judgments / Proceedings of the acl workshop on intrinsic and extrinsic evaluation measures for machine translation and/or summarization. – 2005. – pp. 65 – 72.
19. Johnson J., Karpathy A., Fei-Fei L. Densecap: Fully convolutional localization networks for dense captioning / Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2016. – pp. 4565 – 4574.
20. Iskra N., Iskra V. Temporal convolutional and recurrent networks for image captioning / Pattern Recognition and Information Processing: Proceedings of the 14 international conference. – Minsk: Bestprint, 2019. – pp. 346 – 349.

### References

1. Agarwal S., Terrail J.O.D., Jurie F. Recent advances in object detection in the age of deep convolutional neural networks // arXiv preprint arXiv: 1809.03193. – 2018.
2. Müller J., Fregin A., Dietmayer K. Disparity sliding window: object proposals from disparity images / IEEE/RSJ International conference on intelligent robots and systems. – 2018. – pp. 5777 – 5784.
3. Girshick R., Donahue J., Darrell T., Malik J. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation / Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2014. – pp. 580 – 587.
4. Liu W., Anguelov D., Erhan D., Szegedy C., Reed S., Fu C.Y., Berg A.C. Ssd: Single shot multibox detector / European conference on computer vision. – Springer, Cham, 2016. – pp. 21 – 37.

5. Hursov P.S., Iskra N.A. Algoritmy detektsii ob'ektov dlya analiza izobrazheniy / Information Technologies and Systems 2019 (ITS 2019): materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. – Minsk, 2019. – pp. 128 – 129.
6. Girshick R. Fast r-cnn / Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. – 2015. – pp. 1440 – 1448.
7. Ren S., He K., Girshick R., Sun J. Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks / Advances in neural information processing systems. – 2015. – pp. 91 – 99.
8. He K., Gkioxari G., Dollár P., Girshick R. Mask r-cnn / Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. – 2017. – pp. 2961 – 2969.
9. Xu D., Zhu Y., Choy C.B., Fei-Fei L. Scene graph generation by iterative message passing / Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2017. – pp. 5410 – 5419.
10. VisualGenome. – URL: <https://visualgenome.org>.
11. Krishna R., Zhu Y., Groth O., Johnson J., Hata K., Kravitz J., Chen S., Kalantidis Y., Li L.J., Shamma D.A., Bernstein M.S. Visual genome: Connecting language and vision using crowdsourced dense image annotations / International journal of computer vision. – 123(1). – 2017. – pp. 32 – 73.
12. Miller G.A. WordNet: An electronic lexical database. – MIT press, 1998.
13. Yang J., Lu J., Lee S., Batra D., Parikh D. Graph r-cnn for scene graph generation / Proceedings of the european conference on computer vision. – 2018. – pp. 670 – 685.
14. Iskra N., Iskra V., Lukashevich M. Neural network based image understanding with ontological approach / Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2019): materialy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. – Minsk, 2019. – pp. 113 – 122.
15. Borji A., Cheng M.M., Hou Q., Jiang H., Li J. Salient object detection: A survey / Computational visual media. – 2014. – pp. 1 – 34.
16. Iskra N.A., Mezhen' A.L., Shunkevich D.V. Ontologiya predmetnoy oblasti prostranstvennyh suschnostey dlya sistemy semanticheskogo analiza izobrazheniy / Information Technologies and Systems 2019 (ITS 2019): materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. – Minsk, 2019. – pp. 112 – 113.
17. Shunkevich D., Iskra N. Ontological approach to image captioning evaluation / Pattern Recognition and Information Processing: Proceedings of the 14 international conference. – Minsk: Bestprint, 2019. – pp. 219 – 223.
18. Banerjee S., Lavie A.. METEOR: An automatic metric for MT evaluation with improved correlation with human judgments / Proceedings of the acl workshop on intrinsic and extrinsic evaluation measures for machine translation and/or summarization. – 2005. – pp. 65 – 72.
19. Johnson J., Karpathy A., Fei-Fei L. Densecap: Fully convolutional localization networks for dense captioning / Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2016. – pp. 4565 – 4574.
20. Iskra N., Iskra V. Temporal convolutional and recurrent networks for image captioning / Pattern Recognition and Information Processing: Proceedings of the 14 international conference. – Minsk: Bestprint, 2019. – pp. 346 – 349.

#### **Сведения об авторах**

Искра Н.А., магистр технических наук, старший преподаватель кафедры ЭВМ, БГУИР.

#### **Information about the authors**

Iskra N.A., M. Sci, senior lecturer at ECM department, BSUIR.

#### Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,  
Белорусский государственный  
университет  
информатики и радиоэлектроники  
тел. +375-29-586-93-52;  
e-mail: niskra@bsuir.by  
Искра Наталья Александровна

#### Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovka, st., 6,  
Belarusian state university of  
informatics and radioelectronics  
tel. +375-29-586-93-52;  
e-mail: niskra@bsuir.by  
Iskra Natalia Alexandrovna

**Т.А.РАДИШЕВСКАЯ<sup>1</sup>, Д.В.РАДИШЕВСКИЙ<sup>2</sup>**

### **НЕЙРО-НЕЧЕТКИЙ КЛАССИФИКАТОР ПРЕДАВАРИЙНЫХ СОСТОЯНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ НА ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

<sup>1</sup>Государственное учреждение образования «Белорусская медицинская академия последипломного образования», ул. П. Бровки, 3 корп. 3, г. Минск, 220013, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь

*Поступила в редакцию*

**Аннотация.** В работе описывается нейро-нечеткий классификатор предаварийных состояний оборудования на техногенных объектах, предназначенный для работы в составе инструментальных средств мониторинга промышленных объектов. Использован метод классификации на основе обработки признаков состояния оборудования с помощью математического аппарата нечетких множеств. Математической моделью метода является нейронная сеть прямого распространения, которая реализована в виде библиотеки подпрограмм в среде EasyBuilder Pro. Представлен способ фаззификации признаков и экранная форма, позволяющая в интерактивном режиме задавать базовые точки признаков и лингвистические правила их обработки

*Ключевые слова:* нейро-нечеткий классификатор; предаварийное состояние; инструментальные средства мониторинга промышленных объектов; фаззификатор; базовая точка

**Abstract.** The paper describes a neuro-fuzzy classifier of the pre-emergency conditions of equipment at technogenic facilities, designed to work as part of industrial monitoring tools. The classification method based on the processing of signs of equipment condition using the mathematical apparatus of fuzzy sets is used. The mathematical model of the method is a direct distribution neural network, which is implemented as a library of routines in the EasyBuilder Pro environment. A method of fuzzification of features and a screen form are presented, which allows interactively setting the base points of features and linguistic rules for their processing

*Keywords:* neuro-fuzzy classifier; pre-emergency conditions; industrial monitoring tools; fuzzifier; base point

## Введение

На сегодняшний день промышленность Республики Беларусь стоит на пороге четвертой индустриальной революции (Индустрия 4.0), предусматривающей цифровую трансформацию национальной экономики как основной инструмент обеспечения качественного скачка производительных сил на более высокий уровень технологического развития народного хозяйства страны [1]. Там же цифровая трансформация определяется как деятельность (процесс и проект), направленную на интенсивное распространение использования ИКТ во всех отраслях экономики (видах экономической деятельности) с целью повышения эффективности и конкурентоспособности на макро- и микроуровнях.

Развитие экосистемы Промышленного Интернета Вещей должно базироваться на одном из шаблонов архитектуры ПоТ [2], обеспечивающим эффективное функционирование как существующей производственной инфраструктуры (ПИ), так и интероперабельной («бесшовной») цифровой инфраструктуры связи, обеспечивающей саму возможность функционирования Индустрии 4.0. Такая инфраструктура связи представляет собой распределенную телекоммуникационную систему (РТКС), способную функционировать с заданным уровнем качества обслуживания в реальных условиях эксплуатации (ограниченной пропускной способности каналов связи, сбоях электропитания, недетерминированным временем ожидания транзакций) при наличии технических отказов отдельных элементов РТКС.

Для обеих инфраструктур (ПИ и РТКС) в рамках концепции Индустрии 4.0 требуется решение двух взаимосвязанных задач: во-первых, обеспечение непрерывного функционирования технологических объектов в рамках внедрения системы управления производственными активами (СУПА) на основе принципа обслуживания оборудования по прогнозу его состояния (predictive Maintenance), и, во-вторых, обеспечение отказоустойчивого функционирования этих объектов в рамках системы оповещения об отказах (СОО). Ключевое отличие этих двух систем состоит в их быстродействии: СУПА может иметь низкое быстродействие и задействовать облачные ресурсы, а СОО должна выдавать оповещение оперативному персоналу в течении нескольких секунд и работать в пределах защищенной локальной сети предприятия (на периферии сетевой инфраструктуры).

ПИ и РТКС по назначению отличаются тем, что первая обеспечивает собственно автоматизацию производственных процессов, которая напрямую связана с номенклатурой применяемых программируемых логических контроллеров и/или распределенных систем управления, а вторая является обеспечивающей технологией для функционирования ПоТ. Цифровая трансформация традиционных отраслей промышленности при переходе к Индустрии 4.0 в первую очередь приводит к усложнению структуры РТКС, объекты которой к тому же становятся необслуживаемыми. Таким образом, классификация состояний оборудования РТКС, в отличие от ПИ, начинает сводиться к практической задаче мониторинга сети передачи данных предприятия, в частности контроля таких ее элементов, как Edge computing node (1 – 10 стоечный микро-ЦОД) и Edge networking node (телекоммуникационный шкаф с активным сетевым оборудованием и ИБП).

В работе описывается нейро-нечеткий классификатор (ННК) предаварийных (в рамках СОО) состояний оборудования на техногенных объектах, предназначенный для работы в составе инструментальных средств мониторинга РТКС и ПИ промышленных

объектов. Для построения таких инструментальных средств выбрана архитектура РТКС 4.0 [3] на основе шаблона архитектуры Промышленного Интернета Вещей с использованием Edge Gateway/Hub, причем Edge Gateway/Hub заменен на два типа устройств: Edge hub и Edge gateway. В качестве аппаратной платформы Edge hub выбран сервер сMT-SVR-100 тайваньской компании Weintek Labs, поддерживающий инновационную архитектуру «облачного» человеко-машинного интерфейса Cloud HMI [4]. Базовое серверное устройство сMT-SVR-100 является свободно программируемым, поддерживает стандартные протоколы промышленной автоматизации для более чем 300 типов программируемых логических контроллеров, и в него уже встроен брокер MQTT. Протокол MQTT является основным протоколом IoT (по сравнению с REST, JSON и другими) в связи с минимальным объемом служебной информации (оверхедом) и возможностью подписки облачных сервисов на различные топики.

Архитектура с использованием Edge hub и Edge gateway создает инфраструктуру IoT, которую принято называть edge computing (периферийные вычисления). Эта модель позволяет максимально приблизить вычисления к данным и источникам, которые их генерируют - приложениям и сервисам. Кроме того, одной из наблюдаемых тенденций последних лет стало понимание того, что технологии Big Data не обязательно требуют «подъема» всех данных в самый верхний слой Индустрии 4.0, а допускают «свертку» этих данных для получения интегральных критериев состояния производства. Опыт внедрения показывает, что при сборе с объектов РТКС 1000 признаков (тегов в терминологии SCADA-систем) передача «наверх» 250 тегов является избыточной для диспетчера, и он настоятельно просит выдать нечеткое состояние объекта. Кроме того, если признак не был обработан в течении первых сотен миллисекунд с момента его создания, то скорее всего он не будет обработан никогда.

ННК, базирующийся на линейке устройств сMT-SVR, позволяет создавать СУПА и СОО различного масштаба и функционального назначения без привязки к каким либо конкретным облачным сервисам, а использование устройств общепромышленного назначения позволяет не смешивать алгоритмы работы классификатора (а в перспективе и алгоритмы его обучения) с алгоритмами работы объектов ПИ. В связи с этим дальнейшее изложение основано на примерах, связанных с объектами РТКС.

Метод классификации базируется на основе обработки признаков состояния оборудования с помощью математического аппарата нечетких множеств и математической модели искусственной нейронной сети. Методы и алгоритмы обучения нейронной сети выходят за рамки данной работы.

### **Задача классификации оборудования**

В связи с тем, что объекты РТКС сильнее поддаются типизации/унификации, чем объекты ПИ, дальнейшее изложение связано со спецификой объектов РТКС. Это объясняется тем, что для объектов РТКС номенклатура наблюдаемых признаков намного уже, чем для объектов ПИ. В частности, признаки уровня и спектрального состава вибрации, уровня шума, степени загрязнения материалов и другие подобные признаки характерны для установок машиностроения, энергетики, нефтехимии, но никак не для объектов информационно-коммуникационных технологий, все более уходящих в сферу SDx («программно-определяемого всего»). Однако в физическую (инженерную) инфраструктуру РТКС все еще входят объекты, свойства которых в значительной мере невозможно переопределить программно. Концепция виртуализации хорошо применима к понятиям SDN (Software Defined Network, программно-определяемые сети) и SDS (Software Defined Storage, программно-

определяемые хранилища данных), но не приводит к появлению программно-определяемых шкафов, стоек, кондиционеров, ИБП.

В связи с этим основным объектом мониторинга в РТКС становится телекоммуникационный шкаф (ТШ), состояние которого определяется следующими признаками: температура вверху/внизу шкафа, влажность вверху/внизу шкафа, наличие протечки (конденсата), датчик вскрытия шкафа и, наконец, процент заряда АКБ, установленной в ИБП, и время отсутствия сетевого напряжения на входе ИБП. Эти признаки имеют разную физическую природу, но они сильно взаимосвязаны, и связь устанавливается при помощи математического аппарата нечетких множеств [5, 6].

### Введение нечеткости - фаззификация

Фаззификация проводится в отношении всех признаков, входящих в нейро-нечеткий классификатор. В соответствии с [5] будем называть этот признак лингвистической переменной, которая должна быть описана одним или несколькими лингвистическими терминами. В НКК используются следующие лингвистические термины:

- 1) LA («Low Alarm») – значение параметра ниже минимального порога аварии;
- 2) LW («Low Warning») – значение параметра ниже минимального порога предупреждения, но выше порога аварии;
- 3) G («Good») - значение параметра в норме;
- 4) HW («High Warning») – значение параметра выше максимального порога предупреждения, но ниже порога аварии;
- 5) HA («High Alarm») – значение параметра выше максимального порога аварии.

Такой алфавит позволяет привести все параметры разного типа (разного физического смысла) к набору однотипных лингвистических переменных, которые обрабатываются нейронной сетью. Если предположить, что элемент РТКС описывается набором из  $m$  признаков, то действующая нейро-нечеткая система классификации будет представлять собой нейронную сеть, в которой входной слой будет состоять из  $m$  фаззификаторов, далее будет следовать до  $m$  слоев с узлами, в которых лингвистические переменные сравниваются попарно. Отличием реализованного фаззификатора от традиционных решений является то, что каждый признак предварительно обрабатывается масштабатором (scaler) для приведения его к чисто цифровому (crisp) значению в диапазоне от 0 до 100.

Рассмотрим два связанных параметра: процент заряда АКБ не требует масштабирования, так как в любом случае он находится в пределах от 0 до 100%; время отсутствия сетевого напряжения на входе ИБП до 10 минут по экспертным оценкам линейно отображается на интервал 0 – 100, а более длительные временные интервалы дают значение 100. Далее лингвистические термины описываются функцией принадлежности, которая представляет собой кусочнолинейную функцию, определяемую таблицей точек. Каждая точка представляет собой пару значений переменной и степень принадлежности данных значений, разделенные запятой. Пары заключены в скобки и разделены запятыми. Например, функцию принадлежности с тремя точками для лингвистического термина G можно описать как

$$G: = (40,0; 0,0) (50,0; 1,0) (60,0; 0,0);$$

Если этот терм относится к признаку «влажность», то он описывает нормальное значение влажности от 40 до 60%. Таким образом можно определить все простые элементы, причем используется изменение только по линейному или треугольному закону. Точки задаются в порядке возрастания значения переменной, а функция принадлежности между соседними точками является линейной. Степень

принадлежности для каждого термина рассчитывается по четкому входному значению с помощью линейной интерполяции между двумя соответствующими соседними точками функции принадлежности.

Точки определяются при помощи базовых точек (BP1 – BP5), причем число этих точек равно числу лингвистических термов. Если значение лингвистической переменной меньше, чем первая базовая точка в таблице соответствия, все значения ниже первой точки в таблице соответствия должны иметь такую же степень принадлежности, как и определенная для первой точки. Если значение лингвистической переменной больше, чем последняя базовая точка в таблице соответствия, все значения больше последней точки в таблице соответствия должны иметь такую же степень принадлежности, как и определенная для последней точки. При настройке ННК базовые точки в функции принадлежности изменяются в интерактивном режиме.

Пример использования базовых точек для определения функций принадлежности приведен на рисунке 1.

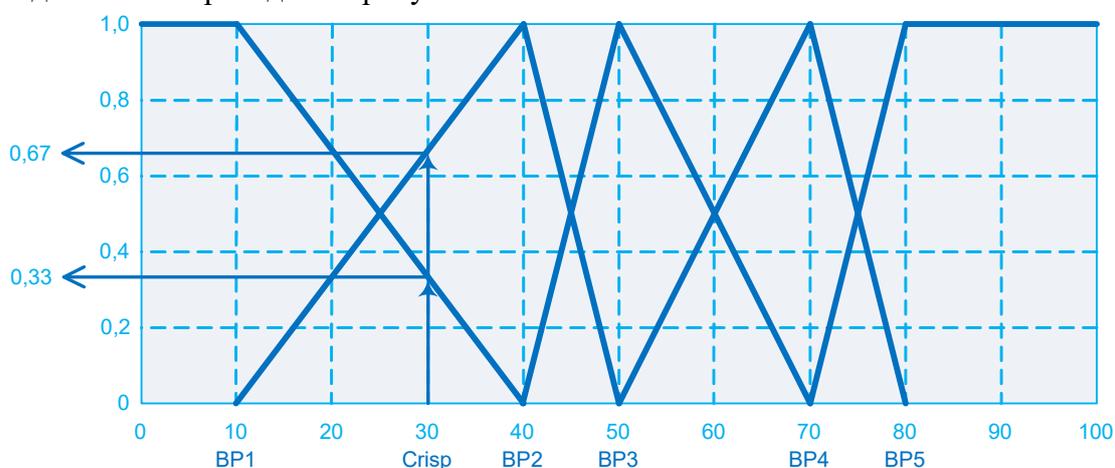


Рис. 1. Определение функций принадлежности при помощи базовых точек

На рисунке 1 также показано, что четкое (crisp) значение лингвистической переменной, равное 30, соответствует лингвистическому терму «L» с вероятностью 0,33, а терму «LW» - 0,67. Следует отметить, что треугольный закон не обязательно должен быть равнобедренным.

### База лингвистических правил

Теория нечеткой логики применительно к задачам классификации состояний оборудования представляет собой технологию, обеспечивающую практическое применение знаний, представленных в базах лингвистических правил, что принципиально отличает нечеткие классификаторы от эмпирических или теоретических аналитических моделей. Более того, если нечеткий классификатор реализован в рамках математической модели нейронной сети с возможностью адаптации к среде, генерирующей признаки, то ННК способен извлекать знания из среды. Поскольку эти знания представлены в лингвистической форме, они могут легко интерпретироваться экспертом или лицом, принимающим решение (ЛПР). Это делает возможным использование новых знаний для усовершенствования технологических процессов и решения других задач, например, настройки параметров систем в интерактивном или автономном режиме, принятия решений в реальном времени, обнаружения и диагностики неисправностей систем.

Экранная форма, описывающая нейрон ННК, определяет два входных признака (соответственно две лингвистические переменные) с различными наборами базовых точек и набор лингвистических правил в виде матрицы 5x5 элементов. Выход каждого лингвистического правила является лингвистическим термом. В первом слое ННК входные параметры поступают от устройств Edge gateway, представляющим собой устройство сбора данных, взаимодействующее с физическими вещами либо через встроенные в вещи устройства переноса данных (например, модемы), либо напрямую. В случае, если физическая вещь (в терминологии IoT) поддерживает протокол MODBUS RTU (промышленные датчики температуры, влажности, кондиционеры, ИБП производства APC), то Edge gateway должен выполнять функции концентратора данных MODBUS и/или маршрутизатора интерфейсов MODBUS.

На рисунке 2 показан интерфейс экранной формы, обеспечивающей считывание и масштабирование двух параметров (сетевое напряжение на входе ИБП и процент заряда АКБ) по протоколу MODBUS RTU от ИБП производства APC [7].



Рис. 2. Экранная форма для ИБП

При построении экранной формы принято условие, что нечеткая операция *AND* означает *MIN*, а нечеткая операция *OR* означает *MAX*, тогда нечеткое правило  $R_j$ , основанное на комбинации *OR* из  $m$  утверждений, может быть представлено  $m$  правилами, утверждения которых комбинируются только с помощью *AND*. Для используемого в ННК случая двух входных переменных и одной выходной переменной, причем эти две входные переменные комбинируются только с помощью *AND*, база правил задается в форме матрицы, в которой значения входных переменных приведены в столбцах и строках, а поля матрицы содержат значения выходной переменной.

## Дефаззификация

Результатом работы СОО является одна или несколько лингвистических переменных, отражающих состояние РТКС и в общем случае не требующих чисто числового представления, или дефаззификации. Наиболее частым требованием заказчиков является необходимость рассылки сообщений электронной почты на локальный SMTP-сервер в пределах изолированной локальной сети предприятия.

В отличие от СОО, СУПА должна поддерживать любые действия, направленные на поддержание или улучшение технического состояния оборудования, в том числе кроме непосредственно технического обслуживания и ремонта также управление материальными и техническими ресурсами предприятия. Для принятия управленческих решений на основании качественной оценки технического состояния оборудования в СУПА применяется его количественная оценка, которой является Индекс Технического Состояния (ИТС) [5].

На рисунке 3 показано наиболее часто встречающееся соответствие между качественной лингвистической (нечеткой, fuzzy) оценкой состояния оборудования и ее количественным (четким, crisp) аналогом. Следует отметить, что величина ИТС характеризует техническое состояние оборудования с точки зрения соответствия его параметров номинальным значениям, определяемой нормативно-технической (НТД) или конструкторской (КД) документацией.

Вид состояния	Критическое	Плохое	Удовлетворительное	Хорошее	Очень хорошее
Качественная оценка	Требуется срочное техническое воздействие, дальнейшая эксплуатация недопустима	Значение хотя бы одного параметра, связанного с реализацией функций оборудования, не соответствует НТД или КД. Требуется усиленный контроль состояния, эксплуатация возможна с ограничениями	Значение хотя бы одного параметра, связанного с реализацией функций оборудования, соответствует НТД и КД, однако близко к предельным значениям. Требуется усиленный контроль состояния	Воздействие осуществляется по результатам планового диагностирования	Воздействие не требуется и контроль осуществляется в рамках планового диагностирования
Диапазоны шкалы ИТС	$0 \leq \dots < 30$	$30 \leq \dots < 50$	$50 \leq \dots < 70$	$70 \leq \dots < 85$	$85 \leq \dots \leq 100$

Рис. 3. Таблица соответствия качественной и количественной оценок состояния оборудования

При таких диапазонах шкалы ИТС пять состояний оборудования отображаются на лингвистические термы ННК путем задания базовых точек 15; 40; 60; 77 (или 78); 92 (или 93). Числовое значение ИТС, которое получаем при дефаззификации, в текущей реализации ННК определяется методом центра тяжести для сингтонов [5].

## Заключение

Нейро-нечеткий классификатор предаварийных состояний разработан в виде библиотеки функций фаззификации/дефаззификации и интерпретатора базы правил в программном пакете EasyBuilderPro [8], который является бесплатным и свободно распространяемым. Устройство для контроля и управления процессом выбирается в зависимости от поставленной задачи. Серия сМТ позволяет осуществлять доступ к проекту с трех устройств одновременно, расположенных в любом удобном для оператора месте. Благодаря программе сМТViewer есть возможность получить доступ к проекту с персонального компьютера или графического планшета (Android или iOS), которые находятся в одной локальной сети (Ethernet/Wi-Fi). Для управления и контроля процессом через Internet можно установить приложение EasyAccess 2.0, причем для этого не нужно использовать статический IP-адрес, настраивать маршрутизатор или конфигурировать отображения портов. Для сопряжения сМТ-SVR с Edge gateway авторами разработан драйвер протокола MODBUS RTU over Ethernet.

### Список литературы

1. Крупский, Д. М. О концептуальных подходах к организации цифровой трансформации национальной экономики Беларуси / Д. М. Крупский // Цифровая трансформация. – 2018. – № 2 (3). – С. 29–36.
2. The Industrial Internet of Things. Volume G1: Reference Architecture. [Electronic resource]. Mode of access: [www.iicinsortium.org/ИИТ\\_PUB\\_G1\\_V1.80\\_2017-01-31.pdf](http://www.iicinsortium.org/ИИТ_PUB_G1_V1.80_2017-01-31.pdf). - Date of access: 12.09.2019.
3. Радишевская, Т. А., Радишевский, Д. В. Архитектура Промышленного Интернета Вещей для цифрового преобразования производства / Т. А. Радишевская, Д. В. Радишевский // Современные средства связи : материалы XXIV Междунар. науч.-техн. конф., 17–18 окт. 2019 года, Минск, Респ. Беларусь ; редкол. : А. О. Зеневич [и др.]. – Минск : Белорусская государственная академия связи , 2019. – С. 43-44.
4. Шкляев Е. Технология CloudHMI компании Weintek // Современные технологии автоматизации. -2018. - № 1. С. 12-15.
5. IEC 61131-7. Programmable controllers – Part 7: Fuzzy control programming.
6. Нечеткие системы и мягкие вычисления. Промышленные применения. Fuzzy Technologies in the Industry (FTI-2017): Первая Всероссийская научно-практическая конференция (Россия, г. Ульяновск, 14-15 ноября, 2017 г.): сборник научных трудов. – Ульяновск : УлГТУ, 2017. – 406 с.
7. Modbus Implementation in APC Smart-UPS. [Electronic resource]. Mode of access: [https://www.apc.com/salestools/МРАО-98KJ7F/МРАО-98KJ7F\\_R0\\_EN.pdf](https://www.apc.com/salestools/МРАО-98KJ7F/МРАО-98KJ7F_R0_EN.pdf). - Date of access: 10.11.2019.
8. EasyBuilder Pro User Manual Ver. 6.03.01. [Electronic resource]. Mode of access: [https://dl.weintek.com/public/EBPro/UserManual/eng/EasyBuilderPro\\_V60301\\_UserManual\\_eng.pdf](https://dl.weintek.com/public/EBPro/UserManual/eng/EasyBuilderPro_V60301_UserManual_eng.pdf). - Date of access: 10.11.2019.

### References

1. Krupsky D. M. On Conceptual Approaches to Digital Transformation of the National Economy of Belarus. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2018, 2 (3), pp. 29–36 (in Russian).
2. The Industrial Internet of Things. Volume G1: Reference Architecture. [Electronic resource]. Mode of access: [www.iicinsortium.org/ИИТ\\_PUB\\_G1\\_V1.80\\_2017-01-31.pdf](http://www.iicinsortium.org/ИИТ_PUB_G1_V1.80_2017-01-31.pdf). - Date of access: 12.09.2019.

3. Radishevskaja T. A., Radishevskiy D. V. Arhitektura Promyshlennogo Interneta Veshhej dlya cifrovogo preobrazovaniya proizvodstva / T. A. Radishevskaja, D. V. Radishevskiy // Sovremennye sredstva svjazi : materialy XHIV Mezhdunar. nauch.-tehn. konf., 17–18 okt. 2019 goda, Minsk, Resp. Belarus' ; redkol. : A. O. Zenevich [i dr.]. – Minsk : Belorusskaja gosudarstvennaja akademija svjazi , 2019. – S. 43-44.

4. Shklyayev E. Weintek CloudHMI technology // Sovremennye tehnologii avtomatizacii. -2018. - № 1. S. 12-15.

5. IEC 61131-7. Programmable controllers – Part 7: Fuzzy control programming.

6. Nechetkie sistemy i mjagkie vychislenija. Promyshlennye primenenija. Fuzzy Technologies in the Industry (FTI-2017): Pervaja Vserossijskaja nauchno-prakticheskaja konferencija (Rossija, g. Ul'janovsk, 14-15 nojabrja, 2017 g.): sbornik nauchnyh trudov. – Ul'janovsk : UIGTU, 2017. – 406 s.

7. Modbus Implementation in APC Smart-UPS. [Electronic resource]. Mode of access: [https://www.apc.com/salestools/MPAO-98KJ7F/MPAO-98KJ7F\\_R0\\_EN.pdf](https://www.apc.com/salestools/MPAO-98KJ7F/MPAO-98KJ7F_R0_EN.pdf). - Date of access: 10.11.2019.

8. EasyBuilder Pro User Manual Ver. 6.03.01. [Electronic resource]. Mode of access: [https://dl.weintek.com/public/EBPro/UserManual/eng/EasyBuilderPro\\_V60301\\_UserManual\\_eng.pdf](https://dl.weintek.com/public/EBPro/UserManual/eng/EasyBuilderPro_V60301_UserManual_eng.pdf). - Date of access: 10.11.2019.

#### Сведения об авторах

Радишевская Т.А., старший преподаватель кафедры финансового менеджмента и информатизации здравоохранения Белорусской медицинской академии последипломного образования

Радишевский Д.В., магистрант кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

#### Information about the authors

Radishevskaja T. A., senior teacher of the Department of Economics and Health Informatics of the Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education

Radishevskiy D. V., master's student of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

#### Адрес для корреспонденции

**Адрес:** г. Минск, ул. П. Бровки, д.3, к.3, 702-707

Белорусская медицинская академия последипломного образования

**Телефон:** (+375 29) 756-32-51

**e-mail:** rta1504@mail.ru

Радишевская Татьяна Александровна

#### Address for correspondence

**Address:** 220013, Republic of Belarus, Minsk, P.Brovki str. 3, building 3 , 702-707

Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education

**Phone:** (+375 29) 756-32-51

**e-mail:** rta1504@mail.ru

Radishevskaja Tat'jana Aleksandrovna

**С. Б. САЛОМАТИН**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ СЕНСОРНОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ КОДОВЫХ РЕШЕТОК**

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

*Поступила в редакцию*

Аннотация. Рассмотрены алгоритмы определения параметров активных источников сенсорных сетей с использованием теории решеток и процедур сферического декодирования и векторного квантования.

Ключевые слова: теория решеток, сенсорные сети, линейные коды, векторное квантования, сферическое декодирование.

### **Введение**

Беспроводная сенсорная сеть представляет собой совокупность большого числа компактных электронных устройств — сенсоров, каждое из которых может осуществлять сбор (мониторинг) и первичную обработку определенной информации, а также обмениваться информацией с другими сенсорами посредством радиосвязи. Проблема рационального расходования энергии является одной из основных при проектировании БСС [1].

В модели сети предполагается, что сенсор может успешно вести наблюдение в области, ограниченной кругом с радиусом  $d$  с центром в месте расположения сенсора. Величина  $d$  называется радиусом мониторинга. При этом количество энергии, затрачиваемое сенсором в единицу времени, пропорционально  $d^2$ . Будем говорить, что точка на плоскости покрыта сенсором, если расстояние между ней и сенсором не превышает радиуса мониторинга [1 – 3].

В настоящей работе решается задача определения параметров активных источников в сенсорной регулярной сети на основе теории решеток

### **Сферическое декодирование**

В основе процедуры декодирования лежит алгоритм поиска точки сферической решетки  $\mathbf{s} \in \mathbb{Z}^m$  радиуса  $d$  наиболее близко расположенной от вектора  $\mathbf{x}$ .

Требуется разрешить целочисленную неопределенность

$$\min_{\mathbf{s} \in \mathbb{Z}^m} \|\mathbf{x} - \mathbf{H}\mathbf{s}\|^2$$

где  $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ ,  $\mathbf{H} \in \mathbb{R}^{n \times m}$  и  $\mathbb{Z}^m$  — представляет собой  $m$ -мерную целочисленную решетку;  $\mathbf{s}$  —  $m$ -мерный вектор с целыми элементами.

Геометрическая интерпретация процесса декодирования показана на рис. 1.

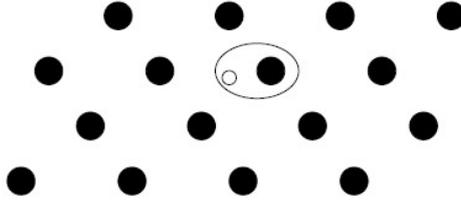


Рис.1. Геометрия процесса декодирования

Одно из решений определения радиуса сферы состоит в определении  $d$  как радиуса покрывающей решетки, т.е. найти наименьший радиус сфер с центрами в точках решетки, покрывающий все искомое пространство [5 – 7].

Другой путь состоит в трактовке  $d$  как расстояния между некоторой оценкой (Бабаи [5])  $\hat{s}_B$  и вектором  $x$ . Иными словами  $d = \|x - H\hat{s}_B\|$ .

Оценка  $\hat{s}_B$  гарантирует существование как минимум одной точки решетки внутри сферы.

### Оценка параметров источников с использованием векторного квантования на решетке

Пусть  $\{\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n\}$  – множество линейно независимых векторов в  $\mathbb{R}^n$ . Решетка  $\Lambda$ , сформированная  $\{\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n\}$  представляет собой множество всех точек вида [4]

$$\mathbf{y} = \sum_{i=1}^n c_i \mathbf{u}_i,$$

где  $\{\mathbf{u}_i\}$  – базис  $n$ -мерной решетки.

Матрица  $\mathbf{U} = \begin{bmatrix} \mathbf{u}_1 \\ \dots \\ \mathbf{u}_n \end{bmatrix}$  – генераторная (порождающая) матрица решетки. Любой вектор

решетки может быть определен как  $\mathbf{y} = \mathbf{cU}$ ,  $\mathbf{c} = (c_1, \dots, c_n)$ .

На рис. 2 изображены ячейки Вороного [4] и базисные векторы прямоугольной решетки

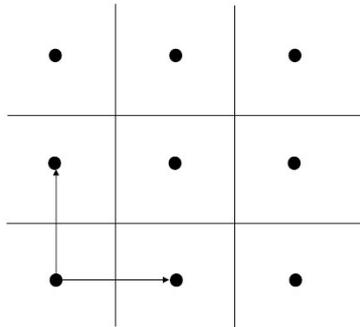


Рис. 2. Ячейки Вороного и базисные векторы прямоугольной решетки

Гексагональная решетка  $A_2$  имеет следующую генераторную матрицу

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/2 & \sqrt{3}/2 \end{bmatrix}.$$

Любой вектор  $\mathbf{y} = (y_1, y_2)$  в этой решетке может быть записан в виде  $y_1 = c_1 + c_2/2$ ,  $y_2 = c_2\sqrt{3}/2$ .

Процесс квантования с использованием решетки предполагает использование кодовых книг (таблиц), построенных на решетке. Аппроксимация векторов проявляется в виде вычисления центроидов конгруэнтного многоугольника Вороного. На рис. 2 показана структура Вороного на гексагональной решетке

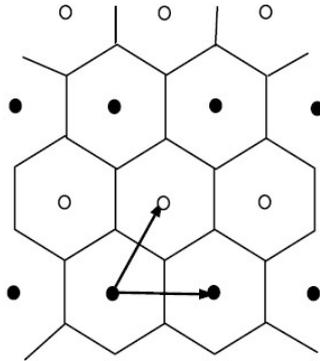


Рис. Гексагональная решетка

Рассмотрим вопрос векторного квантования на гексагональной решетке. Пусть  $A_2$  есть объединение масштабированной решетки и её трансляции. Любой вектор  $S^2$  имеет форму  $\mathbf{y}_1 = c_1, c_2\sqrt{3}$ .

Любой вектор аппроксимации может быть представлен в виде

$$\mathbf{y}_2 = (c_1 + 1/2, c_2\sqrt{3} + \sqrt{3}/2) = \mathbf{y}_1 + (1/2, \sqrt{3}/2).$$

Например, пусть  $\mathbf{x} = (-5,6, 0,82)$ . Аппроксимация с использованием  $\mathbf{y}_1$  дает  $(-6,0, 0)$ . Аппроксимация с  $\mathbf{y}_2$  приводит к результату  $(-5,5, \sqrt{3}/2)$ . Наилучшим является  $(-5,5, \sqrt{3}/2)$ . Ему соответствует ошибка  $\|\mathbf{x} - \mathbf{y}\|^2/2 = 0,0058$ . Результат равен  $c_1 = -6, c_2 = 1$ .

### Кодовое векторное квантование

Специальный класс решеток основывается на линейных кодах. Пусть  $C$  будет  $(n, k)$  бинарный линейный код. Решетка  $\Lambda(C)$  определяется как

$$\Lambda(C) = \{\mathbf{y} \in \mathbb{Z}^n | \mathbf{y} \equiv \mathbf{c} \pmod{2} \text{ для } \mathbf{c} \in C\}.$$

Предполагается, что порождающая матрица имеет систематическую форму и задается как

$$G = [I|B].$$

Тогда

$$U = \begin{bmatrix} I & B \\ 0 & 2I \end{bmatrix}, \Lambda(C) = \bigcup_{i=0}^{2^k-1} (c_i + 2\mathbb{Z}^n).$$

### Процедура квантования

Для каждого  $2^k$  смежных классов  $2\mathbb{Z}^n$  выполняются следующие действия:

1. Из принимаемого вектора вычитается кодовое слово  $\mathbf{d}_i = \mathbf{x} - \mathbf{c}_i$ .
2. Осуществляется скалярное квантование каждой компоненты  $\mathbf{d}_i$  с шагом 2 до получения квантованного вектора  $\mathbf{q}_i$ .
3. Вычисляется ошибка квантования  $\|\mathbf{x} - \mathbf{y}_i\|^2, \mathbf{y}_i = 2\mathbf{q}_i + \mathbf{c}_i$ .
4. Находится ближайшая пара  $(\mathbf{q}_i, \mathbf{c}_i)$ , минимизирующая ошибку.
5. Сохраняется или передается пара  $(\mathbf{q}_i, i)$ .

### Процедура восстановления

1. Реконструируется аппроксимирующий вектор  $\hat{\mathbf{d}}_i, \hat{\mathbf{d}}_i = 2\mathbf{q}_i$ .
2. Аппроксимирующий вектор складывается с соответствующим кодовым словом

$$\mathbf{y}_i = \hat{\mathbf{d}}_i + \mathbf{c}_i.$$

Пример. Пусть  $C - (3, 2)$  линейный блочный код с генераторной матрицей

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Генераторная матрица решетки на основе линейного кода  $C$  имеет вид

$$U = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}.$$

Положим, что принимаемый вектор  $\mathbf{x} = (0,4 \ 1,2 \ 3,7)$ . Проводя вычисления получаем

$\mathbf{c}_0 = (0,0,0)$	$\mathbf{q}_0 = (0,1,2)$	$\hat{\mathbf{d}}_0 = (0,2,4)$	$\mathbf{y}_0 = (0,2,4)$	$D_0 = 0.297$
$\mathbf{c}_1 = (0,1,1)$	$\mathbf{q}_1 = (0,0,1)$	$\hat{\mathbf{d}}_1 = (0,0,2)$	$\mathbf{y}_1 = (0,1,3)$	$D_1 = 0.230$
$\mathbf{c}_2 = (1,0,1)$	$\mathbf{q}_2 = (0,1,1)$	$\hat{\mathbf{d}}_2 = (0,2,2)$	$\mathbf{y}_2 = (1,2,3)$	$D_2 = 0.497$
$\mathbf{c}_3 = (1,1,0)$	$\mathbf{q}_3 = (0,0,2)$	$\hat{\mathbf{d}}_3 = (0,0,4)$	$\mathbf{y}_3 = (1,1,4)$	$D_3 = 0.163$

Наилучший результат получаем для  $i = 3, \mathbf{q}_3 = (0,0,2), \hat{\mathbf{d}}_3 = (0,0,4), \mathbf{y}_3 = (1,1,4), D_3 = 0.163$ .

### Заключение

Алгоритмы на основе теории решеток позволяют эффективно определять параметры активных источников в сенсорных сетях с регулярной структурой расположения сенсоров

### Список литературы

1. Anastasi, J. Energy Conservation in Wireless Sensor Networks: A Survey / J. Anastasi, M. Conti, M. Di Francesco, A. Passarella. – Ad Hoc Networks. 2009. Vol. 7. No. 3. P. 537–568.
2. Cardei, M. Improving Wireless Sensor Network Lifetime through Power Aware Organization/ M. Cardei, D. Z. Du. – ACM Wireless Networks. 2005. Vol. 11. No. 3. P. 333–340.
3. Астраков, С. Н. Сенсорные сети и покрытие плоскости кругами / С. Н. Астраков, А. И. Ерзин, В. В. Залюбовский. – Дискретный анализ и исследование операций. 2009. Т. 16, No 3. С. 3–19.
4. Кудряшов, Б.Д. Теория информации/Б. Д. Кудряшов. – СПб.: Питер, 2009. – 320 с.

5. Damen, M. O. On maximum-likelihood detection and the search for the closest lattice point/ M. O. Damen, H. E. Gamal, and G. Caire. – IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 49, no. 10, pp. 2389–2402, Oct. 2003
6. Hassibi, B. On the sphere decoding algorithm I. Expected complexity/ B. Hassibi and H. Vikalo. – IEEE Trans. Signal Processing, vol. 53, no. 8, pp. 2806–2818, Aug. 2005.
7. E. Agrell, E. Closest point search in lattices/ E. Agrell, E. Thomas, A. Vardy, K. Zeger. – IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 48, no. 8, pp. 2201–2214, Aug. 2002.

## **DETERMINATION OF PARAMETERS OF ACTIVE SOURCES OF TOUCH NETWORK USING THE THEORY OF CODE LATTICES**

S. B. SALOMATIN

Abstract. Algorithms for determining the parameters of active sources of sensor networks using lattice theory and spherical decoding and vector quantization procedures are considered.

Keywords: lattice theory, sensor networks, linear codes, vector quantization, spherical decoding.

### **Reference**

1. Anastasi, J. Energy Conservation in Wireless Sensor Networks: A Survey / J. Anastasi, M. Conti, M. Di Francesco, A. Passarella. – Ad Hoc Networks. 2009. Vol. 7. No. 3. P. 537–568.
2. Cardei, M. Improving Wireless Sensor Network Lifetime through Power Aware Organization/ M. Cardei, D. Z. Du. – ACM Wireless Networks. 2005. Vol. 11. No. 3. P. 333–340.
3. Astrakov, S. N. Sensor networks and covering the plane with circles / S. N. Astrakov, A. I. Erzin, V. V. Zalyubovsky. - Discrete analysis and operations research. 2009. Vol. 16, No. 3. P. 3–19.
4. Kudryashov, B.D. Information Theory / B. D. Kudryashov. - St. Petersburg: Peter, 2009. -- 320 p.
5. Damen, M. O. On maximum-likelihood detection and the search for the closest lattice point/ M. O. Damen, H. E. Gamal, and G. Caire. – IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 49, no. 10, pp. 2389–2402, Oct. 2003
6. Hassibi, B. On the sphere decoding algorithm I. Expected complexity/ B. Hassibi and H. Vikalo. – IEEE Trans. Signal Processing, vol. 53, no. 8, pp. 2806–2818, Aug. 2005.
7. E. Agrell, E. Closest point search in lattices/ E. Agrell, E. Thomas, A. Vardy, K. Zeger. – IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 48, no. 8, pp. 2201–2214, Aug. 2002.

### **Сведения об авторах**

Саломатин Сергей Борисович– к.т.н.,  
доцент кафедры  
инфокоммуникационных технологий  
БГУИР.

### **Information about the authors**

Salomatin S. B. , PhD, associate-professor,  
BGUIR

### **Адрес для корреспонденции**

220013, Республика Беларусь,

### **Address for correspondence**

220013 Belarus, Brovki Street, Minsk

ул. П. Бровки, 6  
Белорусский Государственный  
Университет Информатики и  
Радиоэлектроники  
+375 29 671 47 32  
e-mail: salomatin@bsuir.by  
Саломатин Сергей Борисович

220013 Belarus  
Belarusian State University of Informatics  
and Radioelectronics  
+375 29 671 47 32  
e-mail: salomatin@bsuir.by  
Salomatin Sergei Borisivich

**В.В. ФОМЕНОК**

## **МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСТАЛОСТИ ВОДИТЕЛЯ ЗА РУЛЕМ**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники П.  
Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

**Аннотация.** В данной работе были изучены способы обнаружения усталости или состояния тревоги водителя на основе изображений, сделанных во время вождения, и на основе анализа состояния глаз водителя: открытых, полуоткрытых и закрытых. Для этого были использованы 2 вида нейронных сетей: сеть с 1 скрытым слоем и сеть с автоэнкодером.

*Ключевые слова:* Распознавание усталости, классификация изображений, автоэнкодер, искусственные нейронные сети.

**Abstract.** In this work have studied the possibility to detect the drowsy or alert state of the driver based on the images taken during driving and by analyzing the state of the driver's eyes: opened, half-opened and closed. For this purpose two kinds of artificial neural networks were employed: a 1 hidden layer network and an autoencoder network.

*Keywords:* Drowsiness detection, image classification, autoencoder, neural networks

### **Введение**

Автомобильные аварии являются одной из основных причин травм и смерти человека. Статистика показывает, что автомобильные аварии во всем мире 9-я причина смерти: 1,3 миллиона человек ежегодно погибают в автомобильных авариях, или 3287 в день.

Усталость во время управления транспортным средством имеет следующие симптомы: частое зевание, закрытые глаза, сложно сосредоточиться на дороге, не помня о том, что произошло в последние несколько минут вождения, не соблюдая правильное расстояние от машины впереди, пропуская дорожные знаки и приближаясь слишком близко к стороне или центру дороги. Статистика показала, что более 10% несчастных случаев происходят из-за усталости, большинство из которых происходит на шоссе или после проезда на большое количество километров. Влияние усталости на несчастные случаи было доказано на протяжении нескольких исследований. По данным Национального управления безопасности дорожного движения (NHTSA), в

среднем за период с 2009 по 2013 год ежегодно регистрировалось более 72 000 аварий, в которых участвовали сонные водители, ранения получили более 41 000 человек, умерло более 800 человек.

В последние годы производители автомобилей разработали системы, которые направлены на снижение всех факторов, которые могут привести к несчастным случаям. Так появились датчики предупреждения о переезде, адаптивный автопилот, который держит постоянное расстояние от переднего транспортного средства, а также датчики обнаружения усталости. Автопроизводители давно изучили возможности выявления усталости водителя и, конечно же, лучшие решения для своевременного предупреждения. Системы включают различные типы оборудования, которые могут предотвратить несчастные случаи, вызванные усталостью.

### Обнаружение усталости водителя с использованием нейронных сетей

Для классификации усталости или состояния тревоги водителя использовались искусственные нейронные сети. В последние десятилетия искусственные нейронные сети широко используются для классификации изображений. Чтобы проанализировать состояние сонливости водителя, было получено 200 изображений водителя во время обычного процесса вождения. Сто изображений содержат изображения с открытыми глазами или полуоткрытыми глазами, а еще сто изображений содержат изображения с закрытыми глазами.

#### *Искусственная нейронная сеть со скрытым слоем*

После получения 200 изображений 140 из них были использованы для обучения, проверки и тестирования нейронной сети: 70 с открытыми глазами или полуоткрытыми глазами и 70 с закрытыми глазами. Остальные изображения (30 для открытых или полуоткрытых глаз и 30 для закрытых глаз) оставляли для тестирования сети после завершения тренировочного процесса. Сеть обучалась с использованием структуры, представленной на рисунке 1 (2601 нейрон во входном слое, 10 нейронов в скрытом слое и 2 нейрона в выходном слое). Количество нейронов во входном слое соответствует количеству элементов входного вектора, который является версией с пониженной дискретизацией изображения драйвера с преобразованием в один столбец (представленной матрицей уровня серого  $51 \times 51$  элементов). Количество нейронов в выходном слое соответствует числу возможных категорий, по которым можно классифицировать изображение (2 категории: усталость или тревога).

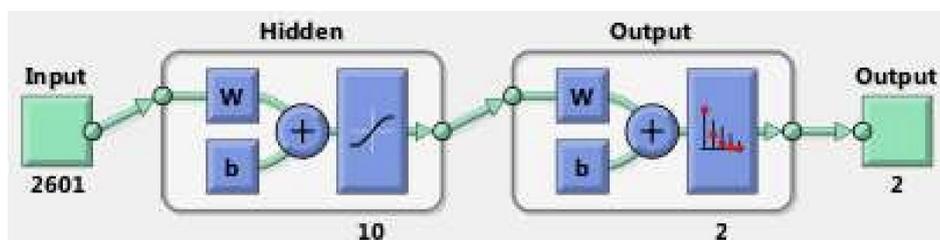


Рис. 1. Нейронная сеть с одним скрытым слоем

В процессе обучения были получены диаграмма результатов обучения и гистограмма ошибок обученной сети, которые представлены на рисунке 2. Можно заметить, что тренировочные показатели достигают значений менее  $10^{-6}$  в 25 эпохах, а границы гистограммы находятся в диапазоне от  $-1,5 \times 10^{-6}$  до  $1,46 \times 10^{-6}$ , что является очень хорошими результатами.

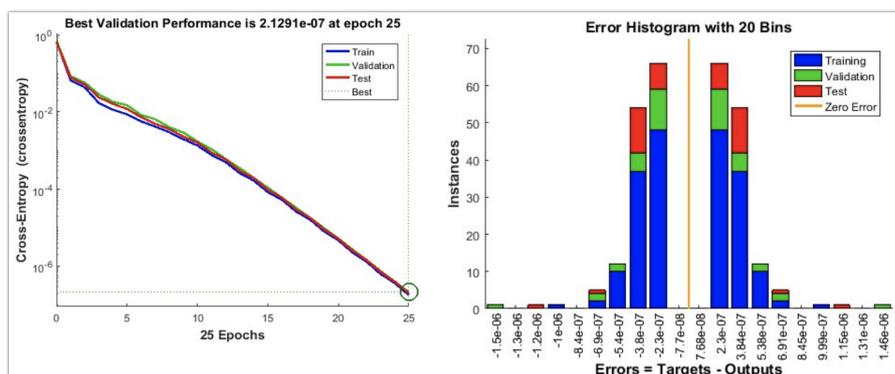


Рис. 2. Диаграмма производительности и гистограмма ошибок обученной сети.

### Искусственная нейронная сеть с автоматическим кодированием

Для сети с автоматическим кодированием использовались те же входные данные, что и в случае сети со скрытым слоем. Автоэнкодеры используют методы для отдельного обучения каждого слоя, затем объединяют их в одну сеть с несколькими слоями и обучают конечную сеть в целом. Структура сети представлена на рисунке 3.

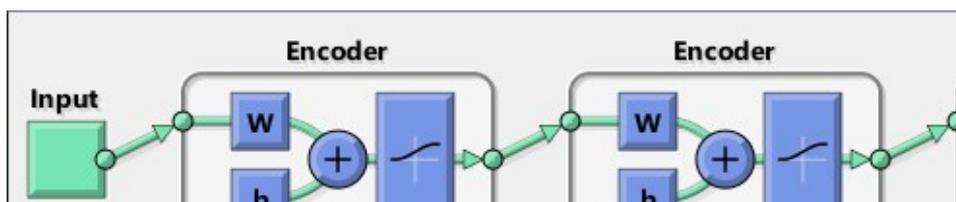


Рис. 3. Нейронная сеть с двумя скрытыми слоями автоэнкодеров

Результаты обучения автоэнкодера представлены на рисунке 4. На рисунке слева представлена производительность тренировки, когда она достигла значения менее 0,034 после 438 эпох. На рисунке справа результаты теста показывают, что не было получено ложных срабатываний или ложных отрицательных результатов. Это означает, что каждое тестовое изображение (60 изображений - 30 для каждого класса) было правильно классифицировано.

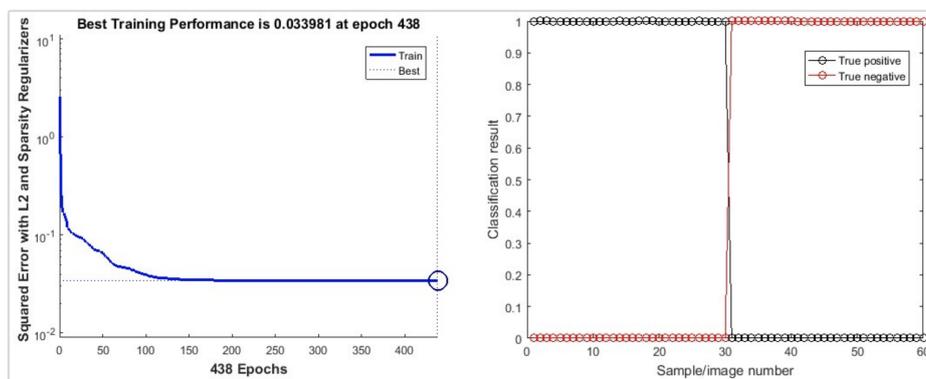


Рис. 4. Производительность обучения и результаты тестирования для сети автоэнкодеров.

## Заклучение

Анализируя результаты применения нейронных сетей к полученным изображениям, можно сделать вывод, что обе сети дали очень хорошие результаты со 100% положительными результатами классификации. Небольшое количество нейронов, используемых в скрытых слоях для успешной классификации изображения (10 для сети с 1 скрытым слоем и 15 для сети с автоматическим кодированием) позволяют реализовать эти сети на компактных вычислительных устройствах, используя очень небольшую часть их памяти. Кроме того, время обработки составляет порядка миллисекунд. Обучение сети может быть сделано специально для каждого водителя, таким образом увеличивая вероятность успеха классификации.

## Список литературы

1. Волчек А.А., Пойта П.С., Шведовский П.В. Мониторинг, оценка и прогноз чрезвычайных ситуаций и их последствий – Брест : Альтернатива, 2012. – 426 с.
2. Riedmiller, M. Advanced supervised learning in multi-layer perceptrons—from backpropagation to adaptive learning algorithms //Computer Standards & Interfaces. – 1994. – V. 16. – №. 3. – P. 265-278.
3. Морковкина Е. А. Исследование профессионально-важных качеств водителей транспортных средств // Молодой ученый. 2009. №3. С. 143-151.

## References

1. Volchek A.A., Pojta P.S., Shvedovskij P.V. Monitoring, ocenka i prognoz chrezvychajnyh situacij i ih posledstvij – Brest : Al'ternativa, 2012. – 426 s.
2. Riedmiller, M. Advanced supervised learning in multi-layer perceptrons—from backpropagation to adaptive learning algorithms //Computer Standards & Interfaces. – 1994. – V. 16. – №. 3. – P. 265-278.
3. Morkovkina E. A. Issledovanie professoonalno-vagnuh kachestv voditelej transportnuh sredstv // Molodoj uchenuj. 2009. №3. S. 143-151.

## Сведения об авторах

Фоменок В.В., магистрант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

## Information about the authors

Fomenok V. V., master student of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

## Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, д. 6,  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
тел. +375-29-195-02-82;  
e-mail: viky.fomenok@gmail.com  
Фоменок Виктория Вячеславовна

## Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovka st., 6,  
Belarusian State University of Informatics and  
Radioelectronics  
tel. +375-29-195-02-82;  
e-mail: viky.fomenok@gmail.com  
Fomenok Victoria Vyacheslavovna

**А.Ю. ШАМЫНА, А.Д. АРДЯКО, А.К. ЛАБОХА**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСИТРАНЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАДТАЦИОННЫХ АВАРИЙ**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Республика Беларусь*

**Аннотация.** В представленной работе рассматривается построение системы поддержки принятия решений в условиях радиационной аварии. Анализируются основные классы аналитических моделей переноса загрязняющих веществ в атмосфере, дозиметрических моделей. Описаны технические детали создания ГИС для полимодельного комплекса.

*Ключевые слова:* радиоактивное загрязнение, ГИС, СППР, метеорологические данные.

**Abstract.** In the present work, the creation of a decision support system in a radiation accident are considered. The main classes of analytical models of the transport of pollutants in the atmosphere, dosimetric models are analyzed. The technical details of creating a GIS for a polymodel complex are described.

*Keywords:* radioactive contamination, GIS, DSS, meteorological data.

### **Введение**

В настоящее время растет число объектов, на которых возможны аварии или инциденты с потенциальной опасностью выхода радиоактивных веществ в окружающую среду. Ввиду того, что происшествия на подобных объектах всегда сопровождаются угрозой жизни и здоровью человека, а также большим материальным ущербом, существует потребность в создании систем моделирования подобных происшествий на различных этапах развития аварийной ситуации.

Особый интерес для анализа представляют ситуации, когда имеется дефицит исходных данных для моделирования, что характерно для начальной стадии развития аварийного инцидента. Вместе с этим на данной стадии требуется принятие управленческих решений, которые должны минимизировать негативные последствия. Стоит подчеркнуть, что в этом случае особую значимость приобретает время принятия решения, поскольку от этого будет напрямую зависеть величина ущерба. Моделирование распространения загрязняющих веществ в окружающей среде является трудоемкой задачей, т.к. для этого требуется большое число исходных параметров и расчетов, интерпретация полученных результатов, визуализация и т.д. Поэтому наиболее привлекательным вариантом становится реализация соответствующего программного комплекса, использование которого позволяет свести к минимуму время принятия управленческого решения в текущей ситуации

### **Определение исходных данных для моделирования**

Основной проблемой при прогнозных расчетах последствий аварийных выбросов радионуклидов в атмосферу является выбора исходных данных для проведения моделирования, из которых можно выделить следующие группы:

- метеопараметры (температура на высоте выброса, категория устойчивости атмосферы, скорость/направление ветра на высоте выброса, вид и интенсивность осадков, коэффициент шероховатости подстилающей поверхности);
- характеристики облака загрязняющего вещества;
- радионуклидный состав выброса;
- распределение активности по размеру частиц в выбросе.

Обзор аварийных сценариев проводился для пяти типов аварий на АЭС (проектные и тяжелые запроектные аварии без плавления активной зоны и с плавлением активной зоны реактора). Аварии выбраны из перечня аварийных ситуаций, представленных в [1], с точки зрения наибольших выбросов радионуклидов в окружающую среду.

Каждый сценарий включает в себя изотопный и фракционный состав выброса, с удельными активностями каждого из изотопов и продолжительностью самого выброса. Следует отметить, что использование данных сценариев при моделировании возможно только при консервативном подходе (ввиду того, что изотопный и фракционный состав будет зависеть от различных факторов: например, от степени «выгорания» ядерного топлива, величины загрузки и др.).

Для модели переноса радиоактивных веществ в атмосфере наиболее критическими являются метеорологические параметры в районе моделирования. Значения этих параметров относятся к изменяемым данным и требуют постоянной актуализации. Метеорологические параметры используются при расчете ключевых значений в модели атмосферного переноса загрязняющих веществ: метеорологический фактор разбавления, высота пограничного слоя атмосферы, тепловой подъем загрязняющих веществ, категория устойчивости атмосферы и т.д.

Поэтому целесообразно в рамках данной работы использовать внешний модуль, который предоставляет интерфейс для импорта актуальных погодных данных. Благодаря этому можно избавиться от зависимости от конкретного поставщика метеорологических данных, что является несомненным преимуществом [2].

Для используемого метеорологического модуля исходными данными служит модель GFS (Global Forecast System), которая разработана американским центром NCEP (National Centers for Environmental Prediction) [3] и предоставляет прогнозы на срок до 16 дней.

При расчете рассеяния возможных аварийных выбросов в атмосферу в районе размещения АЭС всегда учитываются эффекты взаимодействия приземного слоя атмосферы с подстилающей поверхностью. Характеристикой неоднородностей подстилающей поверхности, влияющих на движение воздуха в приземном слое атмосферы, является коэффициент шероховатости  $z_0$ , имеющий размерность длины. Коэффициент шероховатости  $z_0$  тем больше, чем больше средняя высота неровностей. При моделировании динамических параметров пограничного слоя атмосферы неоднородность подстилающей поверхности учитывается с помощью мезомасштабных коэффициентов шероховатости. Для расчета коэффициента шероховатости используются данные о профиле местности [4].

В качестве исходных данных о рельефе были выбраны открытые данные миссии SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Для хранения данных о рельефе местности используется БД PostgreSQL с расширением PostGIS. Подготовленные предварительно данные импортируются в БД.

Поскольку разрабатываемая система имеет модульную структуру, взаимодействия с внешними модулями организовывается на уровне интерфейсов. Реализация работы с модулем рельефа организовывается через веб-интерфейс посредством GET-запроса. Данные передаются в формате JSON

## Модель расчета атмосферного переноса радионуклидов

Для локального масштаба на раннем этапе развития аварийной ситуации наиболее подходящим является использование гауссовых моделей атмосферного переноса [5]. Гауссовы модели представляют собой обобщение экспериментальных результатов по диспергированию аэрозолей в атмосфере и предполагают наличие стандартных метеоусловий (подчиняющихся стандартной классификации), квазистабильных на время распространения загрязняющих веществ в атмосфере.

Данная модель позволяет делать прогноз переноса загрязняющих веществ на расстояниях не более 10 км от источника и делать ориентировочную экспресс-оценку переноса на расстояния не более 30 км [6].

Концептуально в гауссовых моделях предполагается, что рассеивание в атмосфере неоседающего загрязняющего вещества по горизонтали и вертикали происходит по нормальному закону распределения при постоянных направлении и скорости ветра и при условии сохранения устойчивости атмосферы [7].

Модель применима не только для мгновенного и непрерывного источника, но и для источника конечного времени действия. В модели учтены влияние высоты пограничного слоя атмосферы (в зависимости от стратификации), зависимость дисперсии гауссова облака от шероховатости подстилающей поверхности [8].

В обобщенном виде расчет приземной концентрации загрязняющего вещества в атмосфере согласно гауссовой модели осуществляется по формуле (1):

$$q_{\text{ПВК}}(x, y, t) = M * F(x) * G_{\text{дл}} * t_s \quad (1)$$

где  $M$  – мощность источника, Бк/с;  $t_s$  – время действия источника, с;  $F(x)$  – функция обеднения источника;  $G_{\text{дл}}$  – функция разбавления.

На основе значения приземной концентрации загрязняющего вещества в атмосфере можно произвести расчет плотности выпадения на подстилающую поверхность, обусловленной сухим и влажным фактором выведения.

Плотность выпадений веществ на подстилающую поверхность  $D(x, y, t)$  рассчитывается как суперпозиция плотности выпадений за счет влажного  $D_w$  и сухого  $D_d$ , выведений, что можно записать в следующем виде [9] (2):

$$D(x, y, t) = D_d(x, y, t) + D_w(x, y, t) \quad (2)$$

Рассчитанные значения плотности выпадений и приземной концентрации используются в дозиметрических моделях для оценки радиационного воздействия на население.

## Дозиметрическая модель

Наиболее важным для планирования и проведения защитных мероприятий является оценка воздействия радиоактивных веществ на население. Численными характеристиками, с помощью которых можно оценить это воздействие, являются дозы внешнего и внутреннего облучения. Существуют модели, которые позволяют перейти от приземной концентрации и плотности загрязнения поверхности РВ (радиоактивными веществами), полученных при помощи моделей атмосферного переноса, к дозам внешнего и внутреннего облучения [9].

Доза от облака в приближении полубесконечного пространства рассчитывается по формуле (3):

$$H_{CL,\infty}^{ext} = q_{nek} \cdot B_v \quad (3)$$

где  $q_{nek}$ , Бк\*с\*м<sup>-3</sup> – проинтегрированная по времени концентрация в точке (x,y);  $B_v$  – дозовый коэффициент, связывающий мощность дозы излучения с объемной активностью текущего радионуклида.

Доза гамма-излучения от загрязненной радионуклидами бесконечной плоской поверхности рассчитывается по формуле 4:

$$H_s^{ext} = B_s \cdot k_{\gamma} \cdot \int_{t_1}^{t_2} D_s dt \quad (4)$$

где  $D_s$ , Бк/м<sup>2</sup>, плотность выпадения радионуклида на местности;  $B_s$  – дозовый фактор конверсии;  $k_{\gamma}$  – коэффициент экранирования, исходя из консервативности прогноза равный по умолчанию 1,0, однако для долгосрочных прогнозов рекомендовано применять равным 0,4.

Доза внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления радионуклидов от проходящего облака (5) рассчитывается как произведение проинтегрированной по времени концентрации  $q_{nek}$ , скорости дыхания  $V_1$  и дозового коэффициента  $B_{inh}$ :

$$H_{CL}^{inh}(x, y) = q_{nek} \cdot V_1 \cdot B_{inh} \quad (5)$$

Дозовые коэффициенты определены как максимальные для различных n групп растворимости частиц в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ по выбору коэффициентов при неизвестном составе выброса (по растворимости в легких).

### **Выработка рекомендаций по принятию контрмер**

Результаты моделирования по переносу РВ в атмосфере и расчеты по дозиметрическим моделям служат исходными данными для выработки рекомендаций по тому или иному радиационному инциденту.

Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций» [10], утвержденные постановлением Минздрава Республики Беларусь, являются регламентирующим в Республике Беларусь документом, который описывает проведение защитных мероприятий в случае аварии на АЭС.

Положения данного документа (приложения 4 и 12) послужили основой для определения критериев выработки рекомендаций по минимизации последствий радиационной аварии на раннем этапе.

Для определения критерия для принятия решений по дозе внешнего облучения было использовано приложение 12 СанПИН [10], в котором излагаются предельные уровни мощности дозы для принятия решения о проведении защитных мероприятий при радиационных авариях.



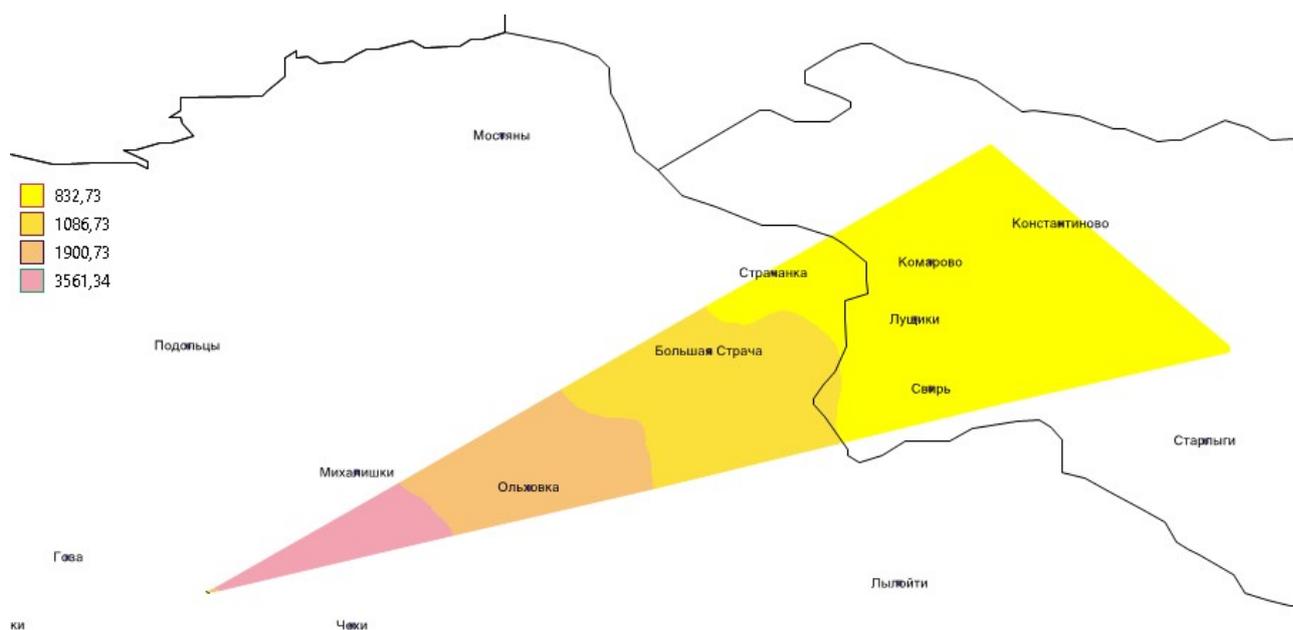


Рисунок 2 – Результат моделирования выпадения на подстилающую поверхность в случае предельного аварийной выброса для аэрозолей I-131 в направлении 3-го румба (Бк/М<sup>2</sup>)

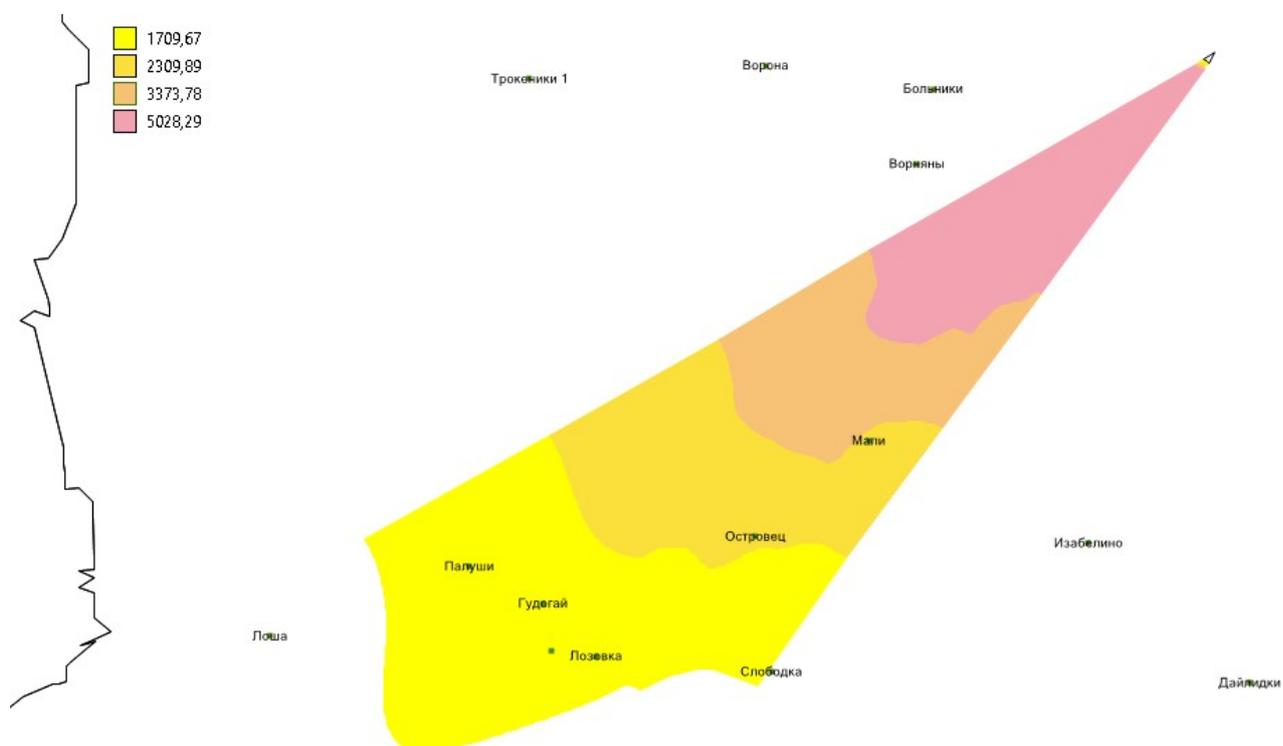


Рисунок 3 – Результат моделирования выпадения на подстилающую поверхность в случае предельного аварийной выброса для аэрозолей I-131 в направлении 10-го румба (Бк/М<sup>2</sup>)

Анализ расчетных данных выпадений  $^{131}\text{I}$  за счет сухого выпадения в случае реализации выбранного аварийного сценария показывает, что максимальные уровни этого радионуклида наблюдаются на расстоянии 2-4-х километров от эпицентра выброса и составляют  $0.5 \cdot 10^4$  Бк/м<sup>2</sup>, что на два порядка выше контрольных уровней суммарной бета-активности, при превышении которых проводятся защитные мероприятия (для естественных выпадений из приземного слоя атмосферы эта величина составляет 110 Бк/м<sup>2</sup>сут). Более того, даже на расстоянии 40 км от АЭС будут наблюдаться уровни выпадений  $^{131}\text{I}$  более 400 Бк/м<sup>2</sup>, при которых необходимо проводить защитные мероприятия.

### Заключение

В ходе работы была глубоко изучена проблематика исследования: нормативно-правовая база в области обеспечения радиационной безопасности населения в РБ, проектные описания АЭС, физические процессы, происходящие при аварийных ситуациях, моделирование распространения загрязняющих веществ в атмосфере и др.

Результаты, полученные в ходе исследования, могут быть использованы как для проведения исследований в данной области, так могут стать и частью системы аварийного реагирования при эксплуатации АЭС. Имеется перспектива интеграции данного средства моделирования с системами наблюдения (например, АСКРО) для уточнения начальных параметров моделирования. Кроме этого, имеется возможность импорта результатов моделирования исходного изотопного состава и удельных активностей радионуклидов из соответствующих систем.

Данная работа имеет большой потенциал для дальнейших исследований в проблемной области и расширения функциональности созданного программного средства. Возможны улучшения в части скорости проводимых вычислений, использования других моделей и оптимизации реализованных.

### Список литературы

7. Белорусская АЭС. Блок 2. Предварительный отчет по обоснованию безопасности. Глава 15. Анализ аварий. Книга 7. БЛ-02065пм, ОАО «НИАЭП», 2013 г
8. Лабоха, А. К. Сравнительный анализ моделей прогнозирования погоды / А. К. Лабоха // Компьютерные системы и сети: 55-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22-26 апреля 2019 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2019. – С. 115 – 117.
9. National Centers for Environmental Prediction [Электронный ресурс]. – 2019 – Режим доступа: <https://www.ncep.noaa.gov/> – Дата доступа: 23.03.2019
10. Steven R. Hanna, Gary A. Briggs, Rayford P. Hosker, Jr. Handbook on atmospheric diffusion. Atmospheric Turbulence and diffusion laboratory National Oceanic and Atmospheric Administration. Technical information center US department of energy, 1982. – 110 с
11. Методы расчета распространения радиоактивных веществ в окружающей среде и доз облучения населения. МХО ИНТЕРАТОМЭНЕРГО, М., 1992
12. Шамына А. Ю. Разработка геоинформационной системы для прогнозирования распространения радионуклидов в окружающей среде / А. Д. Ардяко, Лабоха А.К., А. Ю. Шамына // Безопасность человека и общества: совершенствование системы реагирования и управления защитой от чрезвычайных ситуаций: сб. материалов II Международной очной научно-практической конференции. – Минск: УГЗ, 2018. – 199 – 200 с.

13. Методика расчета рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере при аварийных выбросах. РД 52.18.717-2009. Обнинск, ООО «ПРИНТ-СЕРВИС» – 2009
14. Шамына, А. Ю. Программное средство для моделирование распространения радионуклидов в окружающей среде на основе гауссовой модели / А. Ю. Шамына, А. Д. Ардяко // Информационные технологии и системы 2018 (ИТС 2018) = Information Technologies and Systems 2018 (ITS 2018) : материалы международной научной конференции, Минск, Беларусь, 25 октября 2018 года. – Минск: БГУИР, 2018. – С. 182 – 183.
15. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1986, 224 с
16. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных станций», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 39 от 30 марта 2010 г

### References

1. Belorusskaya AES. Blok 2. Predvaritel'nyj otchet po obosnovaniyu bezopasnosti. Glava 15. Analiz avarij. Kniga 7. BL-02065pm, ОАО «НИАЕР», 2013.
2. Laboha, A. K. Sravnitel'nyj analiz modelej prognozirovaniya pogody / A. K. Laboha // Komp'yuternye sistemy i seti: 55-ya yubilejnaya nauchnaya konferenciya aspirantov, magistrantov i studentov, Minsk, 22-26 aprelya 2019 g. / Belorusskij gosudarstvennyj universitet informatiki i radioelektroniki. – Minsk, 2019. – p. 115 – 117
3. NCEP Data Products GFS and GDAS [Electronic resource] – 2019. – Access mode: <https://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/>. – Access date: 10/07/2011
4. Steven R. Hanna, Gary A. Briggs, Rayford P. Hosker, Jr. Handbook on atmospheric diffusion. Atmospheric Turbulence and diffusion laboratory National Oceanic and Atmospheric Administration. Technical information center US department of energy, 1982. – p. 110
5. Metody rascheta rasprostraneniya radioaktivnyh veshchestv v okruzhayushchej srede i doz oblucheniya naseleniya. MHO INTERATOMENERGO, M.,1992
6. Shamyna A. Y. Razrabotka geoinformacionnoj sistemy dlya prognozirovaniya rasprostraneniya radionuklidov v okruzhayushchej srede / A. D. Ardyako, Laboha A.K, A. YU. SHamyna // Bezopasnost' cheloveka i obshchestva: sovershenstvovanie sistemy reagirovaniya i upravleniya zashchitoj ot chrezvyhajnyh situacij: sb. materialov II Mezhdunarodnoj ochnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Minsk: UGZ, 2018. – p. 199 – 200
7. Metodika rascheta rasseyaniya zagryaznyayushchih veshchestv v atmosfere pri avarijnyh vybrosah. RD 52.18.717-2009. Obninsk, ООО «ПРИНТ-СЕРВИС» -- 2009
8. Shamyna, A. Y. Software for modeling the distribution of radionuclides in the environment based on a Gaussian model / A. Y. Shamyna, A.D. Ardyako // Information Technologies and Systems 2018 (ITS 2018) = Information Technologies and Systems 2018 (ITS 2018): Proceedings of the international scientific conference, Minsk, Belarus, October 25, 2018. – Minsk: BSUIR, 2018. -- p. 182 – 183
9. Gusev N.G., Belyaev V.A. Radioaktivnye vybrosy v biosfere: Spravochnik. M.: Energoatomizdat, 1986, 224 s
10. Sanitarnye normy, pravila i gigienicheskie normativy «Gigienicheskie trebovaniya k proektirovaniyu i ekspluatatsii atomnyh stancij», utverzhdennye postanovleniem Ministerstva zdavoohraneniya Respubliki Belarus' № 39 ot 30 marta 2010 g

**Сведения об авторах**

**Information about the authors**

Шамына А.Ю., аспирант и ассистент кафедры ПОИТ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Ардяко А.Д., аспирант кафедры ПОИТ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Лабоха А.К., магистрант и ассистент кафедры ПОИТ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Shamyna A.Y., post-graduate student and assistant of Information Technologies Software sub-department, BSUIR.

A.D. Ardyako, post-graduate student of Information Technologies Software sub-department, BSUIR.

Labokha A.K., graduate student and assistant of Information Technologies Software sub-department, BSUIR.

#### **Адрес для корреспонденции**

220005, Беларусь, Минск, ул. Гикало, 9,  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
тел. + 375 17 293-84-93;  
e-mail: shamyna@bsuir.by  
Шамына Артём Юрьевич

#### **Address for correspondence**

220005, Belarus, Minsk, Gikalo st, 9,  
Belarussian state university of informatics  
and radioelectronics  
tel. + 375 17 293-84-93;  
e-mail: shamyna@bsuir.by  
Artyom Shamyna

**А.К. ЛАБОХА, А.Ю. ШАМЫНА**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ И ВРЕМЕННЫМИ ЗАТРАТАМИ ПРИ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПО МЕТОДУ ОБРАТНЫХ ВЗВЕШЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Республика Беларусь*

**Аннотация.** В работе исследована интерполяция по методу обратных взвешенных значений, проведено экспериментальное исследование качества результата интерполяции и затрачиваемого времени при различном расстоянии между точками с данными. На основании полученных результатов сделаны выводы о рациональности использования различных расстояний между данными.

*Ключевые слова:* интерполяция, метод обратных взвешенных расстояний.

**Abstract.** In the work, interpolation by the method of inverse distance weighting was studied, an experimental study was made of the quality of the result of interpolation and the time spent at different distances between points with data. Based on the results obtained, conclusions are drawn on the rationality of using different distances between the data.

*Keywords:* interpolation, inverse distance weighting, IDW.

## Введение

Визуализация данных широко используется для их более наглядного представления. Однако в ряде случаев простой визуализации значений недостаточно. Одним из примеров такой ситуации служат точечные данные, когда для отдельных точек в некотором пространстве заданы их значения или характеристики. В этом случае для диапазона значений точек может быть определен цветовой диапазон, и тогда каждой точке пространства будет поставлен в соответствие с её значением определенный цвет. При этом можно выделить два основных случая: когда значения заданы для всех точек в пространстве и только для некоторых «избранных» точек. В последнем случае необходимо выполнять интерполяцию, поскольку для плавности и наглядности визуализации значений точек необходимо также определить значения для всех остальных точек. Для этого могут быть использованы различные методы интерполяции, которые подразделяются на детерминированные и геостатистические [1]. К числу детерминированных методов относятся методы обратных взвешенных расстояний (inverse distance weighting, IDW) и анализа поверхности тренда (trend surface analysis, TID). Одним из наиболее известных геостатистических методов является кригинг (Kriging).

В ходе выполнения работы по обработке прогнозных метеорологических данных, которые рассчитываются по различным моделям с заданным пространственным шагом, была решена задача визуализации прогноза для территории Республики Беларусь; для интерполяции данных использовался метод обратных взвешенных расстояний. Указанная разновидность карт является только частным случаем тематических карт, которые могут быть построены на основании интерполированных пространственных сведений. При анализе построенных метеорологических карт было замечено, что изменение числа точек с данными на одно и то же растровое изображение влияет на точность полученного интерполированного изображения. Однако с повышением детализации визуализируемых данных увеличивалась и время интерполяции. Так родилась идея исследования зависимости между временем интерполяции и расстоянием в пикселах, которое соответствует удаленности между точками с данными.

Следует отметить особую важность уменьшения временных затрат на интерполяцию в критических системах моделирования, системах принятия решений и реального времени. В подобного рода системах время является критическим фактором, а в случае визуализации многих наборов данных временные затраты на интерполяцию могут составить значительную часть затрачиваемого системой времени.

## Экспериментальная часть

Таким образом, была поставлена задача исследовать соотношение между расстоянием в пикселах, которое соответствует удаленности между двумя соседними точками данных, и временем, затрачиваемым на интерполяцию указанных данных.

Следует отметить, что исследование проводилось для случая, когда точки с данными распределены равномерно, т.е. расстояние между ними по вертикали и горизонтали соответственно остается неизменным. Исследование подобной зависимости в случае неравномерного распределения точек является отдельной задачей и может быть изучено в дальнейшем.

В ходе эксперимента было решено получать температурную карту погоды для территории Беларуси разрешением 4000x4000 пикселей. За исходные точечные данные, которые необходимо интерполировать, была взята температура воздуха на высоте 2 метра над поверхностью на 16:00 14-го июня 2019-го года, рассчитанная по модели GFS [2]. Поскольку пространственное разрешение прогноза, построенного по данной модели, составляет  $0,25^\circ$ , что приблизительно равняется 17 км по широте и 28 км по долготе для территории Беларуси, для проведения эксперимента пространственное разрешение было увеличено путем расчета промежуточных значений между точками по методу обратных взвешенных расстояний от значений 4-х ближайших точек. В результате были получены точечные данные, расстояние между которыми составляет порядка 334 м по широте и 292 м по долготе. В дальнейшем при проведении эксперимента для получения набора точек данных с заданным пространственным шагом использовались значения точек с координатами, ближайшими к заданным. Подобный подход позволил обеспечить необходимую достоверность по исходным данным, поскольку даже при максимальной пространственной точности в эксперименте (расстояние между точками 19,54 пикселей) в среднем была использована только каждая 10-я точка из сгенерированного набора данных.

Поскольку расстояние от восточной до западной точки Беларуси составляет 650 км, а с севера на юг – 560 км, для отсутствия искажений административно-территориальных границ при проведении эксперимента на карту также были нанесены территории южнее Беларуси. В качестве географической подложки для получаемой карты были использованы границы Республики Беларусь и её областей. Также на карту были нанесены наиболее крупные города, что позволяет оценить точность интерполированных данных с привязкой к определенной местности. Соотнесение точек с данными с географической привязкой осуществлялось по географическим координатам точек.

Для каждого заданного расстояния между точками данных замеры времени, затрачиваемого на интерполяцию, выполнялись 10 раз, после чего определялись среднее, максимальное и минимальное время интерполяции. Стоит отметить статистические показатели полученных результатов. Для 93% процентов расстояний, у которых среднее время интерполяции составило более 200 мс, максимальное отклонение полученного результата от среднего не превышает 15%. При этом для 73% процентов расстояний максимальное отклонение от среднего времени интерполяции не превысило 10%. Эти факты позволяют говорить о неплохом качестве полученных временных значений, которые с достаточной точностью отражают тенденции распределения временных затрат.

Зависимость между временем интерполяции и пространственным разрешением представлена на рисунке 1. Как можно заметить, рост временных затрат при уменьшении расстояния между данными в диапазоне от 275 до 100 пикселей является незначительным (18 мс для расстояния между данными 275 пикселей и 100 мс для расстояния 98,72 пиксела), что наряду с визуальным анализом полученных карт (рис. 2) позволяет сделать однозначный вывод о нецелесообразности использования расстояния между данными, превышающего 100 пикселей. Также следует обратить внимание на представленные в таблице 1 сведения, согласно которым уменьшение

расстояния между данными менее 40 пикселей приводит к значительному росту временных затрат, который особо заметен при расстоянии, меньшем 30 пикселей. Проведенный анализ полученных карт (рис. 2) продемонстрировал при указанных расстояниях незначительное увеличение детализации полученных карт. Эти факты позволяют говорить о целесообразности использования расстояния между данными, меньшего 40 пикселей, только в случаях, когда детализация получаемого в результате изображения является критическим фактором, а временные затраты на проведение интерполяции являются несущественными или относятся к не критическим факторам.

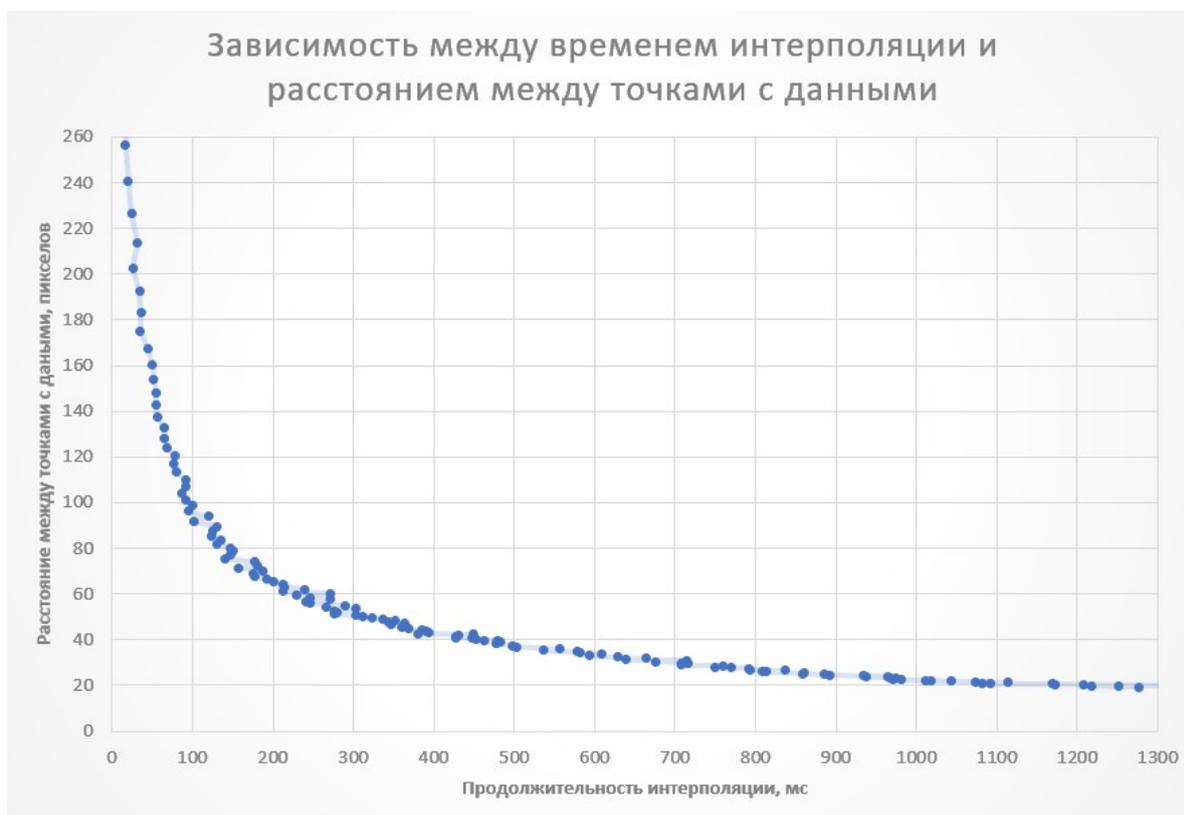


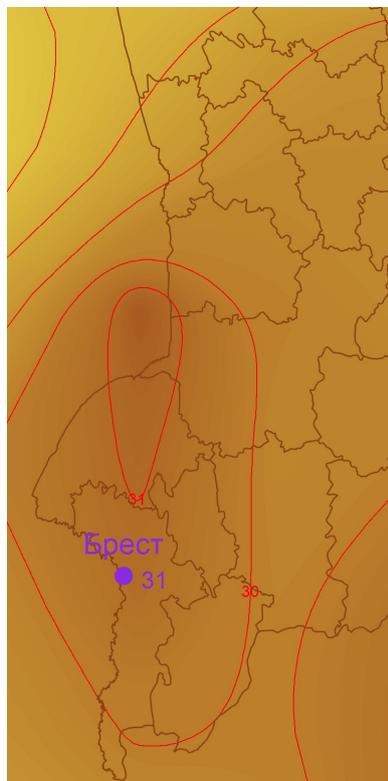
Рис. 1. Зависимость между временем интерполяции и расстоянием между точками с данными

Таблица 1 – Временные затраты на интерполяцию при различном расстоянии между данными

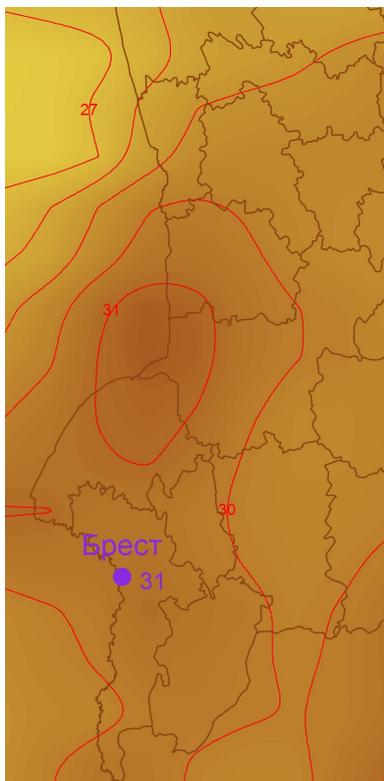
Расстояние, пикселей	45,29	40,1	34,68	29,84	25,5	23,05	20,37	19,54
Время, мс	361	453	578	708	861	975	1173	1251
Прирост, мс/пиксел	–	17,72	23,06	26,86	35,25	45,71	73,88	93,98

При интерполяции важно оценивать не только количественные показатели, такие как временные затраты, но и качественные, а именно точность детализации изображения, полученного в результате интерполяции. На рисунке 2 представлены фрагменты полученных в результате интерполяции по методу обратных взвешенных значений метеорологических карт температуры воздуха, полученные при различном расстоянии между точками с данными. При расстоянии между точками, равным 275 пикселей, все изолинии заметно спрямлены, температурные аномалии не выделены.

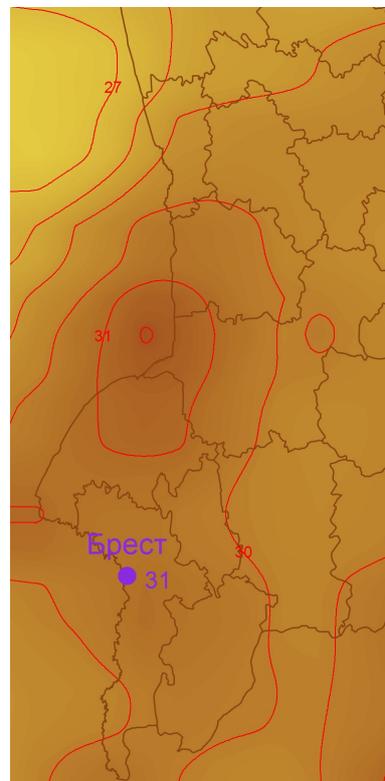
При расстоянии между точками, меньшем 100 пикселей, на всех полученных картах выделены температурные аномалии, с уменьшением расстояния между точками с данными изолинии более детально передают контуры областей с одинаковыми значениями температуры.



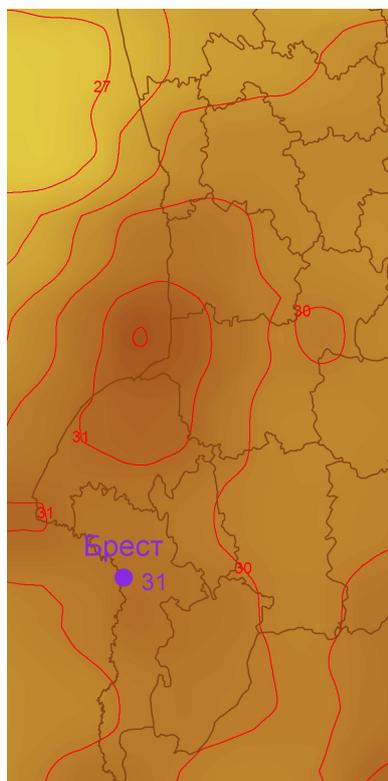
а) 275 пикселей



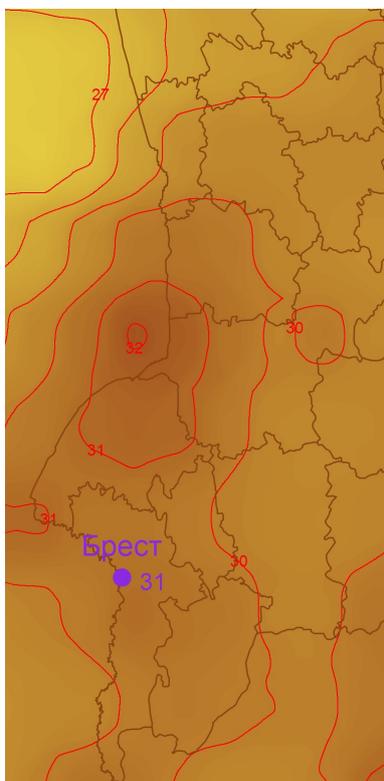
б) 98,72 пикселей



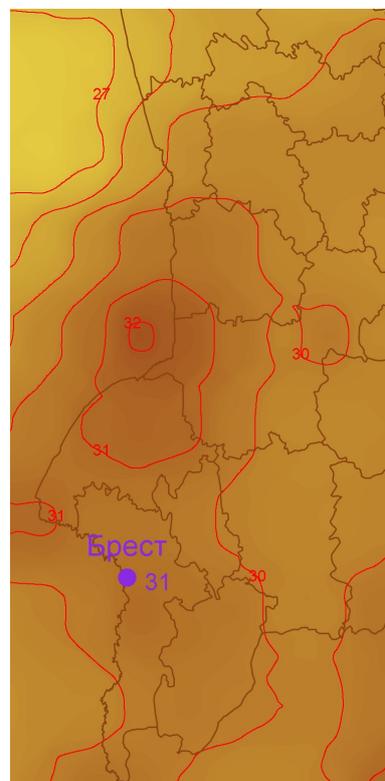
в) 70 пикселей



г) 40,1 пикселей



д) 29,84 пикселей



е) 19,54 пикселей

Рис. 2. Фрагменты метеорологических карт температуры воздуха, полученных при различном расстоянии между точками с данными

### Заключение

На основании приведенного выше анализа можно сделать вывод о необходимости учета при проведении пространственной интерполяции расстояния между точками с данными. Задание завышенного значения (более 100 пикселей) приводит к сглаживанию изолиний и аномалий, что означает снижение информативности создаваемого интерполированного изображения. С точки зрения оптимальных временных затрат и качества полученного в результате интерполяции изображения можно выделить диапазон расстояний между 40 и 70 пикселями. В этом случае за приемлемое время может быть построено интерполированное изображение, содержащее все основные характеристики исходных данных. В зависимости от типа системы расстояние может варьироваться как в пользу наименьшего времени интерполяции (в системах реального времени), так и в сторону повышения качества результата интерполяции.

### Список литературы

7. Luo, W. & Taylor, Moray & Parker, S.. (2008). A comparison of spatial interpolation methods to estimate continuous wind speed surfaces using irregularly distributed data from England and Wales. *International Journal of Climatology*. 28. 947 - 959. 10.1002/joc.1583.
8. NCEP Data Products GFS and GDAS [Электронный ресурс]. – 2019 – Режим доступа: <https://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs> – Дата доступа: 12.11.2019

### References

17. Luo, W. & Taylor, Moray & Parker, S.. (2008). A comparison of spatial interpolation methods to estimate continuous wind speed surfaces using irregularly distributed data from England and Wales. *International Journal of Climatology*. 28. 947 - 959. 10.1002/joc.1583.
18. NCEP Data Products GFS and GDAS [Electronic Resource]. – 2019 - Access mode: <https://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs> – Access date: 11/12/2019

### Сведения об авторах

Лабоха А.К., магистрант и ассистент кафедры ПОИТ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Шамына А.Ю., аспирант и ассистент кафедры ПОИТ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

### Information about the authors

Labokha A.K., graduate student and assistant of Information Technologies Software sub-department, BSUIR.

Shamyna A.Y., post-graduate student and assistant of Information Technologies Software sub-department, BSUIR.

### Адрес для корреспонденции

220005, Беларусь, Минск, ул. Гикало, 9, Белорусский государственный

### Address for correspondence

220005, Belarus, Minsk, Gikalo st, 9, Belarussian state university of informatics

университет  
информатики и радиоэлектроники  
тел. + 375 17 293-84-93;  
e-mail: labokha.poit@bsuir.by  
Лабоха Александр Константинович

and radioelectronics  
tel. + 375 17 293-84-93;  
e-mail: labokha.poit@bsuir.by  
Labokha Alexandr Konstantinovich

**Э.Г. ЧУРЛЕЙ, Т.В. КУЗЬМЕНКО, Т.С. БАЛАКИРЕВА**

## **ОТНОШЕНИЕ СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ К ПОДДЕЛЬНЫМ НОВОСТЯМ: СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*Агентство маркетинговых исследований и социологической экспертизы  
«Социоэксперт»  
ул. Гурского, 46 оф. 313/1-10, 220052, г. Минск, Беларусь*

*Поступила в редакцию*

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема восприятия недостоверной информации в средствах массовой информации и коммуникации как один из социальных аспектов информационной безопасности. На основе результатов социологического исследования анализируется отношение студенческой молодежи г. Минска к поддельным новостям. Выявлена несформированность моделей безопасного информационного поведения студентов в отношении ложных новостей.

*Ключевые слова:* информационная безопасность, информационное поведение, поддельные новости, молодежь, интернет-пространство, социальные сети.

**Abstract.** The article considers the problem of perceiving false information in the media and communication as one of the social aspects of information security. On the basis of the results of the sociological study, the attitude of the student youth of Minsk towards fake news is analyzed. The lack of formation of models of safe informational behavior among students in relation to false news is revealed.

*Keywords:* information security, information behavior, fake news, youth, online space, social networks.

**Doklady BGUIR. 201\*, Vol. \*\*\*, No. \*, pp. \*\*-\*\***

**Students Attitudes Towards Fake News: Social Aspects of Information Security**

**E. Churlei, T. Kuzmenko, T. Balakireva**

### **Введение**

В условиях развития информационного общества одним из важнейших факторов его нормального функционирования становится информационная безопасность. Данная категория традиционно используется в контексте защиты данных и обеспечения их доступности, конфиденциальности и целостности [1, с. 36], оставляя за скобками социальный аспект: отношения между социальными субъектами в процессе генерирования, использования, обмена и защиты информации. Вместе с тем,

особую остроту сегодня приобретают вопросы социального плана, среди которых соблюдение прав и свобод в информационной сфере, обеспечение социально-психологической безопасности пользователей информации, создание в стремительно развивающейся информационной среде условий для духовного, интеллектуального и профессионального развития, ее влияние на формирование мировоззрения и многие другие.

Анализ социальных аспектов информационной безопасности не представляется возможным без исследования молодежной аудитории. С одной стороны, именно молодежь определяет потенциал, направления и тенденции развития общества и, в конечном счете, его будущее. А с другой, это особая социальная группа, которая является наиболее уязвимой с точки зрения социальной и информационной безопасности. Ее незащищенность обусловлена сложностью процесса социализации и необходимостью адаптироваться в условиях постоянных социальных изменений, которые часто носят непредсказуемый характер и порождают новые социальные опасности и угрозы.

Молодые люди в большей степени включены в огромное число информационных потоков, современные средства массовой коммуникации уже стали для них естественной средой обитания. В то же время, освоение новой как для себя, так и для общества в целом цифровой, медиатизированной реальности часто происходит спонтанно, без помощи «взрослых». В такой ситуации в роли ориентиров и образцов для подражания выступают медиаперсоны, блогеры, набравшие популярность с помощью СМИ персонажи.

Неограниченность интернет-пространства, нивелирование географических границ и возможность генерировать собственный информационный контент (быть ньюсмейкером, блогером, комментатором), в значительной степени способствуют виртуализации многих жизненных процессов и функций, трансформации и появлению целых отраслей человеческой деятельности: электронная торговля, онлайн-образование и т.п. Плюсы от расширения возможностей, удобства, минимизации временных издержек и трудовых усилий, обусловленных этими процессами, бесспорны. Но они же несут в себе риски замещения реальных социальных связей виртуальными, когда интернет формирует новую информационно-коммуникативную среду, подменяющую социокультурное пространство и заменяющую молодым людям жизненный опыт. Нередко это приводит к интернет-зависимости.

Серьезную угрозу представляет утечка личной информации: персональных данных, документов, личной переписки, фотографий. Похищенная конфиденциальная информация может быть использована против личности

Возможности, предоставляемые современными технологиями для селекции контента каждым пользователем «для себя», по своим вкусам, запросам и интересам: персонализированные новостные ленты и результаты поиска в поисковых системах, сформированные с учетом предыдущих запросов подборки общественно-политической, культурной и развлекательной информации, музыкальные плейлисты и т.п., способствуют формированию относительно изолированных «информационных капсул» («пузыри фильтров», «пузыри интересов» [2]), из-за которых общая, объективная картина мира представляется сложнообозримой. Распространение информационно-коммуникационных технологий для манипулирования общественным сознанием усугубляет ситуацию, в результате которой формирование самостоятельных, независимых суждений и рационального, осознанного поведения представляется крайне затруднительным, а молодые люди становятся объектом манипуляции.

Одним из инструментов манипулирования общественным сознанием все чаще становятся поддельные новости (фальшивые новости, fake news). Это специально придуманная ложная информация, которая нередко создает угрозу для безопасности [3, с. 48]. Проблему фальшивых новостей пытаются решить многие страны на законодательном уровне. В октябре 2019 года административный штраф за распространение фейковых новостей впервые назначен в России. Приобретая серьезные масштабы, данный феномен требует изучения не только в правовом, но и в социальном аспекте: с точки зрения восприятия, доверия, последствий.

### **Методика исследования**

Агентством маркетинговых исследований и социологической экспертизы «Социоэксперт» было проведено социологическое исследование, включающее две волны опроса: 2017 г. и 2019 г. Целью исследования явилось изучение доверия молодежи к различным информационным источникам, распространенность фейковой информации и умение ее распознать.

Первая волна проводилась среди молодежи Республики Беларусь 1995–2005 гг. рождения (всего было опрошено 860 человек, выборка репрезентативна, ее пропорции соответствуют основным социально-демографическим показателям населения республики). Сбор информации осуществлялся методом анкетного опроса и включал комбинирование онлайн-опроса выбранных в случайном порядке пользователей в возрасте 12-22 лет и раздаточного анкетного опроса по месту учебы и проведения досуга молодых людей. Вторая волна исследования прошла в мае-июне 2019 года в формате международного сравнительного опроса студентов ведущих высших учебных заведений Беларуси (г. Минск) и Польши (кафедра маркетинга Высшей Банковской Школы (WSB), г. Гданьск). Обращение к студенческой молодежи обусловлено, главным образом, тем, что студенчество выступает наиболее активной и прогрессивной молодежной группой, задающей основные поведенческие тренды в самых разных сферах: культура, образование, потребление, мода и др. А поскольку работа с информацией является основной частью жизнедеятельности студентов, обеспечение информационной безопасности в данной социальной группе приобретает особую остроту и актуальность.

В рамках второй волны в Минске опрошено 255 студентов высших учебных заведений по многоступенчатой квотной выборке с учетом распределения основных социально-демографических характеристик в данной социальной группе и профиля учебного заведения. Метод сбора информации – анкетный опрос. Для обеспечения триангуляции данных и валидности результатов использовалось комбинирование онлайн-опроса и раздаточного анкетного опроса (на бумажном носителе), в ходе которых были получены сопоставимые данные. Апробированная в ходе первой волны исследования и доработанная с учетом полученных результатов и требований к международным сравнительным исследованиям методика опроса включает систему показателей, направленных на выявление особенностей информационного поведения студенческой молодежи, уровня доверия к различным источникам информации, отношение к поддельным новостям и моделей поведения при столкновении с ними.

### **Полученные результаты**

Данные опроса показывают, что основным фактором формирования информационно-коммуникативной среды для «поколения Z» выступает сеть Интернет, для студенческой молодежи характерна тотальная виртуализация свободного времени и досуга: 80% проводят свободное время в сети Интернет. Большинство (70,2%)

ежедневно посвящают интернету более 4 часов, каждый четвертый (26,7%) – от 2 до 4 часов и лишь небольшая часть (3,1%) – менее 2 часов. В абсолютном большинстве случаев для этих целей используется смартфон (99,2%), реже – ноутбук (72,5%) и стационарный компьютер (24,3%). Смартфон оказался лидером среди вещей, без которых молодые люди не могут обойтись в повседневной жизни: 53% респондентов указали его при ответе на открытый вопрос.

Интернет-практики охватывают самые разные сферы деятельности: 87,1% опрошенных чаще всего используют возможности Всемирной паутины для посещения социальных сетей, 76,5% – для прослушивания музыки, 74,1% – для просмотра фильмов и программ, 58,8% – для поиска новостей, 34,5% – для просмотра фотографий, столько же (34,5%) – для чтения книг и обучения, 15,7% – для совершения покупок и онлайн-платежей, 7,5% ведут собственный блог или видеоблог, 2,7% работают в интернете, еще 3,6% указали среди наиболее частых занятий в сети игры и саморазвитие. Спектр интересующей тематики также довольно разнообразен (рисунок 1).

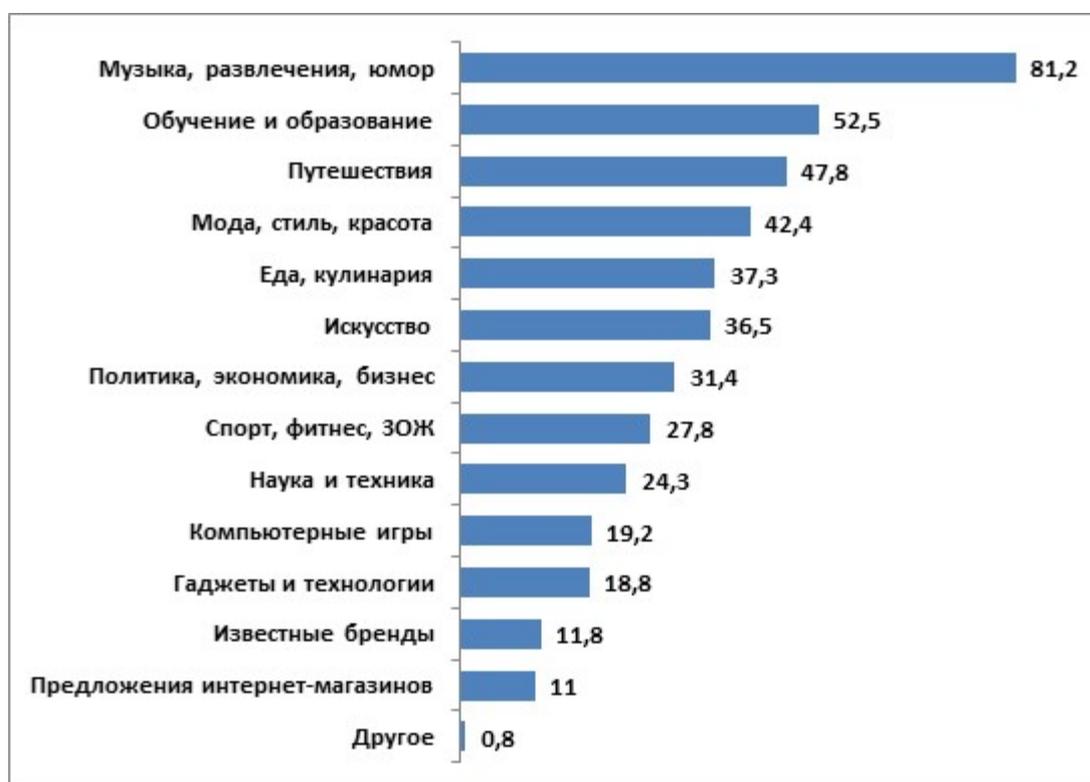


Рисунок 1. Распределение ответов на вопрос: «Какие темы чаще всего интересуют Вас в интернете?», в % (сумма процентов больше 100, т.к. респондент мог дать несколько вариантов ответа)

Данные опроса показывают, что абсолютное большинство студентов пользуются социальными сетями, причем 96,9% – несколькими, 2,7% – только одной. В рейтинге наиболее часто используемых социальных сетей и мессенджеров топовые позиции занимают ВКонтакте, Instagram и YouTube (рисунок 2). Значимости большинства сетей значительно ниже, лидером является сеть ВКонтакте: она отмечена большинством респондентов и как часто используемая, и как наиболее важная, разница между числом ответов на эти два вопроса оказалась наименьшей.

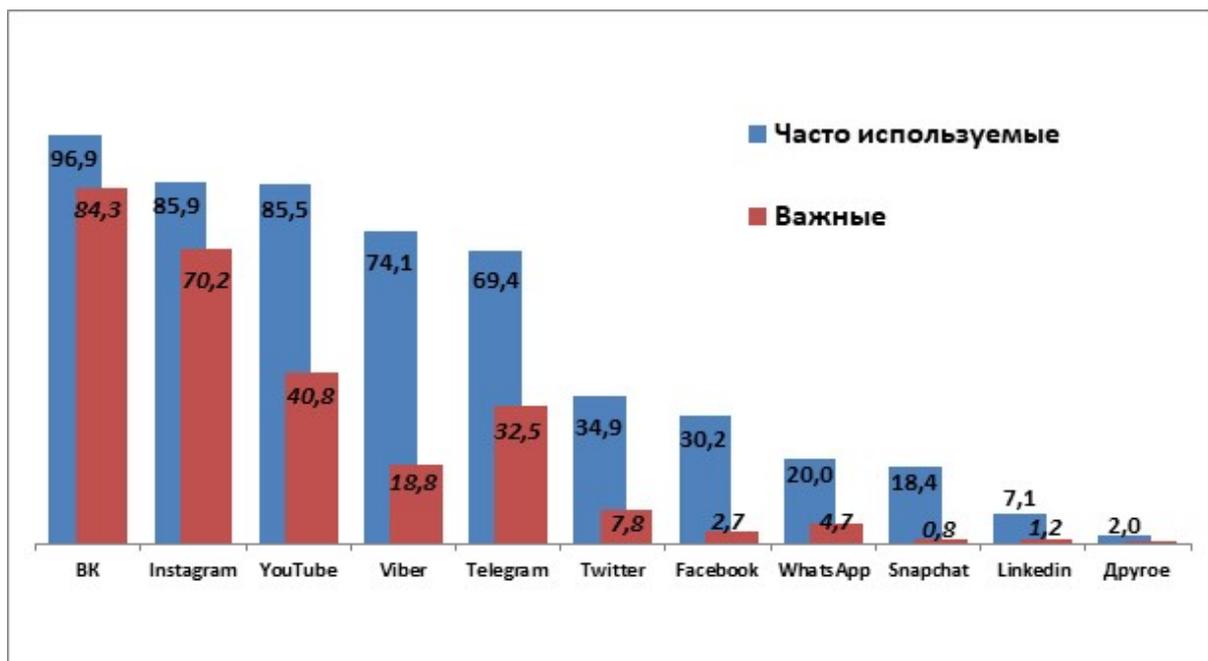


Рисунок 2. Распределения ответов на вопросы: «Какими социальными сетями, мессенджерами Вы пользуетесь?» и «Какие социальные сети, мессенджеры для Вас наиболее важны?», в % (сумма процентов больше 100, т.к. респондент мог дать несколько вариантов ответа)

Несмотря на то, что социальные сети для студенчества являются «естественной средой обитания», уровень доверия к ним невелик. Только 5,9% опрошенных дали максимальную оценку достоверности этого источника информации, еще четверть данный показатель на 4 балла, в то время как, треть респондентов поставили минимальные оценки (рисунок 3). Достоверность информационных порталов, согласно ответам, оказалась несколько выше: соотношение полученных максимальных и минимальных оценок составляет 2,1 (для социальных сетей – 0,8).

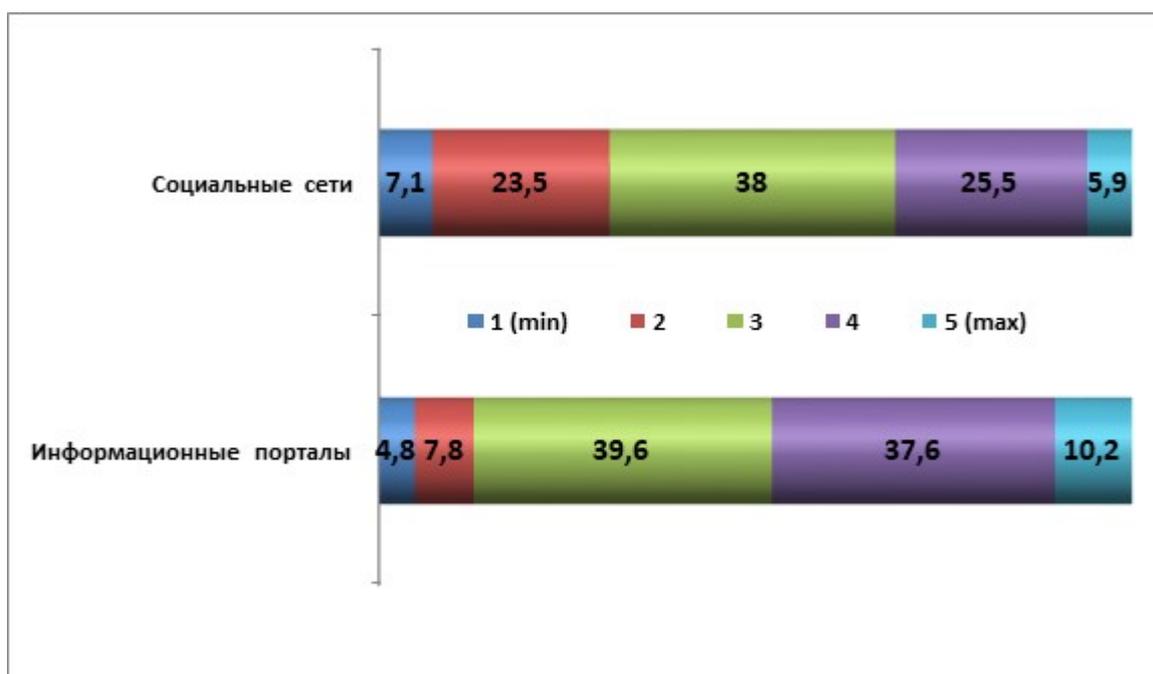


Рисунок 3. Оценка достоверности источников информации: социальных сетей и информационных порталов по 5-балльной шкале, в %

Говоря о достоверности информации в средствах массовой информации и коммуникации, большинство столичных студентов признают, что создание и появление поддельных новостей является социальной проблемой: 31% полностью согласны с данным утверждением, еще 38% – скорее согласны. По мнению молодых людей, поддельные новости можно встретить в любой сфере, однако в большей степени они присущи информации о жизни знаменитостей и светской хронике (74,1%) и политике (72,5%), реже – таким сферам как экономика (38,8%), здоровье и медицина (26,3%), наука (12,9%) и культура (11%). На вопрос: «С какими целями создаются поддельные новости?», чаще всего указывались: разрекламировать, «раскрутить» что-то (68,6%), получение финансовых выгод (53,3%), подрыв доверия к организации (51,4%) или к конкретному человеку (48,2%), стремление выделиться или привлечь к себе внимание (31,4%). Создание поддельных новостей, по мнению большинства (67,1%), должно наказываться.

О значимости проблемы свидетельствует и тот факт, что абсолютное большинство респондентов лично сталкивались с недостоверной информацией или поддельными новостями: 31,3% часто сталкиваются с подобным явлением, 51% – иногда, 14,1% – редко, и лишь 3,5% никогда не встречались с поддельными новостями. Более того, половина студентов (47,6%) отметили, что делились поддельными новостями с другими людьми, чаще всего неосознанно (41,9%). Пятая часть опрошенных признает, что плохо отличает поддельные новости от реальной информации (19,6% редко отличают, 2% никогда не могут отличить). При этом свои собственные способности к фактчекингу студенты оценивают значительно выше по сравнению с другими пользователями интернета (рисунок 4).



Рисунок 4. Распределения ответов на вопросы: «Отличаете ли Вы поддельные новости от реальной информации?» и «Как Вы считаете, другие пользователи интернета отличают поддельные новости от реальной информации в интернете?», в %

Несмотря на то, что создание и распространение поддельных новостей осознается представителями студенческой молодежи как социальная проблема, большинство осведомлены о ней и лично сталкивались с теми или иными ее проявлениями, поведенческие модели респондентов нельзя охарактеризовать как безопасные. Более половины не проверяют достоверность информации в средствах массовой информации: 45,9% делают это редко, а 8,5% – никогда (часто – 37%, всегда – 8,5%). Основным критерием при оценке достоверности информации выступают собственные знания и опыт (74,9%), гораздо реже – информация от известных представителей средств массовой информации: профессиональных журналистов (48,2%). Значительная часть опрошенных при проверке информации руководствуется суждениями друзей и знакомых (25,5%), мнением известных блогеров (11,8%).

На открытый вопрос: «Знаете ли Вы какие-либо способы, инструменты проверки достоверности информации?» смогли ответить только четверть респондентов (23,9%). Наиболее распространенный ответ – «сверяться с разными источниками» в различных вариациях: «поиск информации на разных ресурсах», «обращаться к первоисточникам», «брать несколько новостных порталов, сравнивать одну новость и смотреть детали и недочеты», «загуглить» и т.п.

Поведенческие реакции при столкновении с поддельными новостями также не отличаются разнообразием и безопасностью. Половина опрошенных (51,4%) ничего не предпринимает в подобных ситуациях. Треть респондентов (36,1%) стараются меньше обращаться к средствам массовой информации, а 8,6% и вовсе перестают ими пользоваться. Ограничивают использование социальных сетей 6,3%, еще 3,1% удаляют из соцсетей свои аккаунты. Среди других единичных ответов были получены альтернативные варианты реагирования на подобную ситуацию: «жалуюсь если есть возможность», «делаю выводы относительно того ресурса который эту информацию предоставил», «рассказываю друзьям о том что это ложь», «возмущаюсь в кругу единомышленников».

### **Заключение**

Полученные результаты показали, что, на фоне тотальной включенности студенческой молодежи в интернет и социальные сети большинство из них признают создание поддельных новостей в качестве социальной проблемы и лично сталкивались с теми или иными ее проявлениями. Вместе с тем, восприятие проблемы недостоверной информации носит довольно поверхностный и отстраненный характер. Студенты демонстрируют довольно «беспечное» поведение в отношении потребления информации и не проверяют либо редко проверяют достоверность данных. С одной стороны, проблема ложных новостей в средствах массовой информации не осознается как лично значимая, а ее риски и последствия не переносятся на свои жизненные ситуации. С другой стороны, фиксируется низкий уровень осведомленности о возможностях, способах и инструментах проверки информации в студенческой среде. В этом плане основными приоритетами в направлении формирования «безопасных» моделей поведения молодежи в сфере потребления информации выступают развитие критического мышления, информационной компетентности и медиакомпетентности как способности ориентироваться в информационных потоках, освоение норм информационной культуры.

## Список литературы

1. Грошева, Е.К. Информационная безопасность: современные реалии / Е.К. Грошева, П.И. Невмержицкий // Бизнес-образование в экономике знаний. – 2017. – № 3. – С. 35-38.
2. Тестов, Д.Ф. Алгоритмический перспективизм News feed // Полилог/Polylogos. 2018. Т. 2. № 3 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://polylog.jes.su/s258770110000057-4-1/> (Дата обращения: 20.11.2019).
3. Распопова, С.С. Фейковые новости: природа происхождения / С.С. Распопова, Е.Н. Богдан // Вестник Челябинского государственного университета. Филологические науки. Вып. 109. – 2017. – № 11 (407). – С. 48-53.

## References

19. Grosheva, E.K. Informacionnaya bezopasnost': sovremennye realii / E.K. Grosheva, P.I. Nevmerzhickij // Biznes-obrazovanie v ekonomike znaniy. – 2017. – № 3. – S. 35-38.
20. Testov, D.F. Algoritmicheskij perspektivizm News feed // Polilog/Polylogos. 2018. T. 2. № 3 [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://polylog.jes.su/s258770110000057-4-1/> (Data obrashcheniya: 20.11.2019).
21. Raspopova, S.S. Fejkovye novosti: priroda proiskhozhdeniya / S.S. Raspopova, E.N. Bogdan // Vestnik CHelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta. Filologicheskie nauki. Vyp. 109. – 2017. – № 11 (407). – S. 48-53.

## Сведения об авторах

Чурлей Эдуард Генрихович, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры международного менеджмента Белорусского государственного университета.

Кузьменко Татьяна Викторовна, кандидат социологических наук, директор ООО «Агентство маркетинговых исследований и социологической экспертизы «Социоэксперт»».

Балакирева Татьяна Семеновна, руководитель опросной сети ООО «Агентство маркетинговых исследований и социологической экспертизы «Социоэксперт»».

## Адрес для корреспонденции

220052, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. Гурского, 46, оф. 313/1-10,  
ООО «Агентство маркетинговых исследований и социологической экспертизы «Социоэксперт»»  
тел. номер +375293613227;

## Information about the authors

Churlei Eduard, PhD (economics), docent; docent at the Department of international management, Faculty of economics, Belarusian State University.

Kuzmenko Tatiana, PhD (sociology), Director of the Agency of marketing researches and sociological expertise «Socioexpert».

Balakireva Tatiana, Head of the Surveys Department of the Agency of marketing researches and sociological expertise «Socioexpert».

## Address for correspondence

220052, Republic of Belarus,  
Minsk, Gurskogo str, 46-313/1,  
The Agency of marketing researches and sociological expertise «Socioexpert»  
tel. +375293613227;  
e-mail: [info@socioexpert.by](mailto:info@socioexpert.by)

**А.Ю. ЯЦКЕВИЧ, И.Г. ШУПЕЙКО**

**МОДЕЛИ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ КАК КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ  
ОСНОВА МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ  
СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию*

**Аннотация.** В данной статье представлен краткий обзор моделей возникновения несчастных случаев. Обосновано преимущество модели гомеостаза риска. Описаны параметры для мониторинга безопасности, соответствующие каждой модели.

*Ключевые слова:* модель возникновения несчастных случаев, мониторинг факторов безопасности.

**Abstract.** This article provides a brief overview of accident causation models. The advantage of the risk homeostasis model is grounded. The parameters for safety monitoring corresponding to each model are described.

*Keywords:* accident causation model, safety factors monitoring.

**Doklady BGUIR. 201\*, Vol. \*\*\*, No. \*, pp. \*\*-\*\***

**Accident causation models as a conceptual basis for monitoring of sociotechnical systems' safety**

**Yatskevich A.Y., Shupeyko I.G.**

**Введение**

При рассмотрении значения мониторинга для обеспечения безопасности и снижения рисков при использовании различных технических устройств, как правило, прежде всего обращаются к оценке состояния агрегатов, конструкций, оборудования и т.п. Например, многие нормативно-технические документы трактуют мониторинг как «систематическое наблюдение за состоянием объектов, явлений, процессов» [1], анализ и оценку характеристик конструкций и технических устройств [2] и т.п. При этом не принимается во внимание, что любая машина, любое техническое устройство управляется и обслуживается человеком и ее необходимо рассматривать как компонент социотехнической системы. Между тем любая социотехническая система в качестве неотъемлемого и даже центрального элемента включает человека, деятельность которого оказывает существенное влияние на эффективность и безопасность функционирования системы в целом. Поэтому мониторинг как составляющая систем безопасности и снижения рисков в обязательном порядке должен включать наблюдение, измерение и контроль, т.е. оценку «параметров» человека. Однако это - не простая задача. Человек обладает множеством характеристик, и измерять их все невозможно и нецелесообразно. Аргументировано же ответить на вопрос какие именно

«составляющие» человеческого фактора следует принимать во внимание при мониторинге для снижения риска при функционировании социотехнической системы, возможно только при наличии и последующем анализе адекватной модели реализации опасностей, возникновения аварий и травм.

В настоящее время существует и используется несколько моделей возникновения несчастных случаев, каждая из которых имеет свои сильные и слабые стороны.

### Обзор наиболее известных моделей несчастных случаев

Одними из самых ранних моделей несчастных случаев являются «модели домино». В них аварии и несчастные случаи рассматриваются как предсказуемые линейные последовательности событий, обстоятельств, причинных факторов. Так, в модели домино

В. Хайнрича (W.H. Heinrich) возникновение несчастного случая рассматривается как пятиступенчатая последовательность следующих элементов:

- 1) неблагоприятная наследственность и социальная среда;
- 2) «вина человека» – отрицательные черты характера, модели поведения и т.п.;
- 3) неправильные действия в совокупности с существующей опасностью;
- 4) несчастные случаи;
- 5) травмы. [3]

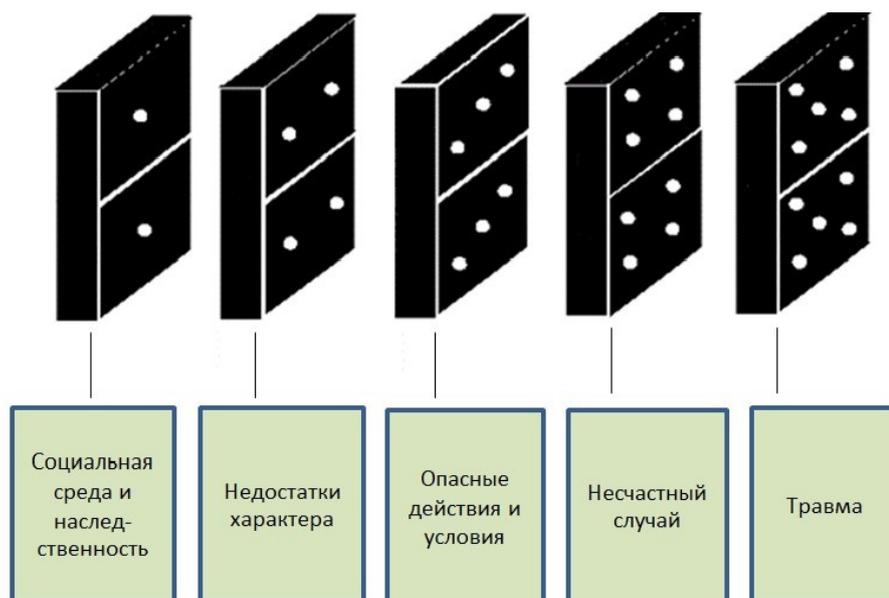


Рис. 1. Модель «домино» Хайнрича [4]

При создании данной модели используется следующая логика.: аналогично тому как падение первой из выстроенных в ряд костяшек домино неизбежно приводит к падению остальных, так и реализация любого из указанных выше пяти факторов приводит к травме. Согласно такой модели для обеспечения безопасности необходимо «удалить» одну из костяшек домино, один из причинных факторов. Хайнрич считал, что чаще всего причиной несчастных случаев являются неправильные действия работников [3]. Таким образом, мониторинг «человеческого фактора», основанный на модели домино, предполагает учет и анализ отрицательных индивидуально-психологических характеристик и неправильных действий человека. Основными же направлениям работы по снижению рисков в социотехнической системе при таком

подходе являются профотбор (недопуск людей, обладающих характеристиками, негативно влияющими на безопасность), обучение правильным действиям и наказание за неправильные действия (включая отстранение от деятельности).

Такого рода мониторинг практически реализован в работе ГАИ, когда обеспечение безопасности дорожного движения включает отбор водителей, их обучение и контроль за соблюдением правил дорожного движения.

Модель Хайнрича обоснованно критикуют за упрощенное понимание процесса возникновения несчастных случаев, акцентирование на количественном учете неправильных действий и перекалывание вины на работников.

В середине 1970-х годов Берд и Лофтус (Bird and Loftus) модифицировали модель домино Хайнрича, перенеся акцент в формировании риска несчастных случаев с отдельного работника на управленческий персонал. По их мнению, первым в ряду причинных факторов, приводящих к аварии, является недостаток контроля со стороны руководства [3]. При этом контроль понимается достаточно широко и включает не просто наблюдение за поведением работников в процессе труда, но также и контроль качества приобретаемого и используемого оборудования и инструментов, наличия средств защиты от опасностей, организации системы обучения и т.д. Центральной идеей данной модели является то, что руководство несет ответственность за здоровье и безопасность работников.

Примером мониторинга, основанный на модели домино Берда и Лофтуса, можно считать деятельность инспекций пожарной охраны, МЧС, служб охраны труда. Так, представители данных организаций анализируют наличие и доступность аварийных выходов, средств индивидуальной и коллективной защиты, проведение инструктажей по технике безопасности и т.д.

Основной недостаток всех моделей домино – упрощенный взгляд на возникновение несчастных случаев, когда предполагается, что существует единственная линейная последовательность событий, приводящая к авариям и травмам, а сопутствующие факторы и обстоятельства не принимаются во внимание. Поэтому во второй половине 20 века наряду с моделями домино стали разрабатываться модели множественности причин несчастного случая, подчеркивающие значимость взаимодействия и взаимовлияния различных факторов. Одной из наиболее известных моделей этого типа является модель множественных факторов Гроса (Grose) [3].

Согласно модели Гроса, аварии и несчастные случаи возникают в результате действия четырех групп факторов (четырёх «М»): машина (Machine), среда (Media), человек (Man), менеджмент (Management) [3]. При этом каждому фактору соответствуют свои параметры для мониторинга.

«Машина» включает инструменты, оборудование, транспортные средства, используемые человеком в процессе деятельности. При этом важными характеристиками машин считаются размеры, конструкция, тип используемой энергии и т.п.. Мониторинг «машин» включает прежде всего проверку ее исправности и степени износа.

Примером мониторинга фактора «Среда» является оценка параметров микроклимата производственного помещения, погодных условий (при работе на открытом воздухе), состояния дорожного полотна (при оценке риска ДТП) и т. п.

Мониторинг фактора «Человек» предполагает учет психофизиологического состояния, пола, возраста, особенностей когнитивных процессов. Даже рост и вес могут быть значимыми для отдельных видов деятельности. Одним из средств мониторинга здесь является систематическое наблюдение и тестирование, по результатам которых можно осуществлять профотбор (например, медицинское освидетельствование водителей общественного транспорта или машинистов метро

перед выходом в рейс). Используются также различные технические средства, например, приборы анализа уровня бодрствования операторов транспортных средств, снабженные средствами предотвращающими засыпание. Сюда можно также отнести и периодическую аттестацию работников.

Фактор «Менеджмент» включает методы и процедуры, используемые для выбора оборудования, отбора и обучения персонала, а также создания безопасной среды [3]. Следовательно, мониторинг данного фактора направлен на оценку существующих в организации правил безопасности, процедур обеспечения и контроля выполнения этих правил, характер планирования деятельности организации, предприятия (например, равномерность рабочей нагрузки, наличие «штормовщины», предсказуемость задач, поставленных перед работниками).

Все описанные выше модели в большей или меньшей степени обращаются к анализу характеристик и поведения работников, однако номенклатура психологических факторов, подлежащих анализу, не прописана в них достаточно полно и четко. Поэтому, видимо как реакция на данный недостаток, сформировалась целая группа психологических моделей несчастного случая. Рассмотрим наиболее известные из них.

В модели, предложенной исследователем Феррел, утверждается, что аварии и несчастные случаи являются результатом человеческой ошибки. При этом человек совершает ошибки вследствие одной из трех причин:

1) физическая и/или умственная перегрузка (например, необходимость одновременно решать большое число задач, выполнять работу в условиях повышенного шума или при отсутствии четких и однозначных инструкций) и пр.;

2) неадекватная реакция человека (например, работник демонтировал защитный кожух на оборудовании, заметил опасность, но не устранил ее и т.п.);

3) неадекватные действия (например, недооценка уровня риска, выполнение деятельности без соответствующей подготовки). При этом отмечается, что человек совершает неадекватные действия либо потому, что не знает как еще можно поступить в данной ситуации, либо потому, что намеренно рискует. [3].

Мониторинг, основанный на модели Феррела, должен включать контроль знаний работников, систематическое наблюдение за их действиями, анализ условий труда, степени сложности решаемых задач, контроль психофизиологического состояния работников и т.п.

Рассматривая психологические модели несчастных случаев также следует отметить разработанную Дж. Сурри (J. Surry) модель на основе последовательности [5]. В данной модели возникновение несчастного случая анализируется с помощью серии вопросов, выстроенных в логическом порядке (рис.2).

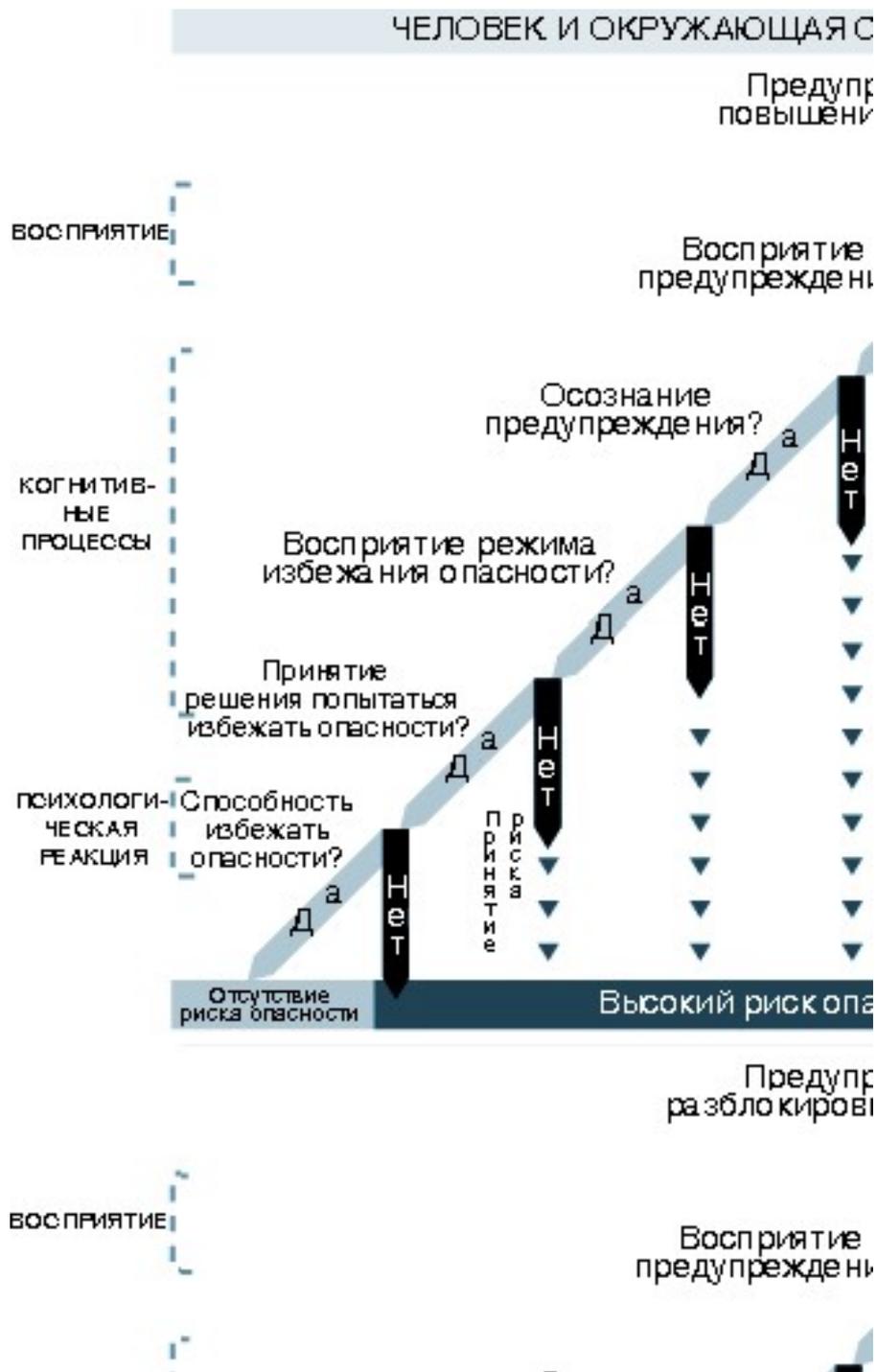


Рис. 2. Модель на основе последовательности [5]

Сурри предлагает рассматривать несчастный случай как результат ошибки, совершенной человеком в процессе взаимодействия с другими элементами ситуации, а именно, восприятия, обработки информации и принятия решений.

В соответствии с моделью Сурри, для предотвращения несчастных случаев необходимо анализировать качество обучения, наличие, качество и исправность индикаторов опасности (например, светофоров), психофизиологическое состояние и здоровье работников.

На наш взгляд, основной недостаток данной модели – чрезмерный акцент на когнитивных процессах. В соответствии с результатами исследования, проведенного нами на МТЗ, наибольший вклад в формирование риска несчастных случаев на

производстве вносят мотивационные и социально-психологические факторы [6]. Поэтому мы считаем, что наилучшей психологической моделью несчастных случаев является модель гомеостаза риска Дж. Уальда (G.J.S. Wilde) (рис 3.).

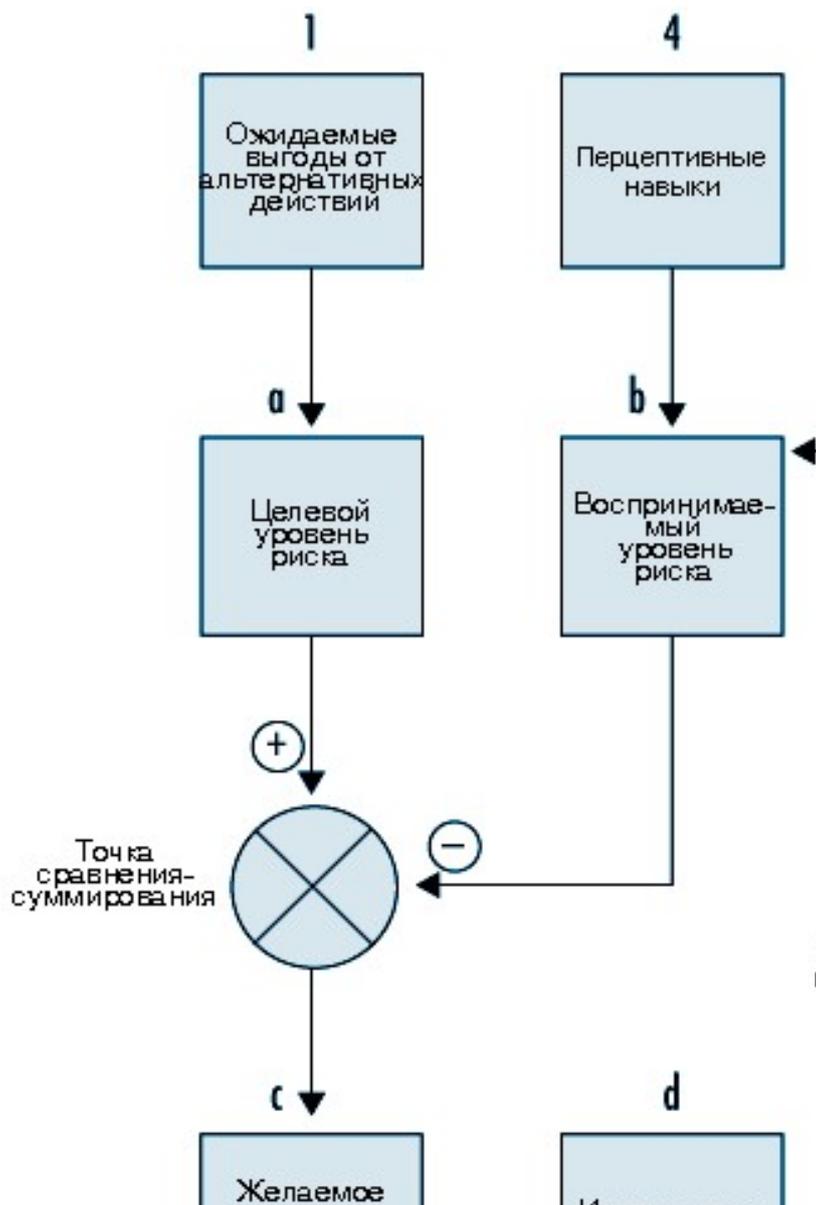


Рис. 3. Модель гомеостаза риска [7]

Модель гомеостаза риска рассматривает в качестве основной причины аварий и несчастных случаев поведение работников. Основные положения этой модели заключаются в следующем:

- 1) люди имеют индивидуальный целевой (предпочитаемый) уровень риска, который зависит от соотношения ожидаемых выгод и потерь от рискованного и безопасного поведения;
- 2) фактическая частота аварий и несчастных случаев является результатом саморегулируемого гомеостатического процесса, приводящего к равенству (гомеостазу) между воспринимаемым и целевым уровнями риска;

3) долговременного повышения безопасности можно достичь только путем воздействия на целевой уровень риска [7]. Поэтому для повышения безопасности деятельности нужно выявить факторы, влияющие на целевой уровень риска и разработать методы воздействия на них.

Мониторинг безопасности, проводимый в соответствии с моделью Уальда, предполагает анализ существующих на предприятии систем оплаты труда, мотивации сотрудников, эргономичности средств индивидуальной и коллективной защиты, уровня склонности сотрудников к риску, их системы ценностей.

Так, существующие на предприятии программы оплаты труда зачастую стимулируют опасное поведение, например посредством премирования за повышение производительности труда, независимо от того, за счет чего она была достигнута.

Косвенным показателем целевого уровня риска, мотивации безопасного поведения является соблюдение работником требований безопасности. Систематическое наблюдение за поведением работников позволит проводить поощрение (например через систему премирования) не только за сам факт отсутствия аварий и травм, но и за соблюдение правил безопасности.

Важную роль в повышении мотивации безопасного поведения играют и социально-психологические факторы: взаимоотношения в коллективе, культура безопасности труда в подразделении и на предприятии в целом, социально-психологический климат, система ценностей и т.п.

### **Заключение**

В заключении следует отметить, что именно модель гомеостаза риска в наибольшей степени соответствует требованиям системного подхода к рассмотрению проблем безопасности социотехнических систем, поскольку она нацеливает исследователей, занимающихся проблемой мониторинга безопасности, анализировать те группы факторов, которые реально влияют на поведение человека, прежде всего учитывать не только индивидуально-психологические особенности индивида, но и социально-психологические особенности человека как личности.

### **Список литературы**

9. ГОСТ Р 53239-2008: Хранилища природных газов подземные. Правила мониторинга при создании и эксплуатации [Электронный ресурс] // Словарь-справочник терминов нормативно-технической документации. – Режим доступа: [https://normative\\_reference\\_dictionary.academic.ru/36961](https://normative_reference_dictionary.academic.ru/36961). – Дата доступа 01.11.2019.
10. Информационный бюллетень 4/2007: Нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве [Электронный ресурс] // Словарь-справочник терминов нормативно-технической документации. – Режим доступа: [https://normative\\_reference\\_dictionary.academic.ru/36961](https://normative_reference_dictionary.academic.ru/36961). – Дата доступа 01.11.2019.
11. Bakri, S.B.Z. Theory of accident causation and investigation. [Electronic resource] / S.B.Z. Bakri // Introduction to occupational health and safety. – Mode of access: <http://mgt1023ehs.files.wordpress.com/2014/09/4-2-theory-of-accident-causation-investigation-lecture-copy.pdf>. – Date of access 10.01.2018.
12. Saleem, A. Behavior Based Safety (BBS) Concept, implementation of STOPTM and driving improvements at Fu-jairah Independent Water and Power Plant. [Electronic resource] / A. Saleem – Mode of access: <https://slideplayer.com/slide/10620165>. – Date of access 15.09.2018.
13. Андерссон, Р. Модели несчастного случая на основе последовательности [Электронный ресурс] / Р. Андерссон // Энциклопедия по охране и безопасности труда

- [Электронный ресурс]. – Международная организация труда, 2000. – Режим доступа: <http://base.safework.ru/iloenc?d&nd=857100133&prevDoc=857100133&spack=110LogLength%3D0%26LogNumDoc%3D857000275%26listid%3D010000000100%26listpos%3D6%26lsz%3D13%26nd%3D857000275%26nh%3D1%26>. – Дата доступа 20.01.2018.
14. Яцкевич, А.Ю. О важности изучения социально-психологических факторов безопасности труда / А.Ю. Яцкевич, И.Г. Шупейко // Высшэйшая школа. – 2014. – № 1. – С. 42 – 44.
15. Уальд, Дж. Модели несчастного случая: гомеостазис риска [Электронный ресурс] / Дж Уальд // Энциклопедия по охране и безопасности труда [Электронный ресурс]. – Международная организация труда, 2000. – Режим доступа: <http://base.safework.ru/iloenc?d&nd=857100130&prevDoc=857100130&spack=110LogLength%3D0%26LogNumDoc%3D857000275%26listid%3D010000000100%26listpos%3D4%26lsz%3D13%26nd%3D857000275%26nh%3D1%26>. – Дата доступа 20.01.2018.

### References

22. GOST P 53239-2008: Khranilishcha prirodnykh gazov podzemnye. Pravila monitiringa pry sozdaniy i expluatatsyi [Electronic resource] // Slovar-spravochnik terminov normativno-tehnicheskoy dockyumentatsyi. – Mode of access: [https://normative\\_reference\\_dictionary.academic.ru/36961](https://normative_reference_dictionary.academic.ru/36961). – Date of access 01.11.2019.
23. Informatsionnyi byulleten 4/2007: Normirovaniye, standartizatsiya i sertifikatsiya v stroitelstve [Electronic resource] // Slovar-spravochnik terminov normativno-tehnicheskoy dockyumentatsyi. – Mode of access: [https://normative\\_reference\\_dictionary.academic.ru/36961](https://normative_reference_dictionary.academic.ru/36961). – Date of access 01.11.2019.
24. Bakri, S.B.Z. Theory of accident causation and investigation. [Electronic resource] / S.B.Z. Bakri // Introduction to occupational health and safety. – Mode of access: <http://mgt1023ehs.files.wordpress.com/2014/09/4-2-theory-of-accident-causation-investigation-lecture-copy.pdf>. – Date of access 10.01.2018.
25. Saleem, A. Behavior Based Safety (BBS) Concept, implementation of STOPTM and driving improvements at Fu-jairah Independent Water and Power Plant. [Electronic resource] / A. Saleem – Mode of access: <https://slideplayer.com/slide/10620165>. – Date of access 15.09.2018.
26. Andersson, R. Modely neschastnogo slychaya na osnove posledovatelnosti [Electronic resource] / R. Andersson // Entsiklopediya po okhrane i bezopasnosti truda. – Mezhdunarodnaya organizatsiya truda, 2000. – Mode of access: <http://base.safework.ru/iloenc?d&nd=857100133&prevDoc=857100133&spack=110LogLength%3D0%26LogNumDoc%3D857000275%26listid%3D010000000100%26listpos%3D6%26lsz%3D13%26nd%3D857000275%26nh%3D1%26>. – Date of access: 20.01.2018.
27. Yatskevich, A.Y. O vaxhnosti izucheniya sotsialno-psikhologicheskikh factorov bezopasnosti truda / A.Y. Yatskevich, I.G. Shupeyko // Vysheyshaya shkola. – 2014. – № 1. – S. 42 – 44.
28. Wilde, G. Modely neschastnogo slychaya: gomeostazys riska [Electronic resource] / G. Wilde // Энциклопедия по охране и безопасности труда [Электронный ресурс]. – Entsiklopediya po okhrane i bezopasnosti truda. – Mezhdunarodnaya organizatsiya truda, 2000. – Mode of access: <http://base.safework.ru/iloenc?d&nd=857100130&prevDoc=857100130&spack=110LogLength%3D0%26LogNumDoc%3D857000275%26listid%3D010000000100%26listpos%3D4%26lsz%3D13%26nd%3D857000275%26nh%3D1%26>. – Дата доступа 20.01.2018.

### Сведения об авторах

Яцкевич А.Ю., старший преподаватель кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Шупейко И.Г., к.психол.н., доцент, доцент кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

### Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, д. 6,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
тел. +375-29-501-59-02;  
e-mail: [yatskevich@bsuir.by](mailto:yatskevich@bsuir.by);  
Яцкевич Алина Юрьевна

### Information about the authors

Yatskevich A.Y., senior faculty of engineering psychology and ergonomics department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Shupeyko I.G., PhD, associate professor, associate professor of engineering psychology and ergonomics department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

### Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovka st., 6,  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics  
tel. +375-29-501-59-02;  
e-mail: [yatskevich@bsuir.by](mailto:yatskevich@bsuir.by);  
Yatskevich Alina Yurievna

## Р.А. ШАКУН

### ШУМОПОДАВЛЕНИЕ НА ИЗОБРАЖЕНИИ С ПОМОЩЬЮ FFDNet

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

**Аннотация.** FFDNet - это новейший метод шумоподавления изображений, основанный на архитектуре сверточной нейронной сети. В отличие от других существующих нейросетей, FFDNet имеет несколько преимуществ, таких как быстрое время выполнения и использование небольшого объема памяти, а также способность обрабатывать широкий диапазон уровней шума с единой сетевой моделью. Сочетание качества шумоподавления и небольшой вычислительной нагрузки делает этот алгоритм привлекательным для практического использования в шумоподавляющих приложениях. В этой работе будут обсуждаться характеристики архитектуры этого алгоритма.

*Ключевые слова:* Шумоподавление, CNN, FFDNet, нейронные сети.

**Abstract.** FFDNet is a recent image denoising method based on a convolutional neural network architecture. In contrast to other existing neural network denoisers, FFDNet exhibits several desirable properties such as faster execution time and smaller memory footprint, and the ability to handle a wide range of noise levels with a single network model. The combination between its denoising performance and lower computational load makes this algorithm attractive for practical denoising applications. In this work will be discussed the characteristics of the architecture of this algorithm.

*Keywords:* Denoising, CNN, FFDNet, neural networks.

## Введение

В последнее время, благодаря выдающимся характеристикам, привлекли значительное внимание новые способы шумоподавления на изображениях, основанные на методах глубокого обучения. В частности, дискриминационные методы обучения (например CSF, TNRD) показывают относительно быстрое время вывода и очень хорошие шумоподавляющие характеристики. Тем не менее, существенным недостатком всех этих алгоритмов является то, что конкретная модель должна быть обучена для каждого уровня шума.

Другой популярный подход включает использование сверточных нейронных сетей (CNN), таких, как RBDN, DnCNN и FFDNet. Их производительность выгодно отличается от других современных алгоритмов как количественно, так и визуально. Эти методы состоят из последовательности сверточных слоев с нелинейными активационными функциями между ними.

Наиболее интересной из перечисленных сверточных сетей является FFDNet [1]. Главное отличие FFDNet по отношению к DnCNN заключается в включении предварительного и последующего слоев обработки до и после одного и того же нелинейного отображения DnCNN. Слой предварительной обработки реорганизовывает пиксели входного изображения в многоканальное изображение с четвертным разрешением. Большинство вычислений выполняются в этом меньшем масштабе, что снижает общую сложность алгоритма.

В целом, FFDNet примерно в три раза быстрее DnCNN и более дружелюбный к памяти. Также дополнительный канал содержащий карту шума соединяется со входом на уровне предварительной обработки. Роль карты шума в качестве входного параметра может рассматриваться как компромисс между уменьшением шума и сохранением деталей. Наконец, слой постобработки изменяет выходные данные нелинейного отображения обратно в исходное разрешение. Эти характеристики делают FFDNet привлекательным методом, даже для потребительских приложений, так как он обеспечивает интересный баланс между шумоподавлением, производительностью и сложностью.

## Архитектура FFDNet

Для реализации FFDNet используется стандартная архитектура прямой связи, как показано на рисунке 1. Сеть состоит из  $D$  сверточных слоев, которые имеют одинаковую структуру. Каждый из них имеет  $W$  выходов, а пространственный размер их ядер  $K \times K$ .

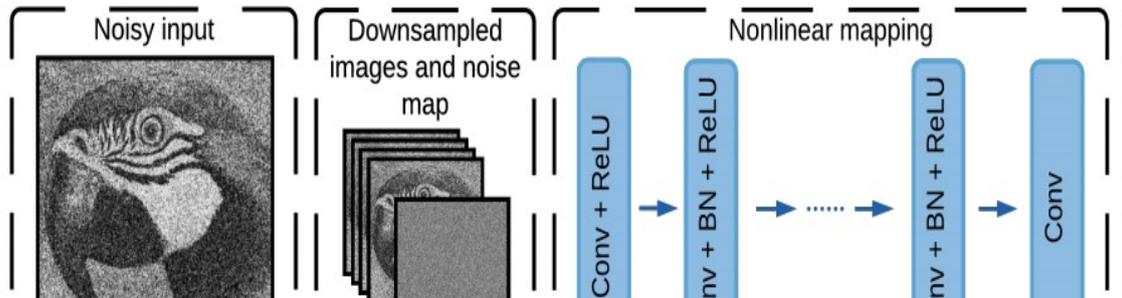


Рисунок 1: Архитектура FFDNet.

На уровне предварительной обработки сеть сначала реорганизовывает пиксели  $I$  входного изображения размером  $n_{ch} \times h \times w$  в изображение с более низким разрешением размером  $4n_{ch} \times h/2 \times w/2$ .

Слой  $F^0$  извлекает  $2 \times 2$  патчи и реорганизовывает их пиксели в разных каналах выходного изображения в соответствии с  $F^0$ :

$$F^0[c, x, y] = I \left[ \left\lfloor \frac{c}{4} \right\rfloor, 2x + (c \bmod 2) \right]$$

где  $0 \leq c < 4n_{ch}$ ,  $0 \leq x < h$ ,  $0 \leq y < w$ . Большая часть обработки будет выполнена в этом уменьшенном масштабе.

Также ко входу добавляется карта оценки шума  $M$  такого же разрешения. Эта шумовая карта контролирует компромисс между шумоподавлением и сохранением детализации. Для пространственно

инвариантного гауссовского шума со стандартным отклонением  $\sigma$ , карта шума однородна и все ее элементы равны  $\sigma$ . На рисунке 2 показана схема этого слоя.

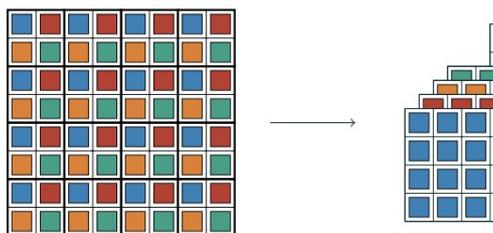


Рисунок 2: Схема слоя масштабирования.

Нелинейное отображение, состоящее из  $D$  сверточных слоев ( $F^1 \dots F^D$ ) следует после предварительной обработки слоя  $F^0$  (см. рисунок 1). Каждый из этих слоев состоит из  $W$  сверточных фильтров пространственного размера  $K \times K$ . Выходы слоев  $F^1 \dots F^{D-1}$  следуют за точечной функцией активации  $\text{ReLU}(\cdot) = \max(\cdot, 0)$ . Во время обучения слои нормализации помещаются между сверточным и ReLU слоями от  $F^2$  до  $F^{D-1}$ . Во время оценки слои нормализации удаляются и заменяются аффинным слоем.  $c$ -й канал  $d$ -го слоя,  $F_c^d$  можно записать как:

$$F_c^d = \text{ReLU} \left( \sum_{c'}^{D-1} w_{cc'}^d * F_{c'}^{d-1} \right) \text{ for } c$$

где  $w_{cc'}^d$ - двумерное ядро свертки размера  $K \times K$ . Обобщая характеристики из  $D$  слоев нелинейного отображения, мы имеем

- слой  $F^1$ : Conv + ReLU. Используется  $W$  фильтров размером  $(4n_{ch} + 1) \times K \times K$ , которые генерируют  $W$  карт объектов. В качестве нелинейности используется точечная функция активации ReLU.
- слои  $F^2 \dots F^{D-1}$ : Conv + BN + ReLU. Используются фильтры  $W$  размера  $W \times K \times K$ . Во время тренировки уровни нормализации размещаются между сверточным и ReLU-слоями.
- слой  $F^D$ : Conv. В этом слое используются 4-канальные фильтры размером  $W \times K \times K$ .

Слой постобработки  $F^{D+1}$  увеличивает разрешение выходных данных из слоя  $F^D$  до оригинального. Таким образом, он перепаковывает свой ввод размера  $4n_{ch} \times h / 2 \times w / 2$  в изображение размер  $n_{ch} \times h \times w$ , как показано на рисунке 3. Общее количество слоев равно  $D + 2$ , где  $D$  - число сверточных слоев. Пространственный размер сверточных ядер  $K$  равен 3. Глубина  $D$  установлена на 15 для шумоподавления на изображениях в оттенках серого и 12 для шумоподавления на цветных изображениях. Что касается количество карт характеристик  $W$ , оно равно 64 для серого и 96 для цветного изображений. Эти настройки представляют собой хороший компромисс между сложностью и производительности.

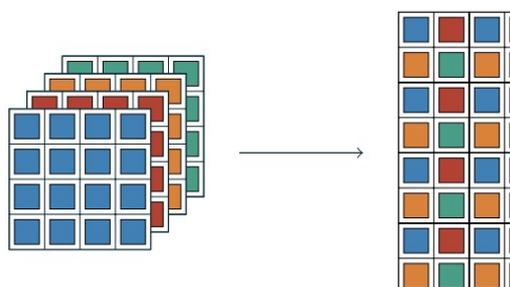


Рисунок 3: Схема слоя постобработки.

### Заключение

В данной работе был проанализирован алгоритм шумоподавления на основе сверточной нейронной сети FFDNet. По сравнению с другими алгоритмами FFDNet является более быстрым, эффективным и универсальным. Эти улучшения достигаются благодаря использованию разнообразных

методов, которые описаны выше. Наиболее заметным из таких методов является то, что шумоподавление выполняется на уменьшенных изображениях, что значительно сокращает время работы и объем памяти без ущерба для производительности.

### Список литературы

1. K. Zhang, W. Zuo, and L. Zhang, FFDNet: Toward a Fast and Flexible Solution for CNN based Image Denoising, IEEE Transactions on Image Processing, 27 (2018), pp. 4608–4622. <http://doi.org/10.1109/TIP.2018.2839891>.

### References

1. K. Zhang, W. Zuo, and L. Zhang, FFDNet: Toward a Fast and Flexible Solution for CNN based Image Denoising, IEEE Transactions on Image Processing, 27 (2018), pp. 4608–4622. <http://doi.org/10.1109/TIP.2018.2839891>.

### Сведения об авторах

Шакун Р.А., магистрант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

### Information about the authors

Shakun R.A., master student of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

### Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, д. 6,  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
тел. +375-29-851-22-25;  
e-mail: shakunroman@gmail.com  
Шаукн Роман Александрович

### Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovka st., 6,  
Belarusian State University of Informatics and  
Radioelectronics  
tel. +375-29-851-22-25;  
e-mail: shakunroman@gmail.com  
Shakun Raman Alexandrovich